SUJET NATIONAL POUR L'ENSEMBLE DES CENTRES DE GESTION ORGANISATEURS

CONCOURS INTERNE ET TROISIEME CONCOURS DE TECHNICIEN TERRITORIAL PRINCIPAL DE 2ème CLASSE

SESSION 2012

EPREUVE

Rédaction d'un rapport technique portant sur la spécialité au titre de laquelle le candidat concourt. Ce rapport est assorti de propositions opérationnelles.

Durée : 3 heures
Coefficient : 1

SPECIALITE : METIERS DU SPECTACLE

A LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET

Ce document comprend : un sujet de 1 page, un dossier de 20 pages.

- **Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif ni dans votre copie, ni dans tout document à rendre (nom ou un nom fictif, signature ou paraphe, numéro de convocation ...)**
- **Aucune référence (nom de collectivité, nom de personne, ...) autre que celles figurant le cas échéant soit sur le sujet soit dans le dossier ne doit apparaître dans votre copie.**
- **Seul l'usage d'un stylo soit noir soit bleu est autorisé (bille, plume ou feutre). L'utilisation d'une autre couleur, pour écrire ou souligner, sera considérée comme un signe distinctif, de même que l'utilisation d'un surligneur.**

Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.

Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

Vous exercez vos fonctions de technicien territorial principal de 2ème classe au sein de la commune de TECHNIVILLE (40 000 habitants), attachée à une politique de développement durable du territoire auquel elle appartient. Les élus souhaitent s'inscrire dans une nouvelle dynamique d'équipements pour ses salles de spectacles.

Dans un premier temps, votre directeur technique vous demande de rédiger à son attention, exclusivement à partir des documents ci-joints, un rapport technique portant sur les performances, les contraintes et les enjeux des nouvelles technologies d'éclairage liées aux LEDS.

12 points

Dans un deuxième temps, il vous demande d'établir un ensemble de propositions opérationnelles destinées à assurer le choix (technique et économique) d'un équipement LED pour votre collectivité, au regard des éclairages traditionnels existants, dans tous lieux accueillant du public d'une part et pour une production artistique d'autre part.

8 points

Pour cette seconde partie, vous mobiliserez également vos connaissances.

Document 1 : « Les avis de l'ADEME – L'éclairage à diodes électroluminescentes (LED) » – LEDs éclairage du futur - ADEME – Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010 – 2 pages

Document 2: « Définition des termes techniques de lumière» – LEDs éclairage du futur - ADEME – Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010 – 1 page

Document 3 : « L'optique des éclairages à LEDs» – Laurent Mayollet - LEDs éclairage du futur – Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010 – 1 page

Document 4 : « La gestion thermique des LEDs de haute brillance» – Paul Messaoudi - LEDs éclairage du futur - Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010 – 3 pages

Document 5 : « Les LEDs : L'éclairage du futur ? Point de vue de l'éclairagiste» Christophe Marty- LEDs éclairage du futur - Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010 – 4 pages

Document 6 : « Les LEDs pourraient être dangereuses pour la vue » – Benjamin Monteil – Site Internet LED-fr.net – 2010 – 1 page

Document 7 : « Les LEDs : L'éclairage du futur - Technologie, enjeux et applications » – ASPROM- Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche - Séminaire/programme/présentation – 2010 – 3 pages

Document 8 : Extrait du « Dictionnaire des couleurs de notre temps » - Pages123 à 127 – HISTOIRE – Michel Pastoureau – 1999 – 1 page

Document 9 : « Les nouveaux territoires de la lumière. Avignon : le premier spectacle éclairé uniquement avec des LEDs» – Société AVAB transtechnik France (Communication d'entreprise) – 2009 – 2 pages

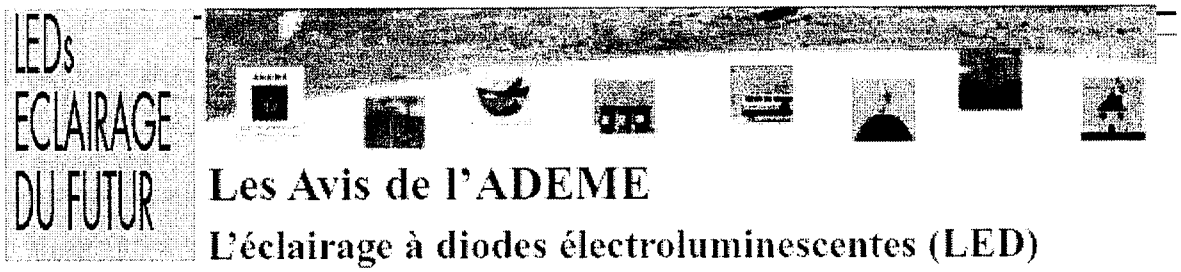
Document 10 : « ESL fait son théâtre au Grand T de Nantes» – Société ESL (Communication d'entreprise- interview) – 2010 – 2 pages

Documents reproduits avec l'autorisation du CFC.

Ce document comprend : un sujet de 1 page, un dossier de 20 pages.

Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents volontairement non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.

Document 1 :
« Les avis de l'ADEME – L'éclairage à diodes électroluminescentes (LED) »
LEDs éclairage du futur - ADEME – Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010



Les Avis de l'ADEME

L'éclairage à diodes électroluminescentes (LED)

ENJEUX

L'éclairage représente, en France, 10 % des consommations totales d'électricité. Dans le cadre du plan climat-énergie, l'Union Européenne a arrêté un calendrier de retrait progressif des ampoules traditionnelles de 25 à 100 watts qui cesseront d'être mises sur le marché au plus tard le 1er septembre 2012. En France, une convention sur le retrait progressif des ampoules à incandescence a été signée, dans le cadre du Grenelle Environnement, entre le Ministère du développement durable, les fédérations du commerce, l'éco-organisme Récylum, EDF et l'ADEME[1]. Le calendrier fixé comprend des étapes intermédiaires plus volontaristes que celles proposées par l'Union Européenne avec l'objectif d'interdire les ampoules à incandescence à l'horizon 2012. L'éclairage à diodes électroluminescentes (LED) est souvent présenté comme une alternative aux lampes traditionnelles, aux côtés des lampes à basse consommation (voir Avis « Les lampes basse consommation ») et des halogènes nouvelle génération, ces derniers représentant l'alternative la moins efficace en termes d'efficacité énergétique.

DESCRIPTION

Une diode électroluminescente (LED[2]) est un composant électronique permettant la transformation de l'électricité en lumière. Ses principales applications sont par ordre d'importance en termes de marché : les appareils mobiles, les écrans, le secteur de l'automobile, l'éclairage et la signalisation.

Il est possible de classer les LED :

- par leur spectre lumineux :
  - les **LED de couleur** : leur spectre est quasiment monochromatique ;
  - les **LED blanches** : leur spectre est constitué de plusieurs longueurs d'ondes ; la technologie la plus utilisée actuellement pour produire de la lumière blanche avec des LED consiste à ajouter une fine couche de phosphore dans une LED bleue.
- par leur puissance : le principe de fonctionnement est identique, mais le champ d'application varie :
  - les LED de faible puissance c'est-à-dire inférieure à 1 Watt sont utilisées comme voyants lumineux sur les appareils électroménagers par exemple ;
  - les LED de forte puissance c'est-à-dire supérieure à 1 Watt supportent des courants plus importants (jusqu'à 1500 mA) et fournissent davantage de lumière (jusqu'à 135 lm/W).

Pour l'éclairage, on utilise des lampes constituées de plusieurs LED de forte puissance accolées.

DEVELOPPEMENTS

Le marché

Les propriétés de l'électroluminescence dans les semi-conducteurs ont été découvertes en 1922 puis industrialisées à partir de 1960 sous la forme de diodes de couleur. C'est seulement en 2000 que les LED de forte puissance et les LED blanches sont apparues, grâce à d'importants efforts de R&D, avec l'ambition de concurrencer les technologies existantes pour l'éclairage courant des particuliers, sur les lieux de travail ou en éclairage extérieur.

Selon une étude de la société de semi-conducteurs NXP[3], le marché des LED pourrait connaître un taux de croissance annuel de près de 15 % entre 2008 et 2012 pour atteindre 12,3 milliards de dollars. Alors qu'en 2005, le marché des LED n'avait grimpé que de 2,1 %, les industriels font état d'une hausse de 13,7 % en 2007. Si la part de marché des LED pour l'éclairage reste faible en comparaison de celle des LED dans les appareils mobiles, elle devrait connaître la plus forte croissance en part de marchés en 2010 (+ 117 %).

Les industriels de l'éclairage sont aujourd'hui en phase d'apprentissage face à cette technologique d'origine électronique, tandis que les milieux de l'électronique cherchent à appréhender les besoins de l'éclairage pour y adapter la technologie LED. Quatre grands fabricants se répartissent le marché mondial des LED : Philips Lumileds (USA), Osram (USA et Allemagne) et Nichia (Japon) et Seoul Semiconductor.

Performances techniques

La technologie des diodes électroluminescentes ouvre des perspectives intéressantes en matière d'éclairage économe : bon rendement énergétique des diodes (jusqu'à 135 lm/W en laboratoire pour les LED dites super lumineuses), durée de vie importante (jusqu'à 50 000 heures pour les lampes à LED contre 1 000 h pour les ampoules à incandescence et 8 000 h pour les lampes basse consommation), fonctionnement en très basse tension, insensibilité aux chocs, possibilité de couleurs sans filtres, facilité de montage et absence de mercure. Elles admettent des cycles d'allumage et d'extinction fréquents et sont recyclables[4]. En matière d'éclairage public, les LED ont l'avantage d'admettre une alimentation en courant continu (ce qui rend possible l'utilisation de sources d'énergies renouvelables) et un allumage très rapide ; elles bénéficient d'une bonne étanchéité.

Toutefois, les lampes à LED actuellement disponibles sur le marché de l'éclairage domestique offrent un flux lumineux encore limité (équivalent à celui d'une lampe à incandescence de 40 W) et concentré (elles n'éclairent pas un

[1] http://www.developpement-durable.gouv.fr/article.php3?id_article=3816
[2] LED est le sigle anglais pour Light Emitting Diode, traduit en français par le sigle DEL pour Diode Electroluminescente (mais peu usité).
[3] www.nxp.com
[4] www.recylum.com

large champ). En outre, ces produits sont de qualité et d'efficacité inégales et il n'existe pas de méthode harmonisée pour mesurer leurs performances énergétiques et visuelles, ni d'étiquette énergie permettant d'informer le consommateur sur ces performances. **Il est donc difficile pour le consommateur de choisir les meilleurs produits.**

Enfin, les performances des lampes à LED doivent encore être améliorées. Ainsi, si une diode seule affiche un rendement énergétique très bon (environ 100 lm/W et jusqu'à 135 lm/W pour les plus performantes), une lampe à LED offre un rendement compris entre 40 et 50 lumens/watt. Cette baisse de rendement est notamment liée à la chaleur produite par les diodes accolées dans la lampe. Les lampes à LED mises sur le marché ont donc en moyenne une efficacité énergétique moins bonne que celle des lampes fluocompactes (65 lm/W) mais meilleure que celles des lampes à incandescence traditionnelles à filament (14 lm/W).

Toutefois, les évolutions technologiques attendues laissent entrevoir, à l'horizon 2015, un rendement de 150 lm/W.

L'indice de rendu de couleur est encore mauvais pour la majorité des lampes à LED blanches mises sur le marché.

Par ailleurs, des études doivent être menées sur les impacts sanitaires des LED, certaines diodes contenant un spectre bleu de forte intensité qui pourrait s'avérer dangereux pour la rétine. L'Afsset évalue actuellement l'impact des LED sur la santé.

Dans le domaine de l'éclairage public où les contraintes sont plus fortes en raison des conditions extérieures (température, pluie...), les travaux de recherche visent une bonne efficacité lumineuse et une bonne stabilité de lumière.

COUTS

Une lampe à LED de qualité reste encore très coûteuse à l'achat. Les progrès techniques et le développement rapide des ventes devraient faire baisser les prix.

AVIS DE L'ADEME

Compte tenu d'une durée de vie très longue et d'une consommation électrique faible, **les LED constituent une technologie prometteuse** en matière d'éclairage économe.

Les performances des lampes utilisant des LED doivent toutefois encore progresser, en particulier en matière d'efficacité énergétique. L'absence d'un référentiel qualité et de normes photométriques appliqués aux lampes à LED ne permet pas aujourd'hui de vérifier les performances réelles des lampes mises sur le marché. De plus, face à l'offre disparate de produits, le consommateur ne dispose pas d'outils, telle l'étiquette énergie, pour faire son choix. **Enfin, des études complémentaires sur les impacts sanitaires sont attendues. L'ADEME n'est donc pas en mesure de faire la promotion des produits actuellement sur le marché.**

L'ADEME accompagne les travaux de recherche et de développement menés sur les LED depuis le début des années 2000. **L'Agence s'attache, à travers sa participation à des projets de recherche français[5] et internationaux, à favoriser le développement de produits à LED performants et de référentiels permettant d'assurer la qualité des produits mis sur le marché.** Partie prenante du programme « 4 E » mené par l'AIE[6], l'ADEME appuie la mise en place d'une plate forme de discussion internationale pour définir des critères de qualité et d'efficacité des LED, ainsi qu'un protocole de mesures.

En matière d'éclairage public, l'Agence soutient, sous certaines conditions[7], des opérations permettant un retour d'expérience pour l'application de cette technologie dans les politiques locales d'économie d'énergie.

Pour en savoir plus

Publications

- guide ADEME sur l'éclairage performant
- guide AFE sur l'éclairage

Sites Internet

- www.ecocitoyens.ademe.fr
- www.afe-eclairage.com

[5] et notamment financement du programme Citadel (Caractérisation de l'intégration et de la durabilité des dispositifs d'éclairage à LED dans le bâtiment) coordonnée par le CSTB et participation au Programme d'Actions Concertées en Technologies de l'Energie LED (développement d'une offre de LED se substituant aux halogènes TBT avec une puissance électrique inférieure et une durée de vie plus longue)

[6] Agence Internationale de l'Energie.

