



HAL
open science

La technologie LED : Une révolution dans le domaine de l'éclairage, mais pas seulement...

Georges Zissis

► **To cite this version:**

Georges Zissis. La technologie LED : Une révolution dans le domaine de l'éclairage, mais pas seulement.... La Revue de l'électricité et de l'électronique, 2020, 2020 (1), pp.37-39. hal-02518195

HAL Id: hal-02518195

<https://hal.science/hal-02518195>

Submitted on 25 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La technologie LED : Une révolution dans le domaine de l'éclairage, mais pas seulement...

Georges Zissis

Université Toulouse 3- Paul Sabatier, Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie (LAPLACE),
Toulouse, France

Il est impossible d'imaginer l'évolution de notre civilisation en supposant que notre espèce ne saurait produire de la lumière artificielle d'aucune sorte. L'Homme n'est pas un animal nocturne, mais, il a toujours voulu continuer à vivre normalement après la tombée de la nuit. Cependant, sa mauvaise vision nocturne et sa peur primitive de la nuit l'ont astreint aux rythmes et aux aléas des sources naturelles de lumière. Il a donc senti très rapidement un besoin impératif de faire usage de la lumière artificielle pour éclairer son environnement et il s'est très vite efforcé de les compléter l'éclairage naturel par des sources artificielles. Ainsi, le feu ou des objets chauffés émettant de la lumière ont été utilisés à des fins d'éclairage : l'éclairage artificiel est né presque simultanément avec l'humanité.

La maîtrise du feu, utilisé entre autres pour éclairer, remonte de façon certaine à 450 000 ans. Au début donc la société humaine a dû se contenter de la combustion de matériaux naturels pour produire de la lumière artificielle, mais, l'évolution des sources de lumière incandescentes s'est poursuivie, pendant des millénaires.

Début du XIX^e siècle, l'éclairage électrique avec l'invention de la première lampe à décharge (Davy, 1813) suivie par la lampe à incandescence (Swan, 1860 et Edison 1878), a profondément bouleversé la vie quotidienne. Il serait aujourd'hui inimaginable de s'en passer. Depuis ce temps, l'éclairage électrique a fait l'objet d'une évolution continue et fascinante. Dans le monde entier, les scientifiques et les ingénieurs du XX^e siècle ont ainsi créé et développé une large gamme des sources de lumière et des solutions d'éclairage adaptées répondant à tous nos besoins. Toutefois, ces évolutions avaient comme unique objectif d'augmenter l'efficacité lumineuse des systèmes afin de répondre au défi de la consommation électrique exacerbé par la première crise énergétique des années 70.

À l'aube du XXI^e siècle le monde de l'éclairage électrique est à nouveau en effervescence comme le fût au début du XX^e siècle avec la démocratisation de la lampe à incandescence et l'avènement des lampes à décharge. Aujourd'hui, pendant que l'incandescence, jugée trop énergivore, tire sa révérence, nous vivons une vraie révolution grâce à l'arrivée d'un « intrus » venant du monde du semi-conducteur : la diode électroluminescente. Contrairement aux technologies « classiques », les lampes à LED n'émettent de lumière ni à partir d'un filament chauffé comme les lampes à incandescence, ni à partir d'un plasma de décharge électriques comme les lampes fluorescentes, mais par un processus complexe ayant lieu dans un matériau semi-conducteur. Cependant, l'émission de lumière par le semi-conducteur reste un procédé qui relève de la luminescence, appelé dans ce cas précis « l'électroluminescence ».

La première émission de lumière d'un semi-conducteur a été rapportée par l'anglais Henry Joseph Round en 1907. Sans explication évidente, cette découverte fut rapidement oubliée. Il a donc fallu attendre 1962 pour que Holonyak et Bevacqua, de la société General Electric, mettent au point la première diode électroluminescente rouge, commercialisée à partir de

1968. Dans les années 1980, à l'université de Nagoya au Japon, Akasaki et Amano, mènent des recherches sur une nouvelle génération de semi-conducteurs qui pourraient donner naissance à une émission bleue. C'est Shuji Nakamura, un simple ingénieur qui travaillait à cette époque pour la société japonaise Nichia Chemicals, qui va mettre en œuvre les travaux de ses compatriotes pour obtenir en 1992 la première LED de puissance émettant une lumière bleue ou violette avec une bonne efficacité. Cette découverte ouvrira la voie de la technologie LED dans le domaine de l'éclairage et permettra à ces trois scientifiques de recevoir, en 2014, le prix Nobel de physique. **Cette histoire fascinante de la naissance de la LED est retracée de façon magistrale par Laurent Canale dans le papier « La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications » que vous trouverez dans ce numéro spécial.**

