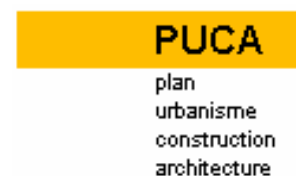


Comparaison internationale
Bâtiment et énergie

C13 - ECLAIRAGE

**Auteurs : Michel Perraudou (michel.perraudou@cstb.fr),
Christophe Martinsons (christophe.martinsons@cstb.fr),
Chantal Laumonier (chantal.laumonier@cstb.fr)**

Expert : A. Deneyer (CSTC - Belgique)



1. Contexte, antériorité, dynamique d'acteurs

1.1 Contexte

Au niveau mondial, l'éclairage artificiel consomme 19 % de la production d'électricité, soit environ 2651 TWh. Cette consommation s'accompagne d'une émission de gaz à effet de serre évaluée à 1700 millions de tonnes de CO₂. La mise en application des accords internationaux concernant la réduction de ces émissions a donc un impact direct sur le secteur de l'éclairage [1].

En France, la part de l'éclairage dans la consommation électrique est de l'ordre de 10 % (41 TWh en 1999). Cette consommation se répartit à peu près de la manière suivante : 30 % pour l'habitat, 10 % pour l'éclairage public et routier, 60 % pour les bâtiments tertiaires, industriels et commerciaux. Dans l'habitat, on constate depuis presque 30 ans une progression soutenue de la consommation d'électricité due à l'éclairage artificiel. On est ainsi passé de 5 TWh en 1979 à 14 TWh en 1999 [2].

L'objectif de réduction des consommations dues à l'éclairage s'est traduit par la prise en compte du poste éclairage dans la réglementation thermique (RT 2000) avec la définition de valeurs limites pour la puissance installée. Ces valeurs, exprimées en W/m² dans le cas général sont, dans certains cas exprimées en W/m² pour 100 lux afin de ne pas conduire à des situations pour lesquelles l'installation d'éclairage artificiel mis en place fournirait des niveaux d'éclairement bien inférieurs à ceux préconisés pour l'activité pratiquée.

Malgré l'apparition de lampes basse consommation sur le marché grand public, on constate que les lampes à incandescence sont toujours, et de loin, les plus répandues dans l'habitat (environ 90 % de ce secteur). Cette domination du marché s'explique par le coût élevé des lampes basse consommation. Il est clair que l'impact négatif du fort prix de vente l'emporte sur les considérations de durée de vie et de consommation électrique.

Outre la promotion des lampes basse consommation, la réglementation incite à utiliser des appareillages électriques performants pour les tubes fluorescents et des systèmes de contrôle et régulation. C'est tout particulièrement le cas en ce qui concerne les ballasts pour tubes fluorescents dans le cadre de la directive européenne 2000/55/CE. Avec la suppression progressive des ballasts ferromagnétiques et, dans un deuxième temps celle des ballasts électroniques les moins performants, on vise une diminution notable de la consommation d'un système complet (lampe + ballast). Le secteur tertiaire est plus particulièrement concerné par ce type de dispositifs.

La réglementation vise également à une amélioration des conditions d'éclairage naturel. Dans ce domaine, les performances des bâtiments sont directement liées aux choix qui ont été faits pour les matériaux verriers. L'amélioration des performances thermiques de ces matériaux entraîne une diminution de la transmission lumineuse. Plus la surface vitrée augmente, plus l'on a recours à des matériaux à faible facteur solaire et plus la transmission lumineuse baisse. Dans de très nombreux cas, la situation en éclairage naturel est paradoxalement bien moins bonne que celle que l'on avait pour des bâtiments "normalement" vitrés. La vue sur l'extérieur est certes améliorée mais l'utilisation de l'éclairage artificiel se trouve renforcée.

Pour compenser ce phénomène, les fabricants de matériaux verriers et de dispositifs d'éclairage naturel et de protection solaire proposent différents types de solutions : matériaux verriers pour lesquels le rapport entre transmission lumineuse et facteur solaire est amélioré, dispositifs de protection solaire permettant une redirection de la lumière du jour "loin" des ouvertures, apports de lumière du jour dans des zones pas ou peu éclairées au moyen de conduits de lumières.

1.2 Antériorités dans le domaine de l'amélioration de l'efficacité des lampes

Le critère associé à la notion de basse consommation des lampes est l'efficacité lumineuse en lumens par watt (lm/W) qui exprime le rapport entre la quantité de lumière visible émise et la puissance électrique consommée. Les lampes à incandescence actuelles ont une efficacité médiocre : environ 12 à 15 lm/W pour les lampes à incandescence traditionnelles et de 20 à 25 lm/W pour les lampes halogènes.

Les autres technologies de lampes disponibles sur le marché ont une meilleure efficacité et font l'objet de développements innovants présentés dans la section suivante de ce document [2].

1.2.1 Lampes fluorescentes linéaires (tubes fluorescents)

Cette technologie domine le marché en raison de son utilisation extensive dans les secteurs tertiaire et industriel. Les tubes T12 de diamètre 38 mm, associés à des ballasts magnétiques, sont parmi les plus anciens modèles toujours en utilisation. Ils présentent des problèmes bien connus de papillotement et le flux lumineux n'est pas ajustable. Les tubes T8, plus récents, ont un diamètre 25 mm et sont maintenant les plus vendus. Ils utilisent des ballasts électroniques plus performants. Les progrès dans les poudres fluorescentes ont permis de réduire encore le diamètre des tubes. Par exemple, les tubes T5 ont un diamètre de 13 mm. Ces tubes de faible diamètre sont néanmoins mal acceptés du fait de leur luminance élevée et des nuisances visuelles associées.

Ces lampes fluorescentes ont une très bonne efficacité lumineuse, comprise entre 50 et 100 lm/W, et possèdent un indice rendu des couleurs élevé.



Les différents formats de tubes fluorescents

1.2.2 Lampes basse consommation « fluocompactes »

Les lampes « fluocompactes » appartiennent à la famille des lampes à décharge « basse pression », dont font partie les tubes fluorescents. Apparues dans les