[7] Étude préalable incluant un volet conception de l'éclairage et un volet énergétique (comparaison de consommation par rapport aux lampes fluorescentes ou sodium).

Document 2:
« Définition des termes techniques de lumière»
LEDs éclairage du futur - ADEME – Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010

LEDs ECLAIRAGE DU FUTUR

Définition des termes techniques de lumière

Sources primaires : Les sources émettrices de lumières sont des sources primaires. Le soleil, la flamme d'une bougie, une ampoule électrique sont des sources primaires. Elles émettent de la lumière dans toutes les directions. Leur intensité se mesure en candelas (cd).

Sources secondaires : Les sources secondaires sont des sources de lumières qui réfléchissent la lumière en direction de l'observateur ou de l'appareil photographique. Ce flux lumineux secondaire, la luminance, s'exprime en candelas par mètre carré (cd/m²).

Le Flux (F ,en lumen) : Énergie lumineuse émise dans une direction donnée. Ce flux est égal à 1 lumen si la source présente à la base du cône est de 1 candela.

La luminance (cd) : Grandeur mesurée à proximité immédiate de la source lumineuse. Elle s'exprime en candela.

L'éclairement (en lux) : C'est le flux lumineux reçu. Une surface reçoit un lux si sa surface est de 1m² et si elle est situé perpendiculairement à 1m d'une source d'un candela.

Les unités de mesure de la lumière

Candela : unité de l'intensité lumineuse. 1 candela vaut 1 lm/1 sr (lumen/stéradian).

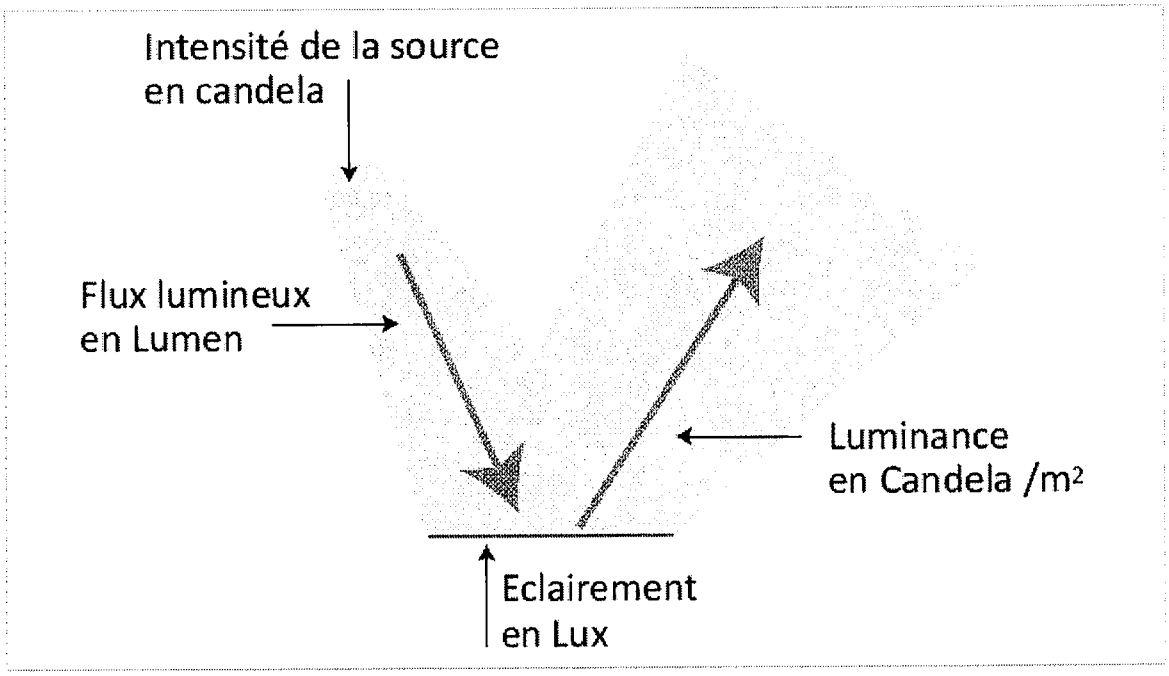
Stéradian ou Angle Solide Unité : C'est un cône dont la base est le centre d'une sphère d'un mètre de rayon et dont l'extrémité est un cercle de 1m² de surface situé sur la sphère. (symbole sr).

Lumen : unité de la quantité de lumière rayonnée par une source dans le spectre visible (symbole lm)

Luminance : quotient de l'intensité lumineuse par la surface apparente de la surface émissive. La luminance se note L et s'exprime en candela par mètre carré, valeur comprise entre 0,05 et 5000 cd/m².

Lux : Unité de l'éclairement, c'est la quantité de lumière, ou flux lumineux exprimé en lumen émise par une source, interceptant une surface exprimée en m². (1 lux = 1 lm /1 m²).

Source : b-schmerber (b.schmerber.9online.fr/ecran/lumiere.htm)



Document 3 :
« L'optique des éclairages à LEDs »
Laurent Mayollet - LEDs éclairage du futur – Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010

LEDs ECLAIRAGE DU FUTUR

L'optique des éclairages à LEDs

Laurent MAYOLLET, O++
124 rue Pasteur - 59370 Mons en Baroeul - www.oplusplus.com
Tél : 03 20 19 05 15 - lmayollet@oplusplus.com

Introduction

Le développement des LEDs de haute puissance, capables de produire un flux lumineux supérieur à 50 lm, a engendré une importante activité de reconception des systèmes utilisant jusqu'à présent des sources traditionnelles comme des lampes à filament halogènes ou des lampes à arc.

Cependant, l'expérience montre que cette activité de conception s'est souvent concentrée sur les aspects électroniques, thermiques, mécanique, au détriment de l'optique elle-même, qui pose pourtant des problèmes spécifiques du fait que les LEDs ont des caractéristiques photométriques très différentes des sources traditionnelles, ce qui rend peu efficaces de simples adaptations comme le remplacement d'un tube fluorescent par une rangée de LEDs sans réoptimisation de l'optique, ou encore le remplacement d'une ampoule à filament par une LED dans un réflecteur. De telles configurations sont pourtant souvent rencontrées dans des produits à bas coûts, grand public, mais aussi parfois dans des équipements professionnels, avec pour conséquence une perception négative des éclairages à LEDs.

Le présent article a pour but de fournir quelques lignes directrices pour orienter les choix de conception d'un produit d'éclairage à LEDs.

Sources traditionnelles et LEDs

Les sources lumineuses traditionnelles telles que lampes à incandescence, tubes fluorescent, lampes à vapeur de sodium, sont utilisées couramment depuis plusieurs décennies pour les applications d'éclairage. Les caractéristiques de ces sources, avantages et inconvénients, sont bien connues des concepteurs d'éclairage, qui ont un retour d'expérience important.

La situation est très différente pour les éclairages à LEDs, dans lesquels on découvre, bien souvent assez tard dans le cycle de développement et au moment de réaliser des essais, l'importance de certains paramètres photométriques, comme la luminance de la puce.

- les sources classiques utilisées en éclairage rayonnent généralement dans tout l'espace. Par conception même, les LEDs rayonnent dans un demi-espace, avec une intensité maximale suivant la normale à la puce.
- la luminance de sources courantes comme les tubes fluorescents, ou même les lampes à incandescence, est faible à modérée et ne présente généralement pas de danger en vision directe, contrairement aux LEDs de puissance.

La puce d'une LED de puissance est une source de luminance très élevée, qui peut être supérieure à 108 cd/m², bien que le flux total reste généralement inférieur aux sources classiques.

L'oeil étant sensible à la luminance, il en résulte une plus grande difficulté à éliminer les problèmes d'éblouissements dans certaines applications.

Ce problème est particulièrement sensible en éclairage intérieur par exemple, où sont définies des normes portant sur la luminance.

Ces caractéristiques expliquent que bien souvent, une adaptation naïve consistant à remplacer une source classique par des LEDs tout en conservant l'optique, pour des raisons économiques, produit des résultats peu satisfaisants : problèmes d'éblouissement, distribution photométrique (intensité) non conforme, et même rendement médiocre (alors même qu'une des motivations pour passer aux LEDs était la réduction de consommation électrique).

On ne saurait donc trop insister sur la nécessité d'approches optiques nouvelles pour exploiter au mieux le potentiel des LEDs.

Composants optiques standards

L'identification de certaines fonctions d'usage courant, comme la collimation du faisceau issu d'une LED, d'une part, et l'uniformisation de certaines caractéristiques, comme la dimension de la puce, a permis le développement de quelques composants standards, qui peuvent permettre, dans certains cas, d'assembler des systèmes d'éclairage avec un minimum de conception optique.

Un composant couramment utilisé est le collimateur, dont le principe est représenté sur la *figure 1*.

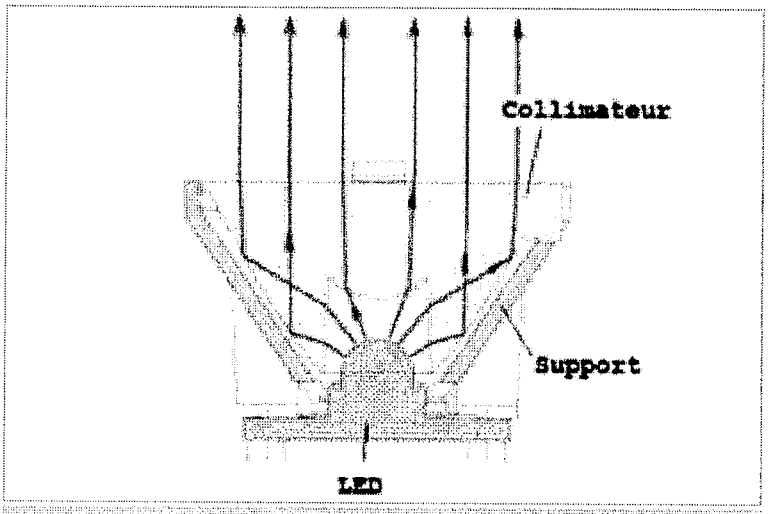


Figure 1 : Principe d'un collimateur

Document 4 :
« La gestion thermique des LEDs de haute brillance»
Paul Messaoudi - LEDs éclairage du futur - Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010

LEDs ECLAIRAGE DU FUTUR

La gestion thermique des LEDs de haute brillance

Paul MESSAOUDI, CEA-Léti Département Optronique
17, rue des Martyrs - 38054 Grenoble Cedex 9
Tél. : 04 38 78 13 40 - paul.messaoudi@cea.fr

cea
leti
Laboratoire d'électronique de technologie de l'information
Département optronique

I - Introduction / Résumé / Problématique

Les Diodes Electro-Luminescentes (DEL) sont devenues en très peu de temps des produits incontournables. La puissance lumineuse émise par ces composants électroniques est telle que les LEDs peuvent aujourd'hui adresser le domaine de l'éclairage. De plus elles accumulent les avantages : robustes et fiables, elles sont très efficaces et consomment moins d'énergie que les sources lumineuses conventionnelles (voir Figure 1 et Figure 2). Environ 30 % de l'énergie fournie dans une LED actuelle est convertie en lumière, le reste est transformé en chaleur.

Pourtant les LEDs ont quand même certaines « faiblesses », elles craignent les décharges électrostatiques (ESD), n'émettent pas de blanc direct et sont très sensibles aux variations de température.

Cette sensibilité est sans doute le défaut le plus dommageable car de nombreuses caractéristiques des LEDs dépendent de la température.

Par ailleurs les fabricants tendent à augmenter continûment la puissance de leur LEDs dans un boîtier de taille constante. La puissance par m² à dissiper est de plus en plus importante, la température dans le composant LED peut donc être très élevée si la chaleur engendrée n'est pas correctement évacuée. Ceci nécessite alors une bonne utilisation des LEDs selon les principes du « thermal management » ou gestion/maîtrise thermique. Cette méthode est un outil puissant pour réduire les gradients thermiques et nous verrons par la suite comment elle peut être mise en œuvre afin d'utiliser au mieux les LEDs et ne pas dégrader leurs performances.

II - Effets thermiques sur les performances des LEDs

a. Gestion Optique
(« Optical Management »)

i. Baisse d'intensité lumineuse avec la température

Avant tout, une LED est un composant électronique à base de matériaux semi-conducteurs. Ceux-ci sont définis par leur énergie de gap E_g et par la transition ou recombinaison électron-trou radiative (émission d'un photon) ou non-radiative (émission d'un phonon) (*voir la Figure 3*). Dans une LED, les deux types de transitions coexistent d'où une efficacité globale de 30 % environ aujourd'hui.

