



HAL
open science

Les évolutions dans le domaine des diodes électroluminescentes pour l'éclairage

Georges Zissis

► **To cite this version:**

Georges Zissis. Les évolutions dans le domaine des diodes électroluminescentes pour l'éclairage. *Photoniques*, 2016, 82, pp.25-29. 10.1051/photon/20168225 . hal-02547101

HAL Id: hal-02547101

<https://hal.science/hal-02547101>

Submitted on 5 Aug 2024

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.

Les évolutions dans le domaine des Diodes Electroluminescentes pour l'éclairage

Georges ZISSIS

Professeur des Universités

Université de Toulouse, LAPLACE, UMR 5213, CNRS-INPT-UPS

118 rte de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 9

georges.zissis@laplace.univ-tlse.fr



Lampes à technologie LED pour l'éclairage général

A l'aube du 21^e siècle le monde de l'éclairage électrique est à nouveau en effervescence comme il le fut au début du 20^e siècle avec la démocratisation de la lampe à incandescence. Aujourd'hui, pendant que l'incandescence tire sa révérence, nous vivons une vraie révolution grâce à l'arrivée des « intrus » venant du monde du semi-conducteur : les Sources Solides de Lumière (SSLs) et plus particulièrement les Diodes Electroluminescentes (LEDs).

Avant de parler des dernières évolutions, un peu d'histoire : en 1907, un pionnier de la radio, J.H. Round mentionne le premier une émission de lumière à partir d'un cristal de carborundum sans pouvoir l'expliquer. Sans le savoir, O.V. Losev, un chercheur russe, reproduit cette expérience en 1921 et suppose qu'il s'agit de l'effet photoélectrique inverse prédit par Einstein. Il faudra attendre plus de quarante ans, en 1962, pour que N. Holonyak invente la LED rouge. G. Craford invente la LED jaune en 1972 et la LED verte suit... 1993 fera date avec l'invention de la LED bleue qui vaudra le prix Nobel de physique 2014 à Nakamura, Akasaki et Amano et ouvrira la porte de l'éclairage artificiel aux semi-conducteurs.

Aujourd'hui, des LEDs blanches de haute brillance sont disponibles sur le marché et produisent plusieurs centaines de lumens. Ainsi, l'efficacité lumineuse, la fiabilité et la qualité de la lumière des LEDs ont été en constante augmentation avec une vitesse incroyable pour dépasser aujourd'hui les 300 lm/W au niveau du composant LED en laboratoire (le record actuel est de 303 lm/W détenu par une LED de laboratoire [1]). Pouvons-nous encore parler de technologie d'avenir pour les diodes électroluminescentes qui ont depuis quelques années envahi les salons des professionnels, les commerces et même certaines de nos rues ? C'est plutôt une technologie nouvelle en phase de maturation : des produits éclairagistes fiables et dignes de ce nom sont manufacturés en série et commercialisés, des installations pilotes ont démontré la validité du concept, la technologie se démocratise et les prix baissent. Dès lors,

les questions de fiabilité de fonctionnement, de qualité, d'impact énergétique et environnemental ont pris de l'importance. Par ailleurs, la LED devient un produit « tendance » incontournable.

Concernant l'évolution du marché des LEDs, le scénario de base élaboré par Yole Development pour la croissance des revenus de l'industrie LED prédit 14,2 milliards de dollars de revenus pour le secteur complet en 2020 [2]. En 2000 l'éclairage à LED ne représentait que 0,6% du chiffre d'affaires du secteur global de l'éclairage. En Avril 2010, J.Anderson (Philips Color Kinetics) prédit que le revenu des systèmes LED d'éclairage représentera plus de 75% du chiffre d'affaires du secteur en 2020 [3]

Du point de vue de l'industrie de la LED pour l'éclairage, depuis quelques années maintenant, la Chine est le plus grand pays de production dans le monde. Selon la Chinese Association of Lighting Industries (CALI) il y a plus de 10 000 fabricants des systèmes d'éclairage en Chine. Ces fabricants sont localisés principalement dans les zones côtières du sud de la Chine, y compris à Guangdong, Fujian, Jiangsu, Zhejiang et à Shanghai. Le volume de produits d'éclairage vendus a été de 55,6 milliards de dollars en 2011, tandis que le volume des exportations atteignait les 22,34 milliards de dollars dans la même année, ce qui correspond à un record historique.