Ainsi au cours de la dernière décennie, l'éclairage à semi-conducteurs (LED, O-LED et lasers à semi-conducteurs) a défié les technologies conventionnelles. La LED, en particulier, a redistribué les cartes en laissant derrière elle les technologies « classiques », à décharge ou à incandescence en termes de performances. Par conséquent, les parts de marché des technologies classiques « fondent sous le soleil ». Les projections montrent qu'à court terme, l'ensemble de l'éclairage sera majoritairement basé sur les « Sources Solides de Lumières », les SSL. Si cette révolution aboutissait à la conclusion prévue en remplaçant toutes les technologies existantes, cela induirait un changement majeur sur le monde de l'éclairage.

D'un point de vue énergétique, selon les dernières estimations de Nations Unies, l'éclairage consomme presque 3 PWh (3 000 TWh) d'énergie électrique par an. Cette quantité représente approximativement 15 % de la production globale d'électricité mondiale. La révolution SSL permettra d'inverser la croissance de la consommation énergétique qui, selon des études récentes, risque d'être multipliée par 2 d'ici 2030 si nous continuons à utiliser les technologies classiques.

La technologie LED offre un certain nombre d'avantages qui font d'elle un premier choix pour plusieurs applications : grande efficacité, longue durée de vie, bonne capacité de gradation (en utilisant cependant un gradateur bien adapté), allumage instantané, pas d'émission de chaleur, pas de rayonnements ultraviolets... Les LEDs seraient-elles enfin la source de lumière idéale ?

Bien qu'elles se présentent comme telles, elles restent encore perfectibles surtout en ce qui concerne la qualité de lumière. Sur le plan technologique, il reste une marge théorique considérable pour les LEDs au niveau de la puce puisque son efficacité peut dépasser les 100% (par pompage thermique dans l'atmosphère). En termes d'efficacité lumineuse, les chercheurs et industriels admettent qu'un maximum de 255 lm/W sera atteint d'ici à 2025 à peu près, mais pour une densité de courant de 35 A/cm² (environ 1 W électrique dans la LED) et une température de jonction égale à 25°C. Cette dernière valeur n'est donc pas réaliste en fonctionnement. De même, se limiter à 35A/cm² peut paraître faible alors que des LEDs peuvent accepter des densités de courant plus élevées pour peu qu'elles soient bien refroidies. Dans un luminaire bien conçu, on peut imaginer avoir une perte d'efficacité au niveau des LEDs induite par la température et le courant de 15 à 20%. Elle devrait se réduire encore un peu dans les années qui viennent, soit une efficacité lumineuse de 200 à 220 lm/W d'ici à 2025. **Le papier de Patrick Mottier « Les diodes électroluminescentes pour l'éclairage » résume de façon très explicite les améliorations attendues au niveau du composant.**

Par ailleurs, des améliorations sont à prévoir également au-delà du composant lui-même. L'extraction de la lumière produite au cœur de la jonction trouve également des réponses avec l'intégration des cristaux photoniques ou des solutions innovantes avec les LEDs à nanofils ; la gestion thermique est également une préoccupation et les technologies Flip-Chip sont un exemple de réponse à ce genre de problématique, les Quantum Dots LEDs (QDLEDs) sont un autre exemple de développement de cette technologie. Au niveau de l'intégration, les COB (« Chip on Board », puce sur un substrat métallique), avec des puces implantées directement sur un support mécanique bon conducteur thermique, a également été une innovation en relation avec la gestion thermique. Par ailleurs, dans le même domaine, les COG (« Chip on Glass », puce sur un substrat en verre) ont fait depuis peu leur apparition et ils ont permis la création des lampes dites « à filaments LED » en permettant une plus grande extraction de la lumière et une meilleure évacuation de la chaleur...