La longueur d'onde des photons émis par la LED est inversement proportion-

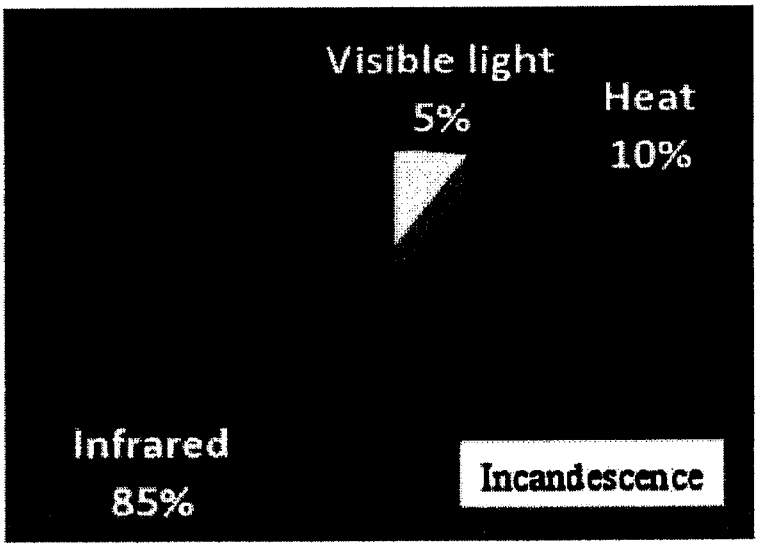


Figure 1 : Conversion de l'énergie électrique dans une lampe

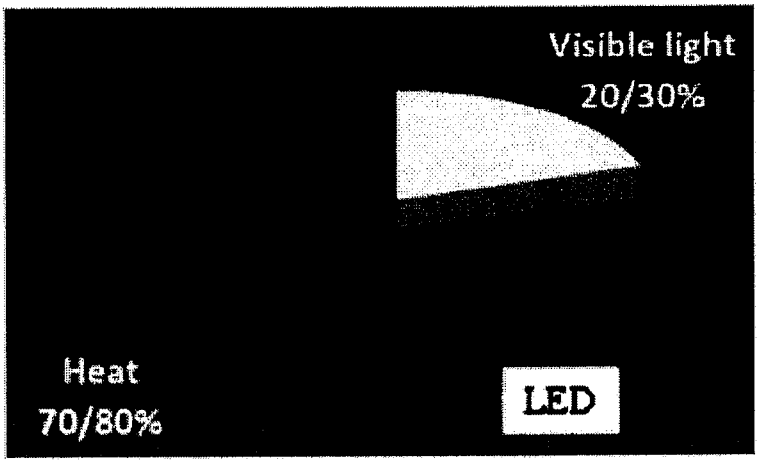


Figure 2 : Conversion de l'énergie électrique dans une lampe à LED

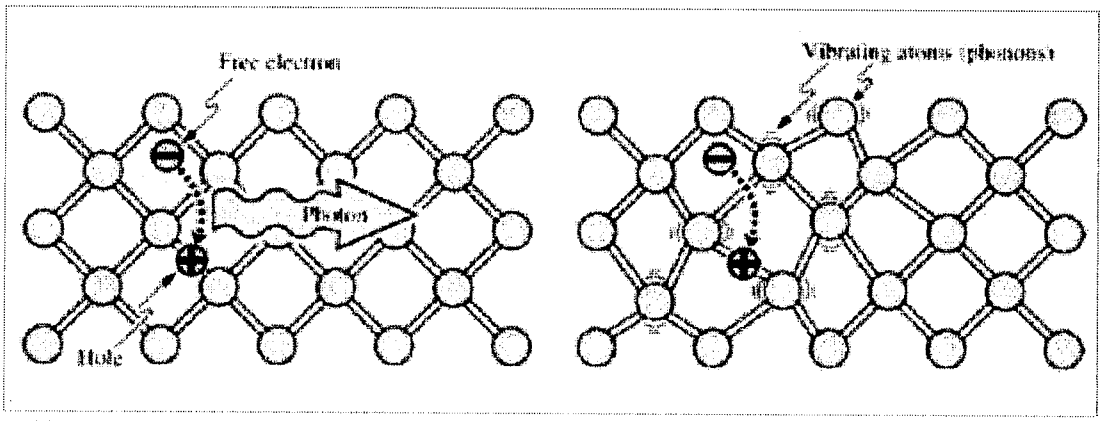


Figure 3 : Schéma des recombinaisons radiative et non-radiative dans un semiconducteur *(Source : E.F. Schubert, Rensselaer Institute)*

nelle à l'énergie de gap. Or chaque composant, formé d'un seul matériau, n'a qu'une seule valeur d'Eg, et n'émet que dans une seule couleur.

Pour recréer le spectre entier (« couleur blanche »), il faut associer toute une gamme de matériaux LED.

La *Figure 4* nous montre les domaines de longueur d'onde que peuvent adresser les différents types de matériaux. Les nitrures de Gallium et d'Indium émettent dans le bleu-vert et les phosphures de Gallium et d'Indium dans l'orange. Les arséniures de Gallium permettent d'atteindre le rouge. On voit qu'il existe un « manque » dans le jaune-vert, précisément la longueur d'onde à laquelle l'œil est le plus sensible.

Les variations de température n'auront pas la même incidence pour chacun des types de matériaux. La Figure 5 présente l'effet de la température sur l'efficacité lumineuse de LEDs de différentes couleurs (T=25°C étant le point de référence).

On voit sur cette Figure 5 que les LEDs rouge et ambre sont plus impactées par les gradients thermiques que les LEDs bleues ou vertes.

Il existe plusieurs possibilités pour créer la couleur blanche avec des LEDs. L'une de ces possibilités consiste à mélanger des LEDs rouges, vertes et bleues dans le même module. La *Figure 5* montre bien la difficulté d'utiliser un tel module RVB. Pour stabiliser le blanc, il faut ajouter un système complexe de correction basé sur un capteur thermique et un programme informatique.

ii. Dérive chromatique

Une autre caractéristique des semiconducteurs réside dans le fait que l'énergie de gap E_g dépend de la température du matériau (*voir Figure 6*). Cet effet va causer une dérive du point de couleur des LEDs.

La méthode la plus courante pour faire du blanc est d'associer une LED bleue à un convertisseur de lumière (appelé généralement « phosphore »). Cette technique a l'avantage d'utiliser une LED dont l'efficacité est plus stable en fonction de la température (*voir Figure 5*). Par contre, la dérive chromatique va engendrer un déplacement du point de couleur vers le vert et le convertisseur perdra en efficacité avec cette variation de longueur d'onde (*voir Figure 7*).

C'est pourquoi, la gestion thermique est primordiale dans la « fabrication » du blanc avec des LEDs que se soit dans le cas d'un module RVB ou dans le cas d'une LED blanche convertie.

b. Gestion de la puissance

Une diode est une jonction de semiconducteurs et a la propriété de voir sa tension de seuil baisser linéairement avec la température. On appelle cet effet le « voltage drop » ou chute de tension d'une diode.

Prenons l'exemple d'une LED bleue que nous avons testée en température :

Une variation de température

$$\left.\frac{d(V_{LED\ Bleue})}{dT}\right|_{I=1mA} \approx -1{,}6\ mV.°C^{-1}$$

ΔT = 100 °C induira une variation de tension ΔV = -160 mV. Pourtant même si cette valeur paraît assez faible, on voit sur la *Figure 8* qu'un faible gradient de tension ΔV provoquera un fort gradient de courant ΔI dans la diode d'où une variation de puissance lumineuse également très forte.

C'est à cause de cet effet de Voltage Drop en fonction de la température que l'on recommande de contrôler les LEDs en courant et non pas en tension.

c. Fiabilité / Durée de vie

Le dernier effet très destructeur des gradients thermiques est la réduction de la durée de vie des LEDs. C'est un effet de seuil et irréversible : dès lors

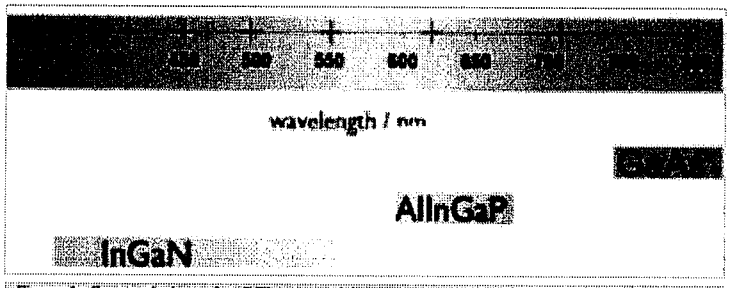


Figure 4 : Spectre émis par les différents matériaux semiconducteurs III-V *(Source : E.F. Schubert, Rensselaer Institute)*

qu'un certain nombre de défauts s'accumulent dans les LEDs, elles commencent à montrer des signes de défaillance (baisse du flux lumineux par exemple). De plus, l'apparition de ces défaillances s'accélère dès lors que la température des LEDs augmente.

La *Figure 9* nous présente le cas de LEDs bleues vieillies à différentes températures. Les valeurs extrapolées de durée de vie montrent que pour une perte lumineuse de 20 % une LED à 100 °C durera quatre fois moins longtemps (10000 h) qu'une LED à 55 °C (40000 h). Malgré tout, même chaude, une LED « vit » plusieurs milliers d'heures, ce qui fait d'elle une source lumineuse bien plus robuste qu'une ampoule à incandescence.

III. Origine thermique des défaillances

a. Matériau d'Interface Thermique

Dans un composant électronique, les trois modes classiques de transfert de chaleur n'ont pas la même importance : au niveau du composant LED, l'échange de chaleur avec l'extérieur par convection et par radiation est très faible car la surface développée avec le milieu extérieur est limitée ; la conduction thermique est alors le mode de transfert thermique prédominant (~ 90 % de la puissance dissipée) et la majeure partie de la chaleur passe par le fond du composant LED, c'est-à-dire par ses pattes de connexion sur la carte imprimée et par son drain thermique lorsqu'il existe (*voir Figure 11*).

Afin d'améliorer et maîtriser le flux de chaleur par conduction, on utilise généralement un dissipateur ou un radiateur (« heatsink » ou puits de chaleur) que l'on place au plus près de la source chaude, c'est-à-dire sous la LED.

La partie la plus critique du système présenté en *Figure 12* est le Matériau d'Interface Thermique (« Thermal Interface Material » TIM) qui assure la liaison entre la LED et le radiateur. Le choix de ce matériau peut s'avérer crucial pour un fonctionnement optimum et une longévité accrue de nos LEDs. Afin de bien choisir ces TIM, on fait appel à critère très pratique : la Résistance Thermique.

b. Notion de Résistance Thermique

Il existe un moyen simple pour modéliser la conduction thermique dans les systèmes électroniques : c'est le principe de Résistance Thermique R_{th}. Cette notion provient de l'analogie des équations de la chaleur décrite par Fourier avec la loi d'Ohm régissant la conduction électrique.

La *Figure 13* présente cette analogie thermique-électrique où la puissance dissipée $P_{dissipée}$ (ou la quantité de chaleur Q) dans un matériau correspond à un courant et où le gradient de température ΔT équivaut à une différence de potentiels ΔV.

$$\Delta T_{A-B} = P_{dissipée} \cdot R_{Th}$$

La résistance thermique dans ces conditions peut s'écrire ainsi :

$$R_{th} = \frac{l}{A \times \kappa}$$

Avec

t, l'épaisseur du matériau traversée par $P_{dissipée}$

A, la section du matériau,

κ, la conductivité thermique du matériau

On exprime une R_{th} entre 2 points, principalement entre la jonction de la LED et l'extérieur du boîtier (« case » en anglais) ou de la carte imprimée. Elle s'exprime en °C/W (ou K/W).

Cette valeur apparait dans les fiches de données des fabricants et est en général associée à la valeur maximale de température de jonction T_J.

Le premier travail du thermicien électronique est de minimiser la $R_{th\ Jonction\ -\ Case}$ en affinant l'épaisseur du matériau, en augmentant la section de passage de la chaleur et en favorisant l'emploi de matériaux à haute conductivité thermique.

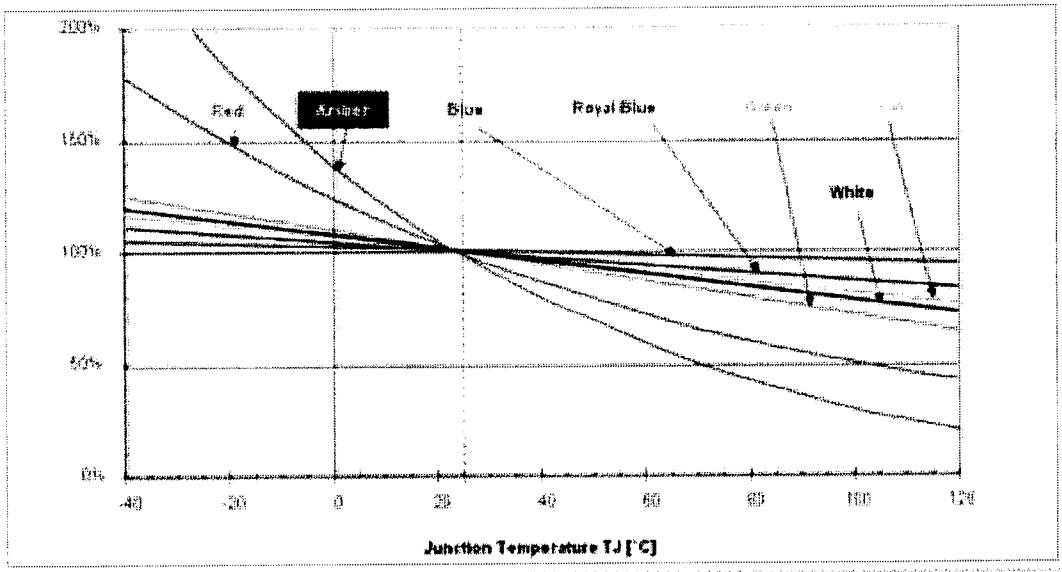


Figure 5 : Puissance lumineuse relative des LEDs en fonction de la température - *Source : Philips Lighting*

Document 5 :
« Les LEDs : L'éclairage du futur ? Point de vue de l'éclairagiste»
Christophe Marty- LEDs éclairage du futur - Veille technologique n°38 – Août/Septembre 2010

LEDs ECLAIRAGE DU FUTUR

ingelux Consultants

Les LEDs : L'éclairage du futur ? Point de vue de l'éclairagiste

Par Christophe MARTY, Consultant Associé, Ingénieur ITPE / Architecte DPLG - Espace Carco, 1 rue Francis Carco - 69120 Vaulx en velin
Tél. : 04 37 45 29 29, - marty.ingelux@espace-carco.com

Rares sont les projets d'éclairage où le maître d'ouvrage ne pose pas la question « y aura-t-il des LEDs dans mon projet ? » ou « et pourquoi pas des LEDs à la place ? ». La LED a désormais dépassé le monde du signal lumineux pour entrer de plain-pied dans celui de l'éclairage. La médiatisation de l'objet technologique qui doit révolutionner l'éclairage est telle que la plupart des acteurs des projets de construction en ont entendu parler et poussent à son utilisation.