L'Europe avec une part de 30% du marché est un leader mondial dans le domaine de l'éclairage, y compris dans les SSLs ; avec 14 grandes entreprises d'éclairage et plusieurs PME, le secteur présente un potentiel d'innovation élevé. Le segment Européen du secteur a un chiffre d'affaires annuel estimé de l'ordre de 17-20 milliards d'Euros et représente plus de 150 000 emplois. Cependant, l'industrie européenne de l'éclairage est très fragmentée. Elle est composée de 14 grandes entreprises (« global players »), beaucoup de compagnies de taille moyenne et des milliers de PME.

Les performances actuelles

Bien que les performances des LEDs blanches n'aient eu de cesse de progresser depuis près de 20 ans, c'est au cours des cinq dernières années que le pas nécessaire à l'utilisation de ces petites sources de lumière comme « ampoules de substitution » a vraiment été franchi. Ainsi, depuis 2000 où les LEDs commencent à pénétrer vraiment le domaine de l'éclairage général, les performances des LEDs blanches de forte brillance augmentent de façon quasi exponentielle et leur coût chute rapidement. La Figure 1 montre cette évolution pour les LEDs disponibles commercialement [4]. Cela confirme que ce n'est que depuis 2010 que les LEDs entrent ainsi dans une phase de maturité pour l'éclairage et occupent des parts de plus en plus de parts du marché.

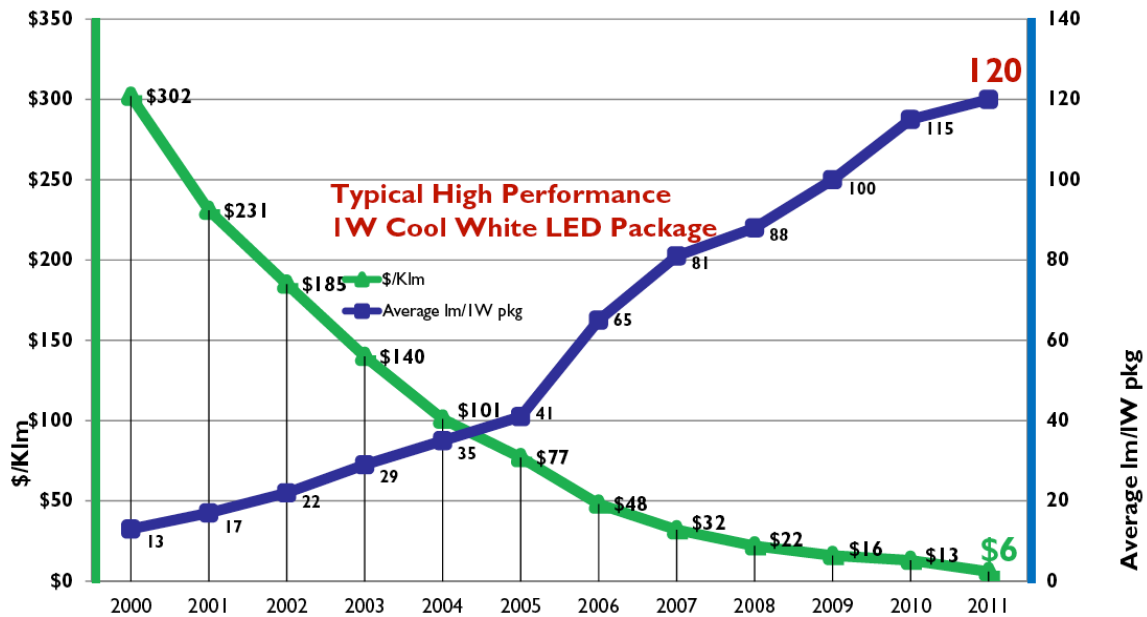


Figure 1 : Evolution de l'efficacité lumineuse des LEDs et de leur coût selon [4]