Les impacts potentiels des lampes sur la santé et l'environnement ont été débattus en Europe lors de la mise en place de la directive de bannissement des lampes à incandescence. Ils peuvent être engendrés par certains composés chimiques utilisés dans les lampes, mais aussi par les rayonnements qu'elles émettent. Les diverses études indépendantes ont montré que ces impacts sont faibles, voire négligeables, si les lampes sont utilisées de manière appropriée et recyclées à la fin de leur vie. Cependant, certaines études sérieuses ont mis en évidence une dangerosité potentielle du rayonnement bleu émis par certaines sources de lumière très brillantes émettant une lumière blanche froide. Les LEDs sont plus particulièrement concernées par ce problème car certaines d'entre elles peuvent être très brillantes et émettre une lumière très froide. À forte dose, cette lumière bleue est indiscutablement dangereuse pour la rétine des yeux et pourrait influencer le développement de certaines maladies comme la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). Par ailleurs, la lumière bleue peut perturber le rythme biologique journalier (rythme circadien). En effet, une exposition prolongée à une lumière « froide », intense pendant certaines heures du soir peut en effet avoir une incidence sur le cycle du sommeil. Ce problème n'est pas vraiment lié à la technologie LED, il s'agit en fait d'une mauvaise utilisation des sources de lumière plutôt qu'un problème technologique. **Le papier de Sébastien Point, « Lumière artificielle et santé humaine : Une relation complexe », vous permettra de voir plus claire dans ce domaine.**

Bien que l'application principale des LEDs soit l'éclairage, elles peuvent avoir des applications toute autre. **Le papier d'Urbain Niangoran « Eclairage horticole : pourquoi choisir la technologie LED ? » traite une application émergente : l'utilisation de la technologie LED pour optimiser la croissance des plantes et contribuer ainsi à estomper le spectre de la famine dans le monde.** Depuis quelques années des nombreuses études ont montrés le potentiel des LEDs comme source de lumière efficace pour la croissance des plantes en milieux contrôlés. En plus de son efficacité énergétique, les avantages des LEDs résident dans la possibilité de recomposer le spectre idéal et d'ajuster l'intensité lumineuse nécessaire pour la photosynthèse, la synthèse et l'accumulation de composés phytochimiques au niveau des plantes. Ainsi, bien que la technologie des diodes électroluminescentes (LED) son utilisation pour l'éclairage horticole est récente, les parts de marché sont conséquents et en constante augmentation.

Le prochain défi dans le domaine des sources de lumière artificielle lsera sans aucun doute le développement des sources de lumière basse consommation, économiques, durables et 100% recyclables avec en perspective très probable les LEDs organiques qui utiliseront des

matériaux biosourcés. Imaginez une feuille plastique, légère, pliable qui pourrait émettre de la lumière colorée ou bien blanche : Les OLEDs frappent à la porte. En parallèle, dans le domaine de l'éclairage les LEDs ne font pas que remplacer une technologie antérieure, elles traînent dans leur cortège non seulement de nouveaux paradigmes mais aussi un éventail quasi-infini vers la lumière anthropo-centrée, l'inter-connectivité, la communication (via le LiFi), et toutes applications polymorphes possibles. Ainsi, des systèmes complexes, dit « intelligents », ou mieux, « futés », feront leur entrée dans le domaine. Imaginez des systèmes d'éclairage sobres en énergie et intelligents, où les sources de lumière et luminaires sont des « objets connectés » qui s'adaptent aux besoins et aux souhaits de ses usagers afin de leur assurer une meilleure qualité de vie et dont la lumière est le produit... Comment ces technologies se marient, et quels sont les bénéfices pour la société ? **Ces aspects sont en dehors des objectifs de ce numéro spécial et constituent des sujets de réflexion pour l'avenir proche.**

L'auteur



Georges ZISSIS, Membre Émérite de la SEE, Professeur UPS au département EEA de la FSI et chercheur au laboratoire LAPLACE. Responsable du groupe de recherche Lumière et Matière du LAPLACE. Il a été président de la 63^e section du Conseil National des Universités (2015-19) et actuellement membre du COMEVAL (Ministère de Transition Écologique et Solidaire). Président de IEEE Industry Applications Society (2019-20). Il a reçu le 1^{er} prix de l'IEC Centenary Challenge. Docteur Honoris Causa de l'Université de St Petersburg.