Qu'en est-il vraiment ? Quelles sont les « bonnes » raisons pour remplacer un éclairage fluorescent par un éclairage à LEDs ? Si de nouvelles applications sont désormais permises par les LEDs, d'autres restent hors de portée des luminaires à LEDs présents sur le marché, et ce pour de multiples raisons qui ramènent en général le maître d'ouvrage à un avis plus éclairé sur la source, en attendant les prochains progrès annoncés par les constructeurs.

Les acteurs de la construction et la LED

Les maîtres d'ouvrage en bâtiment ont entendu dire que la LED était l'éclairage du futur et que «ça ne consomme rien». Ils demandent (souvent) s'il y aura des LEDs dans leur projet. Certains d'entre eux testent actuellement des solutions de substitution par LEDs. Certaines réalisations ont été des succès comme dans les sanitaires, d'autres ont abouti à des solutions négatives comme l'éclairage de couloirs.

C'est dans la mise en valeur de bâtiments que l'éclairage à LED s'est imposé.

Les architectes sont souvent mieux informés sur les avantages et inconvénients des LEDs. Ils sont attirés par le peu d'encombrement des LEDs (design) et les possibilités de la gestion de la lumière.

Les bureaux d'études accompagnent le plus souvent les demandes des autres acteurs sur la LED. Par défaut, ils utilisent les solutions «habituelles» (carrés fluos, spots, etc.). Ils savent utiliser la LED, mais en général ne sont pas moteurs. Néanmoins certains bureaux d'études plus en pointe, cherchent l'innovation en proposant des solutions à base de LEDs.

La communication autour de la LED

Les points forts généralement mis en avant autour de la LED sont :

- la durée de vie de 100 000 heures,
- la très faible consommation.

Les faiblesses souvent reprochées (à tort ou à raison) à cette technologie portent sur :

- la mauvaise qualité de lumière,
- la teinte très froide,
- la mauvaise qualité des LEDs chinoises,
- la difficulté à retrouver une LED équivalente en cas de casse ou en cas de remplacement dans quelques années.

L'éclairagiste face aux demandes d'utilisation de la LED

Si on suit la demande générale, la LED risque d'être utilisée dans des cas dans lesquels son avantage reste certain comparé à d'autres solutions éprouvées, par exemple, le remplacement de tubes fluorescents dans les parkings.

Dans le cas de l'éclairage de bureau, la tendance actuelle est de remplacer les tubes fluorescents par des LEDs (*photo 1*). Les avantages avancés sont la réduction de la consommation et de

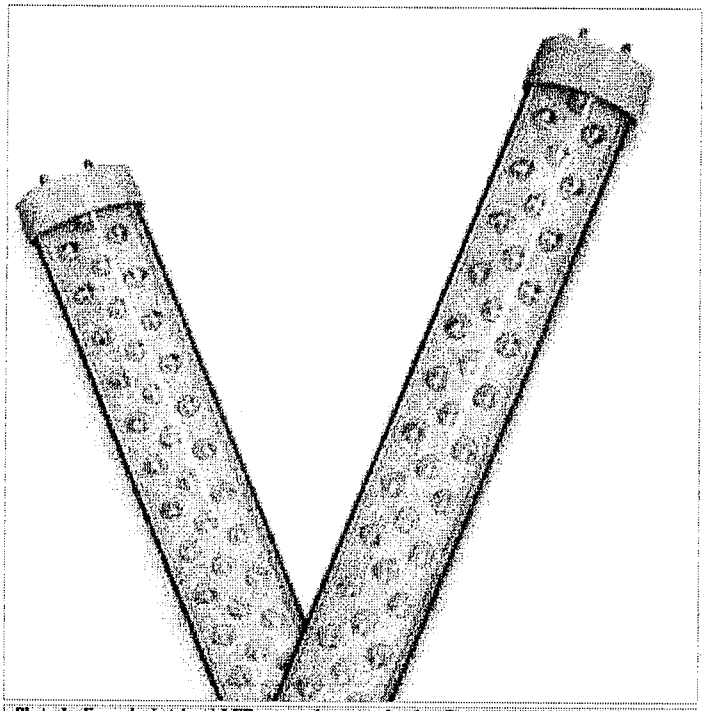


Photo 1 : Exemple de tubes à LED en remplacement de tubes fluorescents (source : site Internet : www.joliet-europe.com

la maintenance. Aujourd'hui on sait éclairer à 7 watts/m² avec des tubes fluorescents 55 watts, en direct-indirect avec gradation... La durée de vie des tubes fluorescents est de 20 000 heures, ce qui conduit à une maintenance de tous les cinq ans seulement. La LED n'offre pas encore de telles caractéristiques mais n'en n'est pas très loin. A ce jour les sources existantes gardent encore un avantage dans de nombreuses configurations. L'argumentaire portant sur la réduction de consommation et la durée de vie est ainsi souvent galvaudé.

L'éclairagiste est garant d'un résultat. De nombreux critères entrent en jeu pour faire une installation de qualité. Parmi les critères techniques, citons : l'efficacité énergétique (la consommation y compris ballast /le flux), la durée de vie, l'angle d'ouverture, la gradation possible / la gestion centralisée. Des critères de qualité de lumière interviennent aussi : la température de couleur proximale (teinte), l'indice de rendu de couleur, la luminance (dans un luminaire), la cohérence de couleur selon l'angle (cercles colorés). Ce sont ces critères qui sont intuitivement jugés par les utilisateurs, sans connaître leurs noms techniques.

Le projet PACTE LED

Photo 2 : le logo PACTE LED + Logo ADEME

Ce programme (*photo 2*) vise à développer des solutions d'éclairage à base de diodes électroluminescentes (LED) pouvant se substituer aux spots halogènes et ainsi diviser par 4 la consommation électrique pour un flux lumineux identique. Quelque 59 millions de lampes sont concernées, dont le remplacement économiserait 1,4 TWh d'électricité annuellement, soit 167 000 tonnes de CO_2. Le projet doit permettre d'améliorer les performances des produits de substitution à LED dans tous les domaines (efficacité énergétique, qualité d'éclairage, compatibilité avec les équipements existants, durée de vie, prix...) et de s'assurer de la satisfaction des utilisateurs avant la mise sur le marché. Le Pacte LED est porté par un consortium de scientifiques et d'experts à même de relever les nombreux défis technologiques, regroupant Philips France, l'ENTPE-CNRS, le CEA, le LNE et le CSTB, coordonnés par le bureau d'étude Ingelux.

Photo 3 : Eclairage à LEDs bleues, en substitution d'un halogène dichroïque

Le PACTE LED est le résultat des constats suivants : Les utilisateurs sont mal informés et souvent victimes de la communication. Le remplacement des sources existantes par les LEDs est parfois catastrophique. Par exemple, les expériences vécues de remplacement de lampes TBT halogènes par des LEDs se sont révélées peu convaincantes : LED bleue voire à changement de couleur (*photo 3*), flux 10 fois infé-

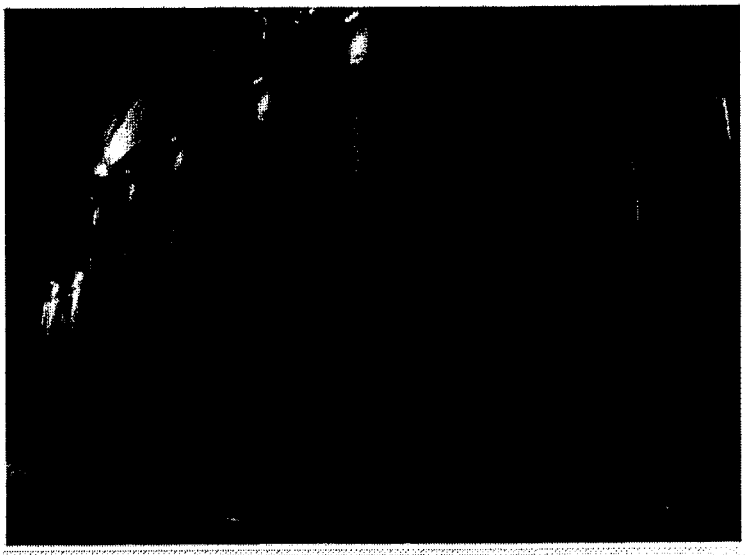


Photo 4 : catalogue Philips, luminaire Ledline

rieur (Lampe LED 70 lm contre plus de 400 lm pour une 35 W halogène), lampe non gradable sur une installation réglable, etc.

On ne veut pas rejouer l'histoire de la fluocompacte, dont beaucoup d'utilisateurs pensent encore qu'elle est blafarde, qu'elle est éblouissante et qu'elle met du temps à s'allumer alors que ces questions sont aujourd'hui résolues.

Les objectifs du pacte LED est de développer une LED de remplacement de dichroïque 20 et 35W de qualité, avec consommation divisée par 4, de la tester de façon poussée en laboratoire et sur sites avec utilisateurs et de délivrer 10 000 lampes répondant aux critères de substitution.

L'ADEME ne soutiendra officiellement les lampes de substitution qu'à ces conditions de qualité, pour que les utilisateurs n'aient pas de mauvaises expériences et pour ne pas ralentir l'utilisation de ces sources dans le futur.

Le point de vue de l'éclairagiste

La LED présente de multiples avantages sur d'autres sources : dimension réduite, intensité, puissance du luminaire adaptable au projet, gestion (gradation/ couleurs...).

Ces avantages rendent l'utilisation de la LED « évidente » dans certains cas (*Photo 4*).

Dans le cas d'une bibliothèque (*photos 5*), on a besoin de peu de lumière, proche des livres, avec un éclairage linéaire. Les rubans de LEDs est la seule solution, les tubes fluorescents étant trop puissants.

Dans le métro (*photo 6*), la RATP souhaite réaliser l'éclairage architectural de surfaces, ce qui implique l'utilisation de luminaires extra plats. La solution est d'utiliser des éclairages par tranches de LEDs, d'épaisseur d'environ 2,5 cm. La partie source sera remplaçable indépendamment du reste du luminaire. La puissance sera ajustée en conception suivant les besoins. Lors de la maintenance et le recyclage des sources lumineuses, si le rendement des LEDs a été amélioré, on pourra remplacer les anciennes LEDs par des nouvelles moins puissantes.

Dans la salle du conseil de l'Hôtel de région de Rhône Alpes (*photo 7*), il avait été exprimé le souhait de mettre en scène des points lumineux avec possibilité d'ajustement de l'éclairage selon l'activité. Des éclairages par spots LEDs gradables permettent de créer le point lumineux sans utiliser de lampe halogène. Le downlight par lampe halogène aurait été trop volumineux.

L'exposition universelle de Shanghai est l'occasion de mettre en valeur les meilleures utilisations des LEDs en zone urbaine : éclairage urbain gradable pour piétons, besoin de gradation rapide pour lancer un show lumière, éclairage de veille, éclairage d'un bandeau lumineux au sol pour malvoyants, personnes âgées, sans fuite de lumière sur les zones de projections d'images

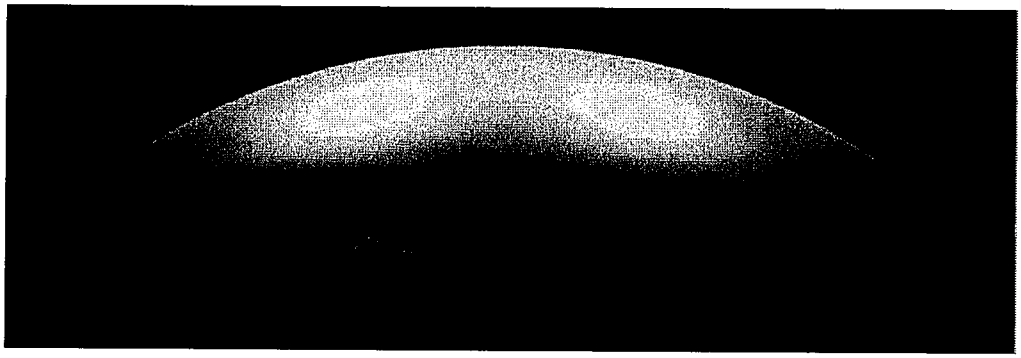
Aujourd'hui on se penche sur l'utilisation des LEDs dans l'habitat, notamment dans les cuisines et les salles de bain. On tente de déterminer l'adéquation entre économie d'énergie et confort. D'autres pistes prospectives visent à alimenter les LEDs à partir de cellules photovoltaïques.

Le futur de l'éclairage : Les LEDs, les OLEDs

Les LEDs doivent surtout être utilisées différemment des autres sources, car dans de nombreux cas elles ne sont pas forcément compétitives à ce jour. L'automobile l'a vite compris, avec les feux de position et le signal de freinage : on fait des lignes, on utilise des points.

Pour faire des surfaces, les OLEDs vont compléter les LEDs, ce qui ouvrira de nouvelles perspectives. On peut envisager des voitures sans phares avec des surfaces éclairantes ou de signalisation par exemple..

Les caractéristiques des LEDs ouvrent un champ d'applications nouvelles : luminosité des clignotants proportionnelle à la lumière ambiante par exemple, éclairage dynamique pour attirer l'attention ou expliciter une intention, possibilités d'éclairages chromatiques.



Photos 5 : Simulation numérique d'une bibliothèque

Photo 6 : Eclairage station RER à l'étude, Berger & Anziutti architectes

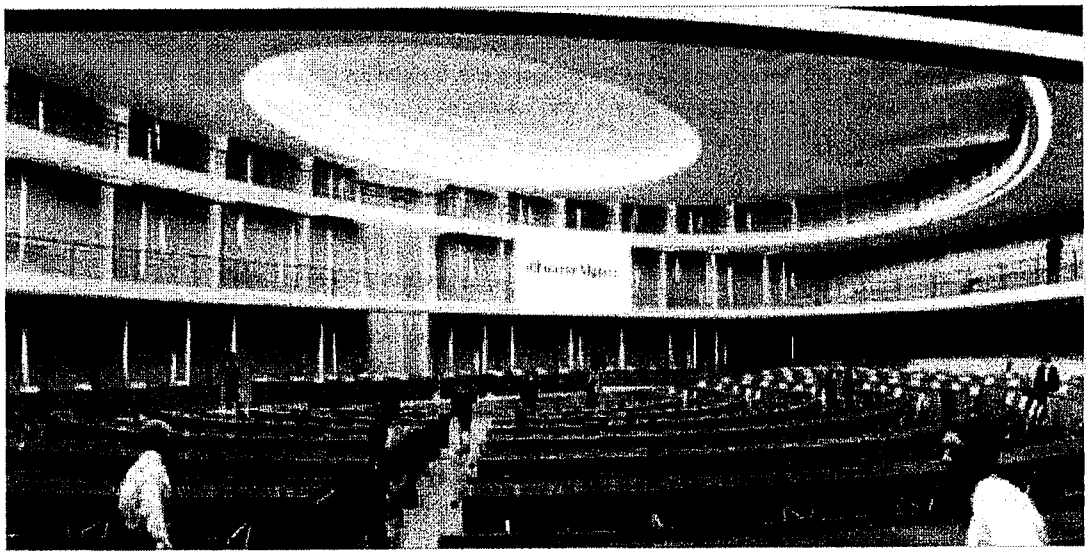


Photo 7 : salle de délibération de l'Hôtel de région Rhône Alpes (en chantier), C.de Portzampare

Conclusion

La LED est encore en concurrence avec les sources traditionnelles, mais il va y avoir un passage vers cette source lorsque l'efficacité lumineuse et la qualité de lumière sera concluante. Les LEDs et OLEDs ouvrent de nouvelles voies pour l'éclairage : nouvelles façons d'éclairer, nouvelle façon de penser l'éclairage qui démarre. Les éclairagistes ont un rôle important à jouer dans ces nouvelles utilisations, avec des interventions dans de multiples domaines, même surprenants (tunnels de passage de faunes sous les autoroutes..). La qualité de lumière est le point à surveiller pour ne pas grêver la pénétration de ces nouvelles technologies dans le futur.

Document 6 :
« Les LEDs pourraient être dangereuses pour la vue » –
Benjamin Monteil – Site Internet LED-fr.net – 2010

Les LED pourraient être dangereuses pour la vue

Lundi, 25 Octobre 2010 19:40 Le marché des LEDs - Articles sur les LEDs et les produits à LEDs

L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (Anses) a publié aujourd'hui un rapport sur les effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED).

Il ressort de ce document plusieurs risques potentiels:

1. **Ebloulssement important** de l'ordre de 1000 fois à celui rencontré avec les sources lumineuses traditionnelles (lampes incandescentes, à économie d'énergie, ...). Les luminances de systèmes d'éclairage à LED peuvent être de 10^7 cd/m^2.
2. **Déséquilibre spectral:** tandis que la composante bleue du spectre (~430nm) est très importante, les radiations présentes entre le bleu et le jaune (~460nm) sont très peu présentes.
   - La composante bleue, la plus énergétique, constitue un effet aggravant pour la dégénérescence maculaire liée à l'age (DMLA).
   - La quasi absence de radiations de ~460nm peut perturber l'horloge biologique. En effet, ce sont les radiations proches de 460nm, présentes dans la lumière du soleil, qui contrôlent notre horloge biologique.
   - La contraction des pupilles est réduite car la contraction pupillaire est commandée, comme notre horloge biologique, par les radiations de 460nm. Le risque est que, sous un fort éclairage bleuté, la pupille soit dilatée comme elle l'est lorsque le niveau d'éclairement est faible. Cette dilatation empêche alors la pupille de jouer son rôle de filtre ainsi la quantité de lumière qui pénètre dans l'oeil est importante.
3. **Effet stroboscopique:** les systèmes d'éclairage à LED contiennent des alimentations électroniques. En cas de mauvaise conception, on perçoit un clignotement du flux lumineux, ce qui est inconfortable.

Afin de qualifier les risques, l'Anses s'appuie sur la norme européenne de sécurité photobiologique. Cette norme s'applique aux lampes et aux appareils utilisant des lampes. Elle propose des limites d'exposition au rayonnement de ces sources de lumière. Elle s'intéresse à l'ensemble des dangers photobiologiques pour l'oeil (dangers thermiques et photochimiques) et définit 4 groupes de risques : le groupe de risque 0 (exempt de risque), le groupe de risque 1 (risque faible), le groupe de risque 2 (risque modéré) et le groupe de risque 3 (risque élevé).

Certaines LED très utilisées en éclairage, en signalisation ou en balisage appartiennent au groupe 2. D'autres sources lumineuses très utilisées en éclairage appartiennent également au groupe 2, notamment les lampes à décharge utilisées en éclairage public. Cependant, ces lampes à décharge sont mises en oeuvre par des professionnels, qui maîtrisent la technologie.

Recommandations de l'Anses

Face aux risques mis en lumière dans le rapport, l'Anses fait plusieurs recommandations :

- Eviter le plus que possible l'exposition à des lumières très bleutées les enfants ainsi que les populations sensibles.
- Réserver aux professionnels les produits à base de LEDs appartenant aux groupes 2 et 3 (comme c'est indirectement le cas actuellement puisque seuls les professionnels utilisent les lampes à décharge)

Ne pas céder à la panique!

le rapport de l'Anses ne conclue pas à un danger systématique des systèmes d'éclairage à LED: il met en lumière le danger potentiel de l'utilisation non maîtrisée de LED bleutées dont la luminance induit un éblouissement. En cas d'utilisation prolongée de mauvais systèmes à LED, les populations à risques peuvent présenter une accélération des problèmes oculaires.

Auteur: Benjamin Monteil

Document 7 :
« Les LEDs : L'éclairage du futur - Technologie, enjeux et applications »
ASPROM- Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche -
Séminaire/programme/présentation – 2010

Depuis que Henry Joseph Round (Marconi Co, UK) découvrit en 1907 [illegible] semi-conducteur et qu'Oleg Vladimirovich Lossev [illegible] LED en 1928, les LEDs sont sorties des laboratoires [illegible]

D'abord confinées aux rôles de voyants lumineux, elles [illegible] mesures que croissaient leurs performances et diminuaient leurs coûts.

D'abord rouges, puis ambre, elles ont [illegible] l'ultraviolet et surtout les LEDs blanches sont [illegible]

Mois après mois, leurs performances en flux comme en efficacité énergétique ne cessent de s'améliorer [illegible] LEDs de pénétrer de nouvelles niches marketing avec des taux de croissance [illegible] simple domaine de la signalisation pour aborder celui de l'éclairage.

Cette technologie présente des atouts considérables en termes d'[illegible] de dimensions et de couleurs avec, encore devant elle, un fort potentiel de développement [illegible] l'on ne trouve ainsi réunies dans aucune autre source de lumière [illegible]

La prochaine étape importante sera celle où les performances [illegible] de pénétrer le marché de l'éclairage général, ouvertures [illegible] devrait s'amplifier dans les années à venir. Dans les années 2020, les LEDs [illegible] plus efficaces et fiables du marché.

Ces LEDs ouvrent ainsi un champ d'innovations potentielles [illegible] électronique, leur maîtrise requiert plusieurs savoir-faire allant de l'optique [illegible] thermique. Les deux journées organisées par l'ASPROM [illegible] derniers et de partager des expériences [illegible]

Au sommaire du jeudi 28 janvier 2010

9h – 9h30 : Ouverture par Bruno LAFITTE, ADEME

- Présentation de l'avis ADEME sur les LEDs
- Présentation des actions de l'ADEME sur l'éclairage à LEDs

9h30 – 10h15 : Les LEDs de haute brillance : une introduction

Par Patrick MOTTIER, Responsable Programme Eclairage au CEA-LETI, GRENOBLE

Le déploiement des diodes électroluminescentes dans l'éclairage est un phénomène récent : en quelques années elles sont devenues une alternative crédible aux lampes à incandescence ou fluorescentes. Cette technologie présente en effet des atouts considérables en termes d'efficacité énergétique, de fiabilité, de « gradabilité », de dimensions et de couleurs avec, devant elle encore un fort potentiel d'innovations. Ces caractéristiques que l'on ne trouve ainsi réunies dans aucune autre source de lumière sont à l'origine de leurs succès.

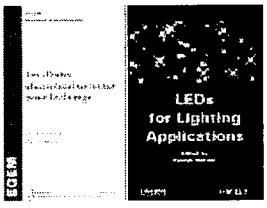
Dans cet exposé qui servira d'introduction au séminaire, on abordera succinctement les différents points qui permettent de situer cette technologie : son histoire, les principes physiques sur lesquels elle repose, ce qui la différencie des sources de lumière traditionnelles et enfin quelles sont les spécificités de sa mise en œuvre au sein d'un luminaire.

10h15 – 11h : L'électronique dans les systèmes à diodes

Par Jacques LE BERRE, NXP CAEN

Avec l'abandon programmé des lampes à incandescence, l'électronique joue un rôle croissant dans les systèmes d'éclairage. Déjà essentiel pour l'éclairage fluorescent (tube TL or lampes compactes fluorescentes), les systèmes à diodes ont besoin d'électronique pour s'interfacer avec leur source d'énergie électrique. Au-delà, de cet élément basique, nous regarderons, en fonction des domaines d'application, les fonctions assurées par l'électronique pour alimenter, contrôler, mais aussi compenser les faiblesses des LEDs. Avec l'électronique s'ouvre alors une panoplie d'opportunités pour rendre l'utilisation de la lumière plus simple et intuitive tout en réalisant des économies d'énergie (note : l'éclairage utilise environ 20 à 25 % de la production d'électricité dans le monde).

11h – 11h30 : Pause Café



Lors de chaque pause, un participant au séminaire sera tiré au sort et recevra le livre « *Les diodes électroluminescentes pour l'éclairage* »

11h30 – 12h15 : Utilisation des LEDs dans les éclairages Chirurgicaux de salle d'opération : Les contraintes, les performances

Par Jean-Pierre BREYSSE, Directeur de La Recherche chez MAQUET SA

L'éclairage opératoire délivre un éclairement élevé et concentré sur une zone réduite (le champ opératoire) dont le diamètre peut varier de 15 à 30 cm en fonction du type de chirurgie et du temps opératoire. Ce luminaire très spécifique obéit à des normes strictes de sécurité du fait de son utilisation en milieu chirurgical comme celle régissant par exemple la distribution de l'éclairement, le bon rendu des couleurs de la plaie opératoire ou la réduction de l'échauffement.

Outre ces exigences normatives, ce dispositif doit assurer un confort visuel optimal aux praticiens, en diluant les ombres portées par la tête et les épaules des opérateurs et en garantissant une grande maniabilité malgré la taille du projecteur qu'il constitue.

La nouvelle génération d'éclairage opératoire à base de LED, plus économique, garantit une intensité lumineuse très satisfaisante (110000lux) et génère beaucoup moins de chaleur.

Si l'introduction des LEDs semble révolutionner très rapidement ce domaine, cet attrait technologique ne doit donc pas faire oublier les contraintes et les règles de base de conception de ces produits si critiques pour le bon accomplissement de l'acte chirurgical.

12h15 – 13h : Les LEDs organiques, sources de lumière du futur ?

Par Georges ZISSIS, Professeur des Universités, LAPLACE-UNIVERSITE TOULOUSE 3

Imaginez une feuille plastique, légère, fine, pliable qui pourrait émettre de la lumière colorée ou bien blanche… Il ne s'agit pas de la science fiction mais de la technologie existante des diodes électroluminescentes organiques (OLEDs). Aujourd'hui des OLEDs blanches de laboratoire atteignent 102 lm/W avec une luminance de 1000 cd/m2 et un IRC de l'ordre de 90. La durée de vie peut atteindre en théorie plusieurs dizaines de milliers d'heures et les OLEDs ne sont pas aussi sensibles à la température que leurs cousines les LEDs.

Quel est le principe de fonctionnement ? Quelles sont les possibilités mais aussi les limitations de cette technologie ? Comment les OLEDs sont-elles fabriquées et quelles sont les applications visées ? Quels sont les obstacles technologiques à franchir ? Quand ces merveilles seront disponibles ? Voici quelques questions qui méritent réponse, l'exposé en donnera quelques-unes.

13h – 14h : Déjeuner

14h – 14h45 : Technologie LIGHTEX(R) : Solutions Tissus fibres optiques pour une diffusion optimisée et inédite de la lumière LEDs

Par Emmanuel DEFLIN, Directeur Développement chez BROCHIER TECHNOLOGIES SA

Brochier Technologies développe des solutions de tissage de fibres optiques pour des applications lumière dans les domaines de l'éclairage, de l'information, de la sécurité, de la dépollution et du médical.

La technologie Lightex® est un principe de tissage de fibres optiques à éclairage latéral connectées à des diodes LED, permettant de réaliser des surfaces lumineuses souples ou rigides à très faibles encombrements, avec une répartition inégalée de la lumière sur des surfaces complexes. Les solutions lumière Lightex® sont protégées par plusieurs brevets internationaux.

14h45 – 15h15 : Pause café

15h15 – 16h : Caractériser les LEDs : des solutions performantes et simples à mettre en œuvre!

Par Thierry PUPPATO, Directeur Marketing de la société MAJANTYS

Autrefois l'éclairage se résumait à une simple source lumineuse. Aujourd'hui, l'éclairage est avant tout synonyme d'environnement où chaque élément a son importance (confort, économie, performances…). Les nouvelles technologies d'éclairage à base de composants LEDs font une entrée remarquée dans de nombreuses applications. Souvent synonyme d'économies d'énergies, les LEDs n'en sont pas moins des composants très « critiques » dans leurs mises en œuvre. La durée de vie et la consommation sont directement liées à la qualité de conception des systèmes. Le challenge réside dans la maîtrise parfaite des paramètres de la LED ainsi que dans leurs interactions. Nous pouvons d'ores et déjà axer les discussions sur les LED blanches qui font l'objet de nombreuses « convoitises » mais qui s'avèrent très « capricieuses ». La température d'utilisation, le dispositif d'alimentation et les caractéristiques photoniques sont les trois piliers de la caractérisation d'une LED. Des solutions existent pour relier ces trois groupes de paramètres avec une même mesure de caractérisation.

MAJANTYS s'appuie sur une forte expérience dans le domaine de la conception de spectrophotomètres, pour mettre à la disposition des utilisateurs de LEDs des solutions adaptées. La connaissance acquise dans les sources lumineuses à LED a permis de concevoir ce type d'appareil de mesures compact, performant et à un coût imbattable

16h – 16h45 : Thermique des systèmes à LEDs.

Par Stéphane BERNABE, Chef de projet Optoélectronique, CEA-LETI GRENOBLE

Outre les aspects optiques (mise en forme de faisceau, par exemple), la conception de luminaire à base de LEDs haute brillance (HB-LED) nécessite la prise en compte à la base des aspects thermiques. En effet, bien que les LEDs présentent des efficacités de conversion lumineuse plus élevées que les éclairages à incandescence, la part de puissance non émise sous forme de lumière utile n'est pas rayonnée sous forme de rayons infrarouges mais directement sous forme de chaleur au niveau de la puce et de son substrat. Une mauvaise prise en compte de ce phénomène entraîne potentiellement une surchauffe du dispositif au niveau de la puce, et une diminution des performances ainsi que de la fiabilité. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des moyens dédiés lors de la conception d'un système à LEDs (mesure de température de jonction, thermographie IR, simulation thermique, design de radiateurs) et de considérer des technologies de packaging avancées (Chip-On-Board, substrats spécifiques, interfaces thermiques optimisées), en restant conforme aux niveaux de coûts visés.

Au sommaire du vendredi 29 janvier

9h15 – 10h : Perception de la lumière issue de LEDs

Par Françoise VIENOT, MNHN

Avec l'arrivée des LEDs dans le marché de l'éclairage, la qualité de la lumière est une issue cruciale pour leur valorisation.

La nature du spectre de la lumière émise par les LEDs est suffisamment différente de la lumière naturelle et des différentes générations de sources artificielles connues jusqu'à présent pour que plusieurs laboratoires français et étrangers se soient engagés dans des études sur la qualité et la perception de la lumière issue de LEDs.

Plusieurs aspects méritent en effet d'être pris en considération : la couleur de la lumière blanche, le rendu des couleurs des matériaux sous cette lumière, la performance dans l'exécution des tâches visuelles, la sécurité, le confort et l'appréciation de l'usager.

Nous exposerons les objectifs à atteindre et les méthodes d'évaluation des qualités de l'éclairage. Nous présenterons des travaux menés en laboratoire, cherchant à dégager ce qui dans le spectre de la lumière des LEDs, influe sur la perception et la qualité de l'éclairage.

10h – 10h45 : Point de vue de l'éclairagiste : La LED est-elle l'éclairage du futur, ou déjà du présent ?

Par Christophe MARTY, consultant associé de la société INGELUX

Rares sont les projets d'éclairage où le maître d'ouvrage ne pose pas la question « y aura-t-il des LEDs dans mon projet ? » ou « et pourquoi pas des LEDs à la place ? ». La LED a désormais dépassé le monde du signal lumineux pour entrer de plain-pied dans celui de l'éclairage. La médiatisation de l'objet

technologique qui doit révolutionner l'éclairage est telle que la plupart des acteurs des projets de construction en ont entendu parler et poussent à son utilisation.

Qu'en est-il vraiment ? Quelles sont les « bonnes » raisons pour remplacer un éclairage fluorescent par un éclairage à LEDs ? Si de nouvelles applications sont désormais permises par les LEDs, d'autres restent hors de portée des luminaires à LEDs présents sur le marché, et ce pour de multiples raisons qui ramènent en général le maître d'ouvrage à un avis plus éclairé sur la source, en attendant les prochains progrès annoncés par les constructeurs.

Des exemples et contre-exemples de réalisations Leds seront utilisés pour étayer cette présentation en lien directe avec le « terrain ».

Christophe Marty est consultant associé de la société Ingelux. Ingelux est spécialisée en conseil en lumière naturelle et artificielle auprès des architectes, bureaux d'études, maîtres d'ouvrages. Ingelux est notamment eclairagiste du projet « La Canopée » en cours sur les Halles de Paris.

10h45 – 11h15 : Pause café

11h15 – 12h : Contrôle-commande des systèmes à LEDs

Par Arnaud RIGAL, Responsable Marketing Produits Lighting Management chez LEGRAND

L'éclairage constitue le deuxième poste de consommation énergétique dans les bâtiments tertiaires et améliorer sa performance est une priorité. La technologie LED de part sa durée de vie exceptionnellement longue, sa faible consommation, sa flexibilité en variation d'intensité et de couleur va offrir de nombreuses et nouvelles possibilités.

L'enjeu est de donner le contrôle de ces nouvelles sources lumineuses à l'utilisateur afin qu'il puisse commander efficacement son éclairage par des gestes simples.

Quelles seront les nouveaux usages auxquels les LEDs devront répondre? A quels nouveaux besoins devrons-t'elles apporter des réponses ? Comment la commande d'éclairage va-t-elle évoluer dans l'avenir ? Comment commanderons-nous ces nouvelles applications ?

Nous vous présenterons certaines pistes de réflexions et exposerons les solutions actuelles.

12h – 12h45 : Eclairage à LEDs et développement durable – Réalités et perspectives ou l'éclairage à l'heure de l'électronique

Par Bernard DUVAL, Délégué Général de l'Association Française de l'Eclairage

L'éclairage est en passe de vivre une mutation vers la lumière électronique. Avec la montée en régime de l'éclairage à semi conducteur (SSL Solid State lighting), les LEDs ont des performances qui rivalisent désormais avec les gammes de lampes en termes d'efficacité lumineuse, de durée de vie et de qualité de lumière pour les applications professionnelles et maintenant dans l'habitat.

Cette révolution technologique est fondée sur les solutions électroniques d'alimentation des LEDs (convertisseurs, unités de commande et de contrôle) qui permettent une dynamique de la lumière en intensité, couleur et température de couleur pour de nouvelles solutions d'éclairage et de scénographie des ambiances lumineuses.

L'éclairage électronique à LEDs doit répondre aux besoins grandissants de santé, d'ergonomie, de qualification des ambiances et du cadre de vie par un éclairage de qualité ; les nouveaux besoins de santé (vieillissement de la population, malvoyance et handicaps visuels qui touchent plus de 4 millions de personnes), la demande sociétale (besoin de sécurité, de bien-être et de confort) offrent une chance unique à de nouveaux métiers qui intègrent les technologies électroniques, de développer des systèmes d'éclairage capables de répondre à ces problématiques.

L'Association française de l'éclairage, forte de ses 1 000 adhérents et de ses 14 centres régionaux, milite en faveur des bonnes pratiques de l'éclairage et du développement de la normalisation dans le respect des exigences énergétiques que nous impose le réchauffement climatique. Centre de communication de toute la filière éclairage, elle donne, par son expertise reconnue, du sens aux nouveaux langages de l'éclairage électronique pour qu'il prenne sa place à côté des technologies conventionnelles à la croisée des enjeux du développement durable.

12h45 – 14h : Déjeuner

14h – 14h45 : L'approche Marketing de l'Eclairage

Par Yoann SINEL, Chef de marché Eclairage Extérieur, PHILIPS LIGHTING

Alors que les attentes du marché en termes d'éclairage étaient connues et évoluaient doucement sur des périodes longues, l'arrivée des LEDs suscite des demandes nouvelles, bousculant les habitudes des fabricants de luminaires et de sources.

L'image très forte d'économies d'énergie associée aux LEDs, ainsi que les possibilités techniques apportées par les LEDs, confronte les industriels à des demandes auxquelles ils ne peuvent pas toujours immédiatement répondre, raccourcissant les temps de développement des produits.

Le marché se trouve en pleine mutation, passant d'un marché de renouvellement des sources à des luminaires aux durées de vie très longues, et paradoxalement passant d'un marché aux durées de vie très longues pour les luminaires à un marché exigeant des renouvellement de gammes plus fréquents.

Les LEDs sont également une révolution en ce sens qu'elles mettent désormais en concurrence les acteurs du marché de l'électronique et les acteurs du marché de l'éclairage, qui jusqu'à présent n'avaient que quelques points communs.

Quels sont donc les enjeux auxquels seront confrontées demain les entreprises agissant dans le domaine de l'éclairage ?

14h45 – 15h15 : Pause café

15h15 – 16h : L'optique des systèmes à LEDs

par Laurent MAYOLLET, O++

16h – 16h45 : Technologies émergentes

par Alexandre LAGRANGE, CEA- LETI GRENOBLE

Les LEDs à haute brillance commencent à arriver sur le marché et offrent des alternatives intéressantes pour les applications d'éclairage. D'un point de vue énergétique les performances atteignent aujourd'hui des rendements de l'ordre de 80-100 lm/W, comparables à celles des lampes fluo compactes dites basse consommation, et pourraient atteindre des valeurs de 150 à 200 lm/W à l'horizon 2020. Des développements technologiques importants seront nécessaires pour concrétiser ces performances, mais ces développements devront également prendre en considération le coût des composants pour l'éclairage.

Actuellement l'unique filière de production pour les LEDs ultra brillante est la filière du nitrure de Gallium, GaN, comme matériau actif. Ce matériau est épitaxié sur des substrats de saphir (Al_2O_3) ou de carbure de Silicium (SiC). Ces substrats sont à la fois très onéreux et ne permettent pas des fabrications collectives en grande quantité.

La technologie de croissance de GaN sous la forme de nanofil offre une alternative prometteuse pour développer des filières bas coût de LEDs ultra brillantes en permettant leur réalisation des substrats moins onéreux ou plus grand. Les nanofils présentent en outre l'avantage de structurer la surface émettrice et d'augmenter le rendement d'extraction lumineuse des LEDs en guidant la lumière hors du matériau émetteur.

Une autre technologie alternative à l'absence de substrat est l'utilisation de l'oxyde de Zinc, ZnO comme matériau semi conducteur. L'oxyde de zinc peut être obtenu sous forme massive pour en faire des substrats, sous forme de couche mince monocristalline, et sous forme de nanofil. Des efforts importants sont réalisés dans le monde pour obtenir des composants opto électroniques à base de ZnO. Le point le plus bloquant pour les LED étant le dopage p du ZnO.

Après la description de la filière technologique actuelle de fabrication des LEDS, nous présenterons ces perspectives d'amélioration, ainsi que les deux voies alternatives que sont les LEDs à nanofil et de l'oxyde de Zinc ZnO.

Document 8 :
Extrait du « Dictionnaire des couleurs de notre temps »
Pages 123 à 127 – HISTOIRE – Michel Pastoureau – 1999

Histoire

1. Tenter de retracer l'histoire des couleurs est un exercice difficile, presque impossible. Le travail de l'historien est double. Il lui faut d'abord essayer de cerner et de restituer ce qu'a été l'univers de la couleur pour telle ou telle société du passé, en prenant en compte toutes les composantes de cet univers. Puis, dans la diachronie, en se limitant à une aire culturelle donnée, il lui faut étudier les mutations, les disparitions, les innovations qui affectent tous les domaines de la couleur historiquement observables : le lexique, la chimie des pigments, la teinture des étoffes, les codes sociaux (vêtements, marques, signaux, emblèmes), les moralisations des hommes d'Église, les spéculations des hommes de science, les préoccupations des hommes de l'art.

Dans cette perspective historique, jongler avec l'espace, c'est-à-dire avec des aires culturelles et des civilisations qui pendant des siècles n'ont pas eu de contact entre elles, est un exercice qui n'a pas grand sens. La couleur y recouvre des réalités par trop différentes. Même si le comparatisme permet de dégager quelques ressemblances, quelques « archétypes » supposés, l'océan des différences est tel que ces quelques gouttes de ressemblances s'y trouvent noyées. Prétendre écrire une histoire universelle des couleurs qui, des origines au XXe siècle, engloberait aussi bien la ou les couleurs occidentales que les couleurs amérindiennes, africaines, asiatiques ou océaniennes, me semble donc matériellement irréalisable et, surtout, scientifiquement vain. En revanche, il paraît légitime de se concentrer sur une civilisation donnée et d'y étudier la problématique des couleurs dans la longue durée. Cela est ardu et devrait probablement être un travail d'équipe et non pas celui d'un chercheur isolé ; l'historien est, intellectuellement et techniquement, outillé pour exploiter les documents d'une époque, voire à la rigueur de deux époques qui se suivent ; il lui est pratiquement impossible d'étudier avec la même rigueur et le même flair (un outil indispensable à la recherche historique) toutes les époques. Ce qu'il peut faire, cependant, c'est se concentrer sur quelques temps forts et passer plus rapidement sur des moments jugés plus « intermédiaires ».

2. Une autre difficulté, qui tient à la nature même du phénomène couleur, est de se placer de tous les points de vue, de tenter d'aborder tous les domaines. Une histoire globale de la couleur dans la civilisation occidentale est-elle possible ? Peut-être pas. Ou alors en séparant dans des chapitres relativement cloisonnés ce qui concerne le lexique, l'image, le vêtement, le goût, l'histoire des sciences, etc. Articulation commode, qui souligne l'extrême diversité de l'univers des couleurs, mais articulation quelque peu frustrante pour l'historien en ce qu'elle représente une globalité factice et conduit à des répétitions et à un éclatement de la chronologie. Mais est-il possible de procéder autrement ? La couleur est un phénomène tellement insaisissable.

3. Une autre difficulté vient de ce qu'il est impossible de projeter tels quels dans le passé nos propres conceptions, nos propres systèmes de la couleur. Prenons un exemple simple. Pour nous, depuis les expériences de Newton, la découverte du spectre et la classification spectrale des couleurs (des infrarouges aux ultraviolets), il est évident que le vert se situe quelque part entre le jaune et le bleu. De multiples habitudes sociales, des calculs scientifiques, des preuves naturelles (l'arc-en-ciel) et des pratiques quotidiennes de toutes sortes sont constamment là pour nous le rappeler ou pour nous le prouver. Or, pour l'homme du Moyen Age par exemple, cela n'a aucun sens. Dans aucun système médiéval de la couleur, le vert ne se situe entre le jaune et le bleu. Ces deux dernières couleurs ne prennent pas place sur les mêmes échelles et ne peuvent donc avoir un palier intermédiaire, un « milieu » qui serait le vert. Le vert se situe ailleurs, quelque part du côté du noir, ou bien hors de toute échelle linéaire de la couleur.

Le cas du gris est tout aussi instructif. Pour nous le gris est évidemment un mélange de noir et de blanc, une valeur intermédiaire entre ces deux pôles. Dans la sensibilité médiévale il n'en est rien. Le gris - dont le concept et la représentation émergent lentement et tardivement - n'est pas fait de noir et de blanc ; il évoque simplement l'idée de taches, de bigarrure, d'absence de franchise ou de netteté. Un cheval gris, aux XIIe et XIIIe siècles, n'est pas un cheval dont la robe est de couleur grise ; c'est un cheval tacheté, pommelé, moucheté ou tigré de différentes couleurs, toutes caractéristiques que le latin médiéval exprime par le mot *varius*. Pour l'homme du Moyen Age, à mi-hauteur dans une échelle linéaire des couleurs allant du blanc au noir - échelle qui n'existe qu'à partir du XIIIe siècle -, il y a non pas le gris mais le rouge, la « troisième couleur ». Une preuve amusante en est donnée par les naturalistes et par les voyageurs (en chambre), qui affirment qu'un homme blanc qui procrée avec une femme noire ne peut avoir que des enfants à damiers blancs et noirs ou des enfants rouges !

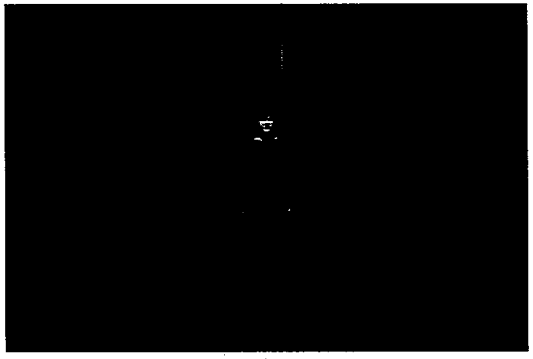
L'historien doit donc se méfier de tout anachronisme. Non seulement il ne doit pas projeter dans le passé ses propres connaissances de la physique ou de la chimie des couleurs, mais il ne doit pas prendre non plus comme vérité absolue, immuable, l'organisation spectrale des couleurs et toutes les théories qui en découlent. Pour lui comme pour l'ethnologue, le spectre ne doit être envisagé que comme un système symbolique parmi d'autres quant à la classification des couleurs. Un système aujourd'hui connu et reconnu de tous, prouvé par l'expérience, démonté et démontré scientifiquement, mais un système qui peut-être, dans quatre, cinq ou six siècles, fera sourire ou sera totalement obsolète. La notion de preuve scientifique est elle aussi étroitement culturelle ; elle a son histoire, ses raisons, ses enjeux idéologiques et sociaux. Aristote, qui ne classe pas du tout les couleurs dans l'ordre du spectre, démontre néanmoins « scientifiquement », par rapport aux connaissances de son temps, et preuves à l'appui, la justesse physique et optique, voire la vérité ontologique de sa classification.

Voir aussi *Couleur, Drapeau, Héraldique, Préférences, Protestantisme.*

Les nouveaux territoires de la lumière
Avignon : le premier spectacle éclairé uniquement avec des LEDs.

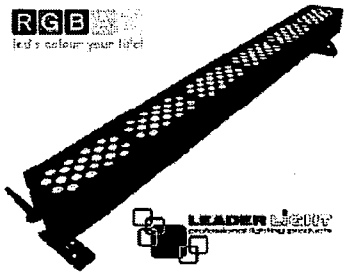
Le metteur en scène Claude Régy a toujours fait figure de précurseur. Grand esthète, à la recherche de formes différentes, d'explorations radicales du théâtre, il marque, depuis le début des années 50, le théâtre en France d'une empreinte particulière.

Le scénographe du spectacle, Sallahdyn Khatir, compagnon de route de Régy depuis de nombreuses années, propose, pour l'adaptation du texte « *Ode maritime* » de Fernando Pessoa, un dispositif rappelant une vague, une lame de fond métallique.

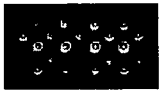


Le seul comédien, Jean-Quentin Châtelain, ne bougera jamais du ponton, de l'avant de la passerelle établie au centre de cette grande bouche ouverte, où l'acteur se fait l'organe de la parole. A la demande de Claude Régy, dès l'esquisse du projet, grâce à deux petits PAR/LEDs placés dans la maquette, Sallahdyn propose des pistes de travail ouvertes par cette technologie à peine née. Claude est très impressionné. Il veut que l'on poursuive l'expérience jusqu'au bout. Lui qui a toujours recherché la clarté de l'obscur, l'instant où les choses apparaissent – disparaissent, la frontière fragile entre le visible et le non visible, la force d'un monde caché, il a entre les mains une matière absolument neuve. Une matière brute, vierge, mais dont il pressent la subtilité extrême. Il décide de s'adjoindre les services d'un autre complice de longue date, Remi Godfroy, qui signera la lumière avec le scénographe et le metteur en scène. Rémi est un technicien mais aussi un bricoleur, un couturier comme il aime à le dire. L'objectif est simple, radical : faire l'expérience des LEDs. Mais totalement. Aucun mélange avec des projecteurs traditionnels.

Rémi investigue, cherche le matériel à même de répondre à ce challenge et prend contact avec AVAB France, pour explorer la gamme présentée par Leader Light. Le choix va se porter sur les rampes LL PRO WASH Vario à optiques interchangeables (10, 25, 40 et 15-90°), en 5 couleurs (RGB+BLANC+AMBRE) avec des LEDs de 3W. Un partenariat va se mettre en place entre la production du spectacle et Avab. Les demandes de la première vont se confronter aux limites des rampes (la gradation entre 0 et 1% par exemple) et Avab va demander à LeaderLight de faire évoluer son matériel afin de s'approcher de la réalité du théâtre et de ses exigences. Le dialogue se développe.



Rémi Godfroy a déballé en son temps les premiers HMI aux Amandiers pour les spectacles de Chéreau. Ce formateur, sur jeu d'orgues Avab, a essuyé bien souvent les plâtres des prototypes. Il n'hésite pas à dire : *le théâtre est toujours l'aboutissement des techniques nouvelles. Quand la technique est prête, maîtrisée, elle est utilisée au théâtre.* Et il poursuit : *les LEDs sont l'avenir. Le potentiel est énorme.*



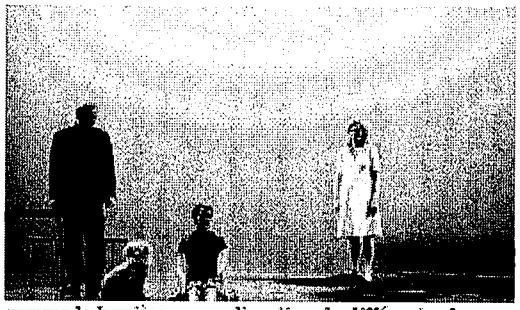
Pourquoi ? D'abord pour l'homogénéité de la lumière, nul ne perçoit le changement de sources, mais également pour la qualité de la lumière, la qualité de la couleur : il ne s'agit plus de la coloration d'un spectre entier, mais uniquement de la fréquence de la couleur, c'est du mono-chrome, c'est la couleur elle-même. Les gélatines sont exclues. Claude Régy parle de la netteté de l'image, d'un degré de précision qu'il n'a jamais obtenu avec des appareils traditionnels. La qualité de la lumière ne change pas en basse intensité. Et surtout qu'elle puisse modifier la nature de l'être. C'est essentiel pour ce metteur en scène.
Sallahdyn ajoute : *Comme on ne voit pas d'axe, pas de source, pas d'ombre, la lumière semble naître de l'acteur et du décor.*

Quand on voit le spectacle, le résultat est étonnant. Tout se passe dans la pénombre – une pénombre d'une autre nature, jamais vue – avec des changements de lumière permanents mais non repérables, avec l'apparition de mélanges de couleurs surprenants, ou le visage de l'acteur suggère celui d'un fantôme, celui d'une femme, celui d'un adolescent ou celui d'un vieillard. Des séquences se succèdent – le temps passe – mais tout se fait à notre insu. Comme Pessoa lui-même, l'acteur se démultiplie.

S'inventent – si l'on veut – des couleurs inconnues, des couleurs pures. Bien sûr, le décor tout en courbe joue un rôle important : il capte et renvoie des reflets. Pas de contre-jour sur l'acteur. Juste le jeu à l'arrière-plan, de cette immense courbe métallique. Sans aucun bruit de fonctionnement, les rampes sont composées de 6 sections, ce qui permet de localiser avec une grande exactitude ce qu'on cherche à éclairer : ici, c'est un visage, ou plutôt une bouche au milieu d'un immense et profond environnement sans limites nettes et dont la nature évolue constamment. C'est exact et infini. Parce que tout échappe à l'analyse.
Quand survient en douceur la fin du texte, la lumière éclate – c'est le contraire d'un noir final – dans une montée progressive, terrible. Non, les LEDs n'ont plus de soucis de puissance. Et pourtant, en usage maximum, l'effet frôle seulement les 4 kW. Alors que l'éclairage de salle, avec quelques halogènes frôle les 14 kW…
Rémi relate les heures de programmation pour adapter les courbes de réponse des rampes qui se graduent en flux lumineux. Ou mettre en place les effets en gardant le rapport couleur/puissance, ou en en jouant. Le chemin est encore long, mais la base est là, convaincante.

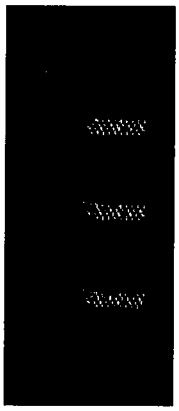
Les territoires sont neufs, l'œil s'y perd (comme les cellules des caméras ou des appareils photos), l'éclairage sort de la convention du théâtre et celle des couleurs. S'inventent d'autres perceptions, des nouveautés pour l'œil. Une autre approche peut être, de l'espace et du temps.

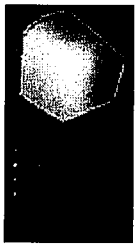
« *Enfin un nouvel outil pour éclairer !* » *(Marie-Christine Soma, éclairagiste)*



Avec l'arrivée des leds, une page importante de l'éclairage des spectacles est en cours. Nous vous en avions parlé, il y a quelques mois, avec le spectacle de Claude Régy, éclairé uniquement avec des leds. Abordons aujourd'hui une autre étape de cette petite révolution. Elle concerne l'utilisation de la couleur au spectacle et donc du blanc. Le spectacle « *Ciseaux, papier, caillou* » présenté au Théâtre de la Colline (et en tournée) nous servira de support. La mise en scène est co-signée par Marie-Christine Soma et Daniel Jeanneteau (dont le spectacle « *Feux* » avait brillé aux Molières 2009). Ils se sont répartis le travail : Daniel, scénographe de Régy pendant des années, a proposé la scénographie et Marie-Christine a conçu l'éclairage. Travail en commun, la scénographie opère comme la lumière, par adjonction de différents plans : un plan à l'avant-scène, devant le rideau translucide (où se dérouleront les scènes réalistes de l'univers de Keene) et un plan derrière le rideau, qui créera un espace plus onirique.

Dans l'espace arrière, sur une perche, les 8 projecteurs Selador ETC éclairent en contre-jour le rideau. Comme « *dans l'aquarelle, où on ajoute un jus de couleurs à un autre* », les deux artistes ont installé une « boîte à lumière » en fond de scène, armée d'horiziodes et de fluos qui travaillent en réflexion sur un deuxième écran. Tout se joue dans la mixité des sources, comme toujours au théâtre. Les leds, « *une transparence sur une autre transparence* », ajoutent une vibration à l'éclairage sur le rideau, une texture différente et une palette de couleurs inédite. Pourquoi ? Parce que le Selador ne travaille pas en RVB traditionnel, mais en 7 couleurs de référence, agrandissant par la même le spectre chromatique disponible. 7 couleurs de diodes (Luxeon® Rebel™ 2.5 et 3.5 watts) : rouge, vermillon, orange, vert, cyan, bleu et Indigo. Plus besoin d'une led blanche, à la température de couleur délicate, le Sélador offre une véritable gamme de blanc, aisément utilisable conjointement à d'autres températures de couleurs. Et là, le Sélador fait évoluer le propos. Proposés dans un boîtier métallique classique, ils sont disponibles en 4 longueurs, multiples de 11 pouces (soit 27.9cm).





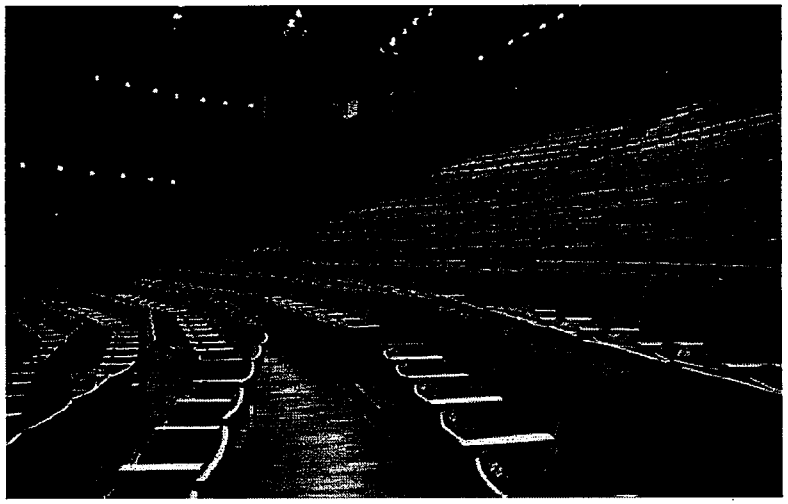
Avec une durée de vie beaucoup plus importante que n'importe quelle autre source, avec une connectique DMX simple (sans avoir besoin de gradateur), avec une palette de couleur supérieure à ce qu'un nuancier peut développer, avec une consommation électrique dérisoire, le Selador s'offre une puissance élevée. Dès qu'on entre en comparaison de couleur, les Leds s'affirment comme une véritable solution : un Selador Vivid Ice remplace allègrement pas moins de 1,5 pars (Source Four avec une HPL 575/230V) gélatinés en Lee181 Congo Blue. Bref, cet appareil fait merveille là où les projecteurs traditionnels sont à la peine, en apportant une facilité d'installation et de réglages surprenante. La question n'est pas tant de chercher à remplacer le traditionnel, qu'à lui adjoindre une solution efficace, à compléter le parc de matériel. En tournée, pour peu que les projecteurs soient équipés à la même distance, pas de conduite à retoucher, pas de longue séance de focus. Du côté des angles d'ouverture, le Selador ouvre nativement à 26°. Il reçoit, dans son porte-filtre incorporé, un jeu de filtres optiques, agissant comme du strié : de 20 à 80°, par pas de 20°, dans l'axe horizontal et/ou l'axe vertical. Ainsi, pour « *Ciseaux.... »*, ils sont équipés d'un filtre 60° horizontal et d'un filtre 60° vertical, offrant ainsi une couverture complète du rideau.

Pour considérer le Selador comme un vrai projecteur de théâtre, il faut offrir une courbe de réponse quasi parfaite, susceptible de se fondre dans celles des autres sources. A entendre Marie-Christine, le pas est fait. Pour avoir assisté au spectacle, rien à redire sur ce plan.

Mais où est le secret alors? Selador est développé par deux éclairagistes, sous l'aile d'ETC. Piloter en DMX (et en pourcentage) chaque projecteur avec 8 paramètres DMX (7 couleurs + intensité) peut rapidement devenir un enfer ou se révéler fastidieux. Aussi, c'est du côté du pilotage qu'un pas doit être également posé. Tout le monde connaît les deux strates de compétence d'un jeu d'orgue : le pilotage du traditionnel et/ou celui des automatisés ; mais peu connaissent la troisième : la gestion de la couleur.

Le Congo d'Avab, également présent sur ce spectacle, a intégré ce contrôle. Le pupitreur pourra enregistrer des palettes de couleurs, comme des palettes de position pour des automatiques par exemple. Pour ce faire, il recherchera la couleur avec des roues chromatiques, ou par référence : il suffit de choisir la référence Lee 201, pour que le Selador s'en pare. Il ne reste plus qu'à raffiner son choix par petits écarts de la référence, pour éclairer le mieux possible telle matière ou tel grain de peau. L'un ne va pas sans l'autre : la technologie évolue, accompagnée par le développement des jeux ; et réciproquement.

En quelques mois, les avancées de la technologie des Leds sont impressionnantes, gagnant en performances, qualité chromatique, précision de gradation et fiabilité. Mais le souci d'intégrer cette technologie dans des appareils réellement développés pour le théâtre, respectant le mode de travail propre au théâtre, est évident. Le Selador en est une première belle preuve, dont la gamme s'enrichit déjà de modèles plus spécialisés. « *Ciseaux,...* » s'est approprié le projecteur, mélangeant les sources avec pertinence, pour offrir une qualité d'éclairage sensible et au réel service du spectacle.



Les 770 lampes tungstènes de la salle de théâtre Le Grand T à Nantes ont été remplacées par 130 projecteurs DTS Titan à LEDs. Cette première en France a permis de diviser la consommation électrique par 10.

Interview croisée de Mr François Guillet - concepteur lumière de la salle du Grand T - et de Mr Sylvain Ledauphin - directeur technique du Grand T à Nantes.

François Guillet
concepteur lumière
Lumières utiles

Sylvain Ledauphin
directeur technique
du grand T

François Guillet, qu'est-ce qui vous a amené à devenir concepteur lumière ?
François Guillet : C'est une évolution continue, à 20 ans j'ai commencé par travailler sur des soirées étudiantes de plusieurs milliers de personnes, j'ai pris goût à l'éclairage et c'est devenu une passion. De fil en aiguille, les innovations techniques m'ont de plus en plus intéressées. Dans le cadre de mon métier, je fais désormais autant de conseil technique que de réalisation lumière.
Souvent les avancées techniques apportent de nouvelles conceptions. Je travaille plus sur des réponses à des demandes techniques précises que sur de la conception lumière sans base préétablie, d'où le nom de ma société : Lumières utiles.

Quelles ont été vos attentes par rapport à ESL ? Qu'est-ce qui a motivé le fait de collaborer avec ESL ?
François Guillet : C'était une demande sur un produit qui n'existait pas encore vraiment sur le marché, même si l'idée était dans l'air depuis un moment. Il s'agissait de pouvoir donner une réponse précise aux attentes de personnes très exigeantes concernant l'éclairage de théâtre : à savoir, sur les températures de couleur, les graduations et l'utilisation scénique d'un matériel qui n'est pas encore vraiment rentré dans le monde du théâtre. La réponse à l'appel d'offre d'ESL apportait une valeur ajoutée locale avec des personnes réactives et un produit de base intéressant.

Sylvain Ledauphin : Au moment de la réponse à l'appel d'offre le dossier envoyé par ESL était directement un dossier d'exécution. La réponse à été supérieure à la demande. Donc il y avait une vraie valeur ajoutée d'un point de vue technique, ce qui a été très apprécié.

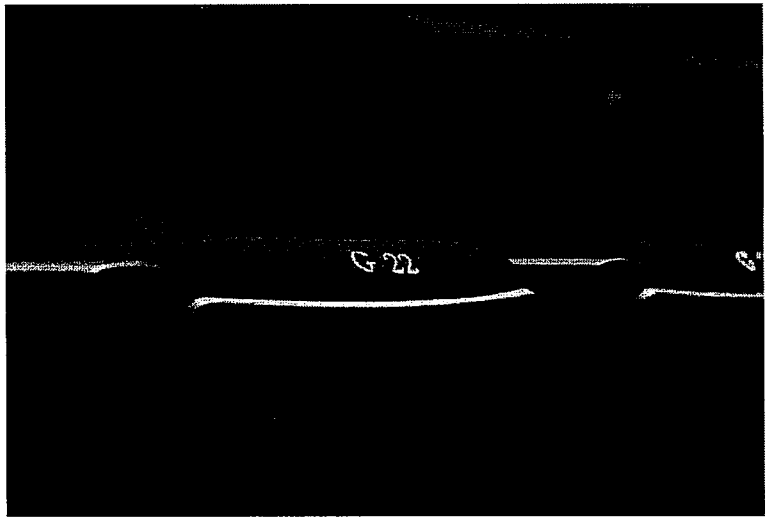
Dans la phase de réponse à l'appel d'offre, comment a été accueilli le prototype proposé par ESL ?
François Guillet : 3 critères sont entrés en ligne de compte dans l'appel d'offre :
- La qualité du projecteur
- Le prix du projecteur
- La garantie

Quels ont été les bénéfices de l'expertise technique d'ESL ?
François Guillet : on est passé de 77 000 w à 5000 ou 6000 w, on a divisé par onze la consommation énergétique.

Qu'est-ce qui a motivé le choix de la LED ?
Sylvain Ledauphin : au départ, c'est le fait que les ampoules à incandescence vont bientôt être interdites à la vente, on ne pouvait donc plus assurer la pérennité de l'éclairage de la salle. La seconde volonté a été pour le Conseil Général de faire des économies d'énergie.

Quels sont les bénéfices en terme de mise en oeuvre, d'entretien et de souplesse d'utilisation ?
François Guillet : Le problème de relamping est résolu puisqu'on était sur des lampes avec une durée de vie de 800 heures et qu'on passe désormais à 50 000 heures.
On a gardé une interface utilisateur simplifiée sur 6 canaux DMX pour avoir quelque chose de convivial, que ce soit pour l'agent d'entretien ou les acteurs qui veulent juste éclairer la salle pour les répétitions. On a quelque chose qui est extrêmement simple d'utilisation.

C'est une première pour une salle de théâtre ?
François Guillet : le projet à la base portait sur du fluorescent. Il y a eu des essais en fluorescent et les essais ont montré qu'il n'était pas possible d'avoir une bonne courbe de graduation,.. Le projet était à 2 doigts de rester lettre morte quand j'ai eu l'opportunité de leur montrer un amphi de dimensions plus restreintes équipé en LED : c'est un projet qui a été mené il y a quelques années, c'était un amphithéâtre de 300 personnes pour un séminaire Bouygues... Le but était de changer l'éclairage tungstène qui sera bientôt interdit à la consommation. Financé par le Conseil Général, le Grand T a opté pour une solution « verte » afin de réaliser des économies d'énergie.

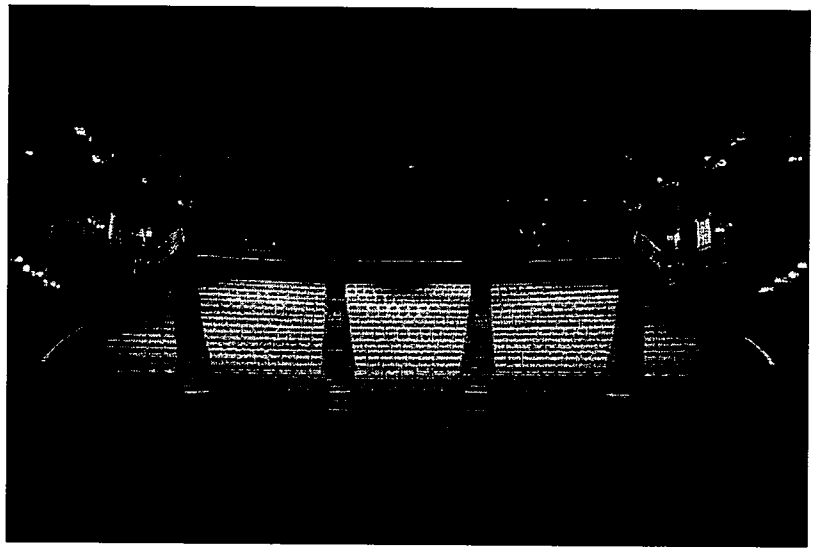


Comment cet équipement a-t-il été accueilli par l'équipe du théâtre ?
François Guillet : De manière variée, il y a eu plusieurs accueils, mais il est globalement positif. Il y a un réel gain d'énergie, de l'ordre de 10 à 15% en consommation d'électricité.
Annuellement, cela représente la consommation de 30 foyers en permanence, chauffage compris : c'est assez conséquent.
Cette économie d'énergie a reçu évidemment un très bon accueil. La gradation, la commande projecteur par projecteur, la variation de la température de couleur ont été des points essentiels dans la réussite de ce projet.
Le point négatif, c'est l'indice de rendu des couleurs qui ne fait pas suffisamment ressortir le rouge des fauteuils. Il reste un travail à faire sur l'indice de rendu des couleurs en LED.

Sylvain Ledauphin :
Au théâtre, nous faisons souvent appel à des concepteurs lumière et des scénographes, nous recherchons un

confort visuel qui consiste à trouver un éclairage qui permette une bonne perception des objets et des couleurs dans une ambiance agréable. La manière d'accueillir le spectateur dans la salle fait partie intégrante de la scénographie du spectacle, nos régisseurs doivent pouvoir adapter l'éclairage de la salle à la demande du metteur en scène. Le système de pilotage simple d'usage nous offre de nombreuses possibilités de programmations -aussi bien pratique pour l'agent d'entretien qui peut éclairer la salle avec un simple pupitre de commande que pour une utilisation très fine par nos régisseurs

Il faudra à terme pouvoir coupler cet éclairage avec un autre matériel scénique si l'on souhaite améliorer l'indice de rendu des couleurs, nous attendons avec curiosité et impatience le développement entre autre des découpes à LED pour éventuellement compléter notre éclairage de salle.



À votre sens, quel est le bénéfice de ce nouvel éclairage pour le spectateur ?
François Guillet : Il y a un gain évident pour le spectateur : dans la mesure où il est désormais possible de créer une atmosphère beaucoup plus intimiste qu'auparavant avec l'halogène qui dispersait à 360 degrès contrairement aux tests réalisés avec du fluo.
On peut maintenant isoler la cage de scène ce qui était totalement impossible avec l'éclairage halogène précédent, on peut se contenter de n'éclairer que les murs. On peut mieux cloisonner la salle en terme de jauge... Le flux lumineux est beaucoup plus étalé qu'auparavant.

Pensez-vous que le Grand T a ouvert une voie en utilisant la LED ?
François Guillet : oui, très clairement, à partir du moment où on a un produit qui répond en terme de courbe de graduation, de température de couleur... reste un petit peu de travail à faire en terme d'indice de rendu des couleurs, c'est évident que ça va ouvrir d'autres portes, une autre salle m'a déjà contacté suite à cette réalisation.

Sylvain Ledauphin :
Cela ouvre des perspectives sur plusieurs plans :
Il y a le plan économie d'énergie qui est incontestable.
Il y a le plan technologique qui offre une souplesse d'utilisation que n'offrait pas l'incandescence.
Cette installation va être utile lorsqu'on va devoir changer les jauges de la salle. On va pouvoir isoler des zones dans le noir, mettre des zones précises dans la lumière, jouer sur les intensités de couleur, alors que l'incandescence ne permettait que de jouer sur la gradation.

On se rapproche aussi du matériel scénique, ce qui est plus facile pour les techniciens qui maîtrisent beaucoup mieux l'installation.
Ils ont désormais à disposition des projecteurs avec portes-filtres et volets coupe flux dessus pour changer les orientations de lumière. C'est un domaine qu'on maîtrise mieux qu'un éclairage classique de salle en incandescence.

Merci à Mr François Guillet - concepteur lumière - et Mr Sylvain Ledauphin - directeur technique du grand T, pour leur participation à cet entretien.