Cependant, les efficacités lumineuses des systèmes complets, incluant les composants LED, leurs optiques, lentilles ou réflecteurs, ainsi que l'électronique associée, ont du mal à dépasser la centaine de lumens par watt, la moyenne des luminaires à LED commercialisés se situant plutôt autour de 70-80 lm/W (ce qui reste néanmoins bien supérieur à la majorité des autres technologies sources de lumière) et parfois la qualité du système et/ou de la lumière produite reste discutable.

Le développement technologique rapide et les nouvelles exigences légales imposées par l'Europe conduisent actuellement à des changements importants dans le marché des produits d'éclairage. En raison de cette tendance, il est devenu difficile pour les consommateurs et les acheteurs professionnels d'avoir une vue d'ensemble des produits disponibles et de choisir des lampes de haute qualité qui répondent à leurs besoins propres. Ainsi, avec la disparition des lampes à incandescence du marché Européen, les lacunes en ce qui concerne l'information sérieuse sur les lampes de substitution, à savoir les lampes fluocompactes et LEDs, ont créé une attitude négative des consommateurs à l'égard de ces technologies. Cette perception négative des technologies économes en énergie a été encore amplifiée par le fait que pour ces technologies des produits de faible qualité sont encore très présents sur le marché. Faire les bons produits éco-énergétiques « visibles » pour le consommateur passe par des tests qualité systématiques.

Dans le cadre du projet Européen PremiumLight [5], des tests complets de produits de haute efficacité ont été faits en 2 tours espacés de 12 mois (2013 et 2014). Plus de 370 lampes de 95 marques différentes à destination du grand public ont été ainsi testées. Il s'agit des ampoules LED omnidirectionnelles en incluant les lampes de type « flamme », ainsi que des spots à LED. Toutes les lampes testées, supposées être des produits « de haute qualité » selon des critères établis par PremiumLight, ont été sélectionnées de façon anonyme directement dans des magasins de 12 pays européens.

Lors de ces campagnes qui ont eu lieu en France (laboratoire LAPLACE à l'Université de Toulouse), l'Autriche et la Suède par des laboratoires accrédités, les quantités suivantes ont été systématiquement mesurées : flux lumineux, efficacité lumineuse, température de couleur proximale, indice de rendu des couleurs (IRC), qualité de la lumière blanche, spectre de la lampe, photométrie et papillotement de la lumière, puissance absorbée, valeur de l'Indice de Performance Energétique (EEl-¹Energy Efficiency Index) qui sert à la détermination de la classe énergétique, facteur de puissance ²et distorsion harmonique totale³.

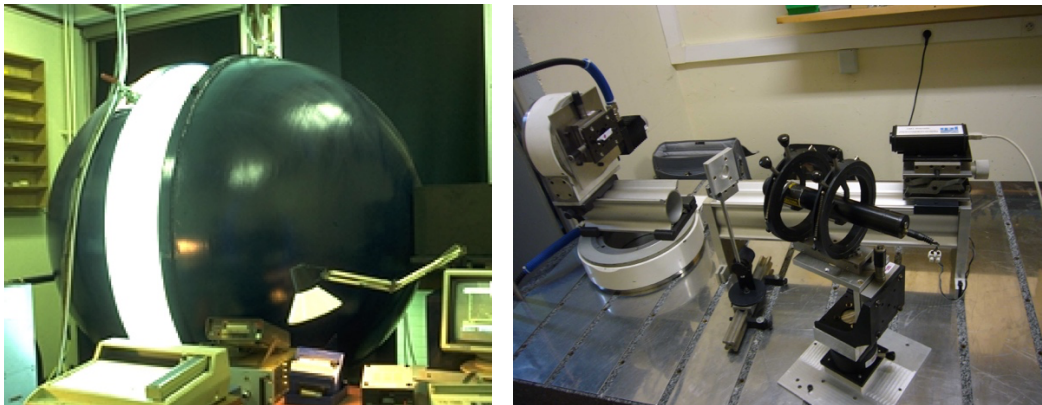


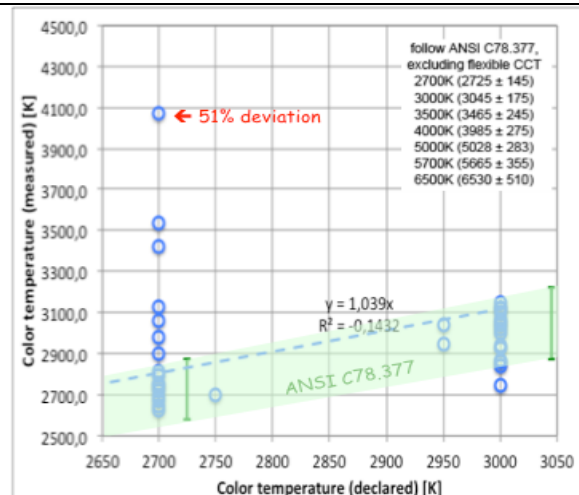
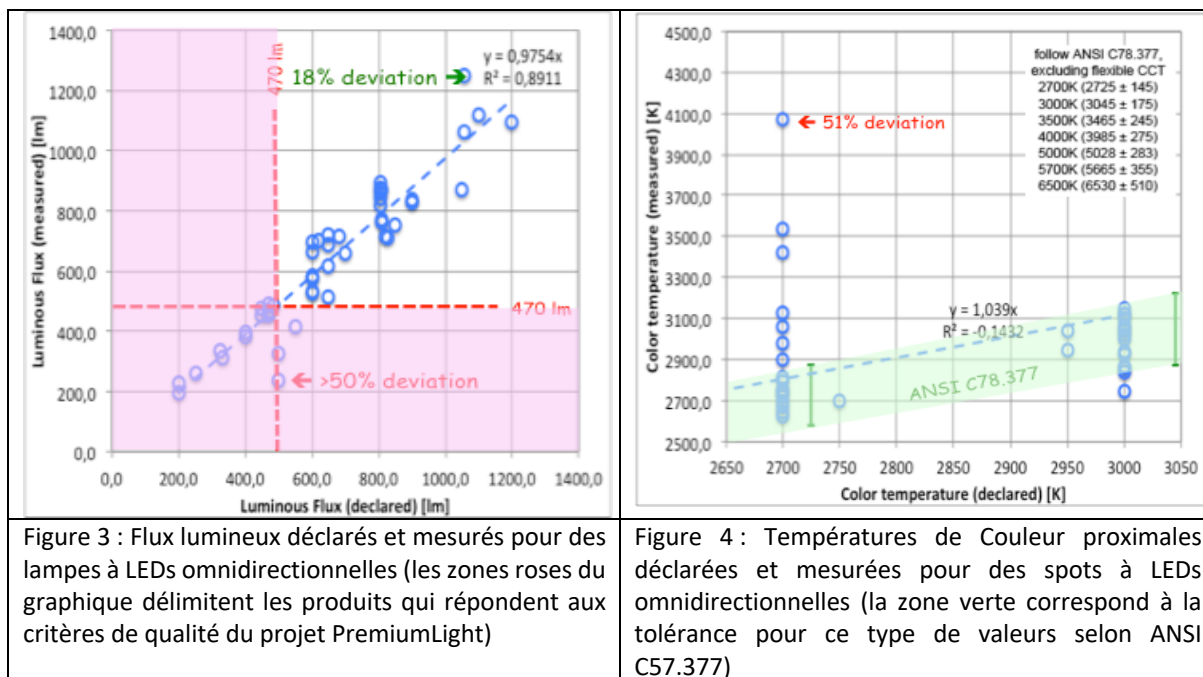
Figure 2 : moyens de mesure du LAPLACE Sphère intégratrice de $\varnothing 1,8\text{m}$ (à gauche) et goniomètre « champ proche » (à droite)

Nous avons constaté que la grande majorité des produits testés ont des déclarations conformes aux mesures, mais certains cas singuliers existent encore. Par exemple la puissance déclarée par une marque est 21% plus faible que la puissance réelle, et pour une autre lampe la valeur déclarée du flux lumineux est 50% plus forte que la réalité. Globalement comme le montrent les figures 3 et 4, il est bien plus difficile de donner une valeur conforme pour la température de couleur proximale que pour le flux lumineux.

¹ La température de couleur proximale des sources de lumière est elle renseigné sur le ton plus ou moins bleuté ou orangé de la lumière blanche produite par la lampe. Elle se mesure en kelvin (K)

² Le facteur de puissance est une caractéristique d'un récepteur électrique. Pour un dipôle électrique alimenté en régime de courant variable au cours du temps (sinusoïdal ou non), il est égal à la puissance active consommée par ce dipôle, divisée par le produit des valeurs efficaces du courant et de la tension (puissance apparente). Il est toujours compris entre 1 et 0.

³ La distorsion harmonique totale, encore appelé taux de distorsion est défini comme le rapport de la valeur efficace globale des harmoniques (c'est-à-dire leur somme quadratique) à la valeur efficace de la composante fondamentale



En outre, nous avons trouvé dans l'échantillon des produits avec d'excellentes caractéristiques : jusqu'à 104 lm / W (pour une lampe à LED omnidirectionnelle), des Indices de Rendu de Couleur allant jusqu'à 95 et des flux lumineux jusqu'à 1040 lm pour un luminaire AR111.

Globalement, nos mesures ont montré que la moyenne pour l'efficacité lumineuse des ampoules LED omnidirectionnelles passe de 71 lm/W à 77 lm/W en un an : il a donc augmenté de 8% entre les deux tours des essais. Pour les spots à LEDs cette efficacité passe de 53 lm/W à 66 lm/W correspondant à une amélioration de plus de 30% en un an. Cependant 15% des lampes à LEDs omnidirectionnelles ont une efficacité mesurée inférieure à 60 lm/W et pour 15% des spots l'efficacité reste inférieure à 50 lm/W. Cela reste inacceptable selon les critères de qualité applicables à des produits haut de gamme. Beaucoup d'ampoules LED sont jugées appartenir à la classe énergétique A+ (Figure 45).

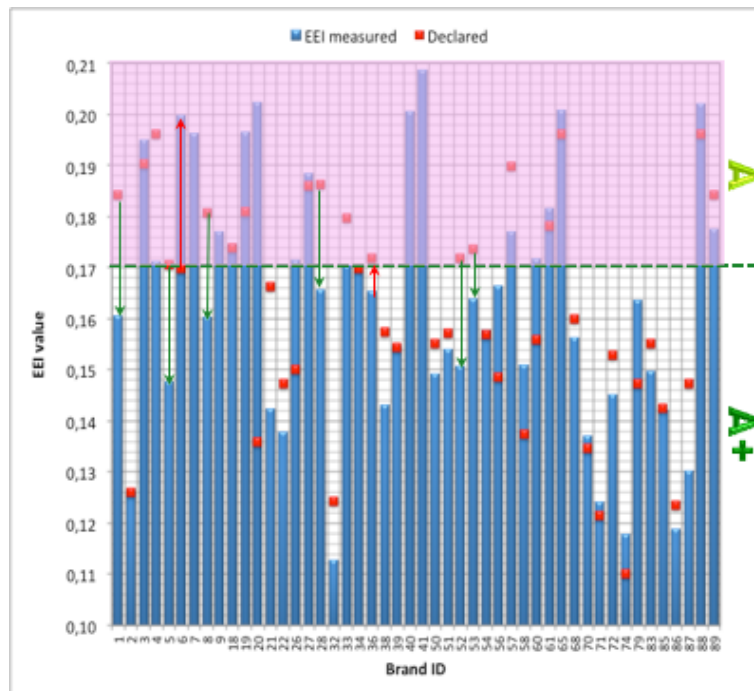


Figure 4 : Indice de Performance Energétique (EEI) déclaré par le constructeur (carré rouges) et mesuré (barres bleues). A et A+ sont les labels énergétiques associés à la valeur de EEI pour une lampe

Pour la majorité des produits l'indice de rendu des couleurs est supérieur à 80, mais plus de 32 % du lot présente des valeurs faibles que nous jugeons inacceptables (allant jusqu'à une valeur IRC mesurée de 62). Par ailleurs, si pour la majorité de lampes le facteur de puissance est supérieur à 0,5, plus de 20% du lot présente des valeurs très faibles qui peuvent attendre 0,2, ce qui reste inacceptable du point de vue du réseau électrique.

De plus comme toute technologie nouvelle ou émergente, les LEDs doivent prouver être au moins aussi sûres que les produits traditionnels qu'elles ont l'intention de remplacer. Ainsi, la sécurité sanitaire des produits de LEDs doit être évaluée en conditions réelles d'utilisation. Les risques potentiels posés par des LEDs pour la santé humaine sont principalement liés aux rayonnements optiques émis et leurs interactions avec la peau et les yeux (sécurité photobiologique). Pour toutes les sources de lumière, le rayonnement bleu est dangereux pour les enfants dont le cristallin ne filtre pas bien cette lumière alors que les adultes en sont mieux protégés. Certaines LEDs émettent une grande quantité de ce rayonnement potentiellement nocif. A charge pour les fabricants de minimiser la composante bleue en prenant garde de « défiler »⁴ la source.

Par ailleurs, les produits à LEDs peuvent avoir des effets indésirables des rayonnements optiques sur la vision comme l'éblouissement et les effets de scintillement en particulier. Ainsi, le composant LED est particulièrement éblouissant, caractéristique d'une forte intensité lumineuse émise à partir d'une toute petite surface. C'est un problème qui ne devrait pas être spécifique aux LEDs, puisque les filaments d'ampoule sont tout aussi éblouissants, mais nos luminaires étaient autrefois protégés, par exemple d'un abat-jour, chose que nos concepteurs actuels semblent considérer comme désuète. Pourtant une source placée dans un luminaire

⁴ C'est le terme des éclairagistes qui signifie « cacher », pour garantir le confort visuel des personnes.

doit toujours être « défilée ». Ce problème se pose moins pour les ampoules à LEDs de « substitution », souvent pourvues d'un globe opalescent, que pour les luminaires d'accentuation, les petits spots et les projecteurs de toute sorte lorsqu'ils sont mal employés. En fait, lorsque le luminaire est bien conçu, on ne doit jamais voir la source lumineuse directement.

Concernant le scintillement de la lumière, les mesures effectuées dans le cadre du projet PremiumLight ont ciblé l'effet de scintillement de la lumière. Nos conclusions montrent qu'il y a encore des progrès à faire dans cette direction : plus que la moitié du lot a un scintillement de lumière inacceptable pouvant atteindre la valeur 100%, c'est à dire tout les 10 ms la lampe est éteinte !

En conclusion et au vu des résultats PremiumLight, nous pouvons affirmer que le marché de LEDs parvient à maturité (au moins en ce qui concerne le segment des produits haut de gamme), mais, bien que les déclarations de performances de la majorité des produits du segment haut de gamme sont conformes à la réalité, pour beaucoup de produits elles restent mensongères et inacceptables. Par ailleurs, si la technologie LED a encore à montrer qu'elle peut être utilisée vraiment partout comme lampe de substitution aux sources blanches classiques, elle n'a en revanche plus à faire ses preuves en ce qui concerne son efficacité dans les projecteurs d'éclairage architectural, en intérieur comme en extérieur, lorsqu'il s'agit de « peindre » une paroi en couleur saturée, c'est à dire presque monochromatique. Cependant, abuser de cet éclairage décoratif est également un exercice périlleux car il peut consommer des quantités non négligeables d'énergie et peut perturber notre écosystème.

Evolutions futures de la technologie LED

Hormis des problèmes de qualité, du côté de la recherche, des nouvelles techniques sont mises en œuvre pour pousser l'efficacité des systèmes d'éclairage à LEDs vers 200 lm/W qui semble être une cible réaliste [6]. La liste suivante donne quelques exemples de ces efforts :

- L'amélioration de la croissance épitaxiale afin de permettre un contrôle plus précis des matériaux de type P et N pour améliorer l'efficacité et la qualité des couleurs.
- L'utilisation de mélanges rouge, vert, et ambre avec des LEDs bleues pour produire de la lumière blanche sans luminophores. FIGURE
- La maîtrise de la technologie des LEDs à nano-filaments qui pourraient émettre de la lumière blanche native en mélangeant différentes longueurs d'onde issues du même nano-filament.
- L'utilisation des LEDs à nanofils qui, en fonction d'un dopage variable spatialement, pourraient émettre de la lumière blanche native.
- Le développement des bons luminophores pour assurer la qualité de lumière blanche. Une variante des luminophores incorporés dans une matrice céramique a démontré une meilleure efficacité de conversion.
- Des améliorations optiques pour augmenter la fraction de la lumière extraite par la LED. Cette extraction de la lumière atteint actuellement 80% d'efficacité et nous croyons que 15% additionnels peuvent être obtenus en faisant appel à des techniques comme le grattage, les réflecteurs à haute réflectivité, les structures plasmoniques, les cristaux photoniques.

- Améliorer les technologies de ballast pour LEDs. Aujourd’hui, les meilleures alimentations à courant continu (dc) pour les lampes à LED présentent une efficacité de 92 à 93%. Les chercheurs travaillent sur des nouveaux concepts utilisant directement le courant alternatif (ac). Les experts estiment alors que l’efficacité des ballasts pourrait atteindre les 98% ou même plus.

Les experts du département de l’Energie des États-Unis (DoE) estiment que grâce à ces avancées l’efficacité du système d’éclairage à LED pour le blanc chaud atteindra en 2030 les 203 lm/W. Le tableau 1 montre ces projections telles qu’elles apparaissent dans le Plan Pluriannuel du DoE (MYPP) publié en 2012 [7].

Table 1 : Evolution de l’efficacité lumineuse des systèmes d’éclairage à LEDs selon DoE [4]

Année	2010	2015	2020	2025	2030
Efficacité lumineuse globale du système (lm/W)	50	120	180	195	203

Références

- [1] Cree First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier in <http://www.cree.com/News-and-Events/Cree-News/Press-Releases/2014/March/300LPW-LED-barrier>, March 26, 2014
- [2] Jeff Perkins (YOLE Development), “LED Packaging Challenges”, presented in IEEE Electronic Components and Technology Conference, May 29 - June 1, San Diego, CA (2012)
- [3] Jim Anderson (Philips Color Kinetics), “The Impact of Infrastructure on Global Manufacturing Decisions”, in Solid-State Lighting Manufacturing R&D Workshop Materials, April 21-22, San Jose, CA (2010).
- [4] « HB-LEDs and Solid State Lighting: Challenges and Opportunities », Tom Morrow (Executive Vice President SEMI), Solid-State Lighting Manufacturing R&D Workshop, June 13–14 in San Jose, CA (2012)
- [5] <http://www.premiumlight.eu>
- [6] Solid State Lighting, Hastbacka, Mildred, John Dieckmann, Antonio Bouza, ASHRAE Journal, March 2013
- [7] Solid-State Lighting Research and Development Multiyear Program Plan for 2012; prepared for: Lighting Research and Development, Building Technologies Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, April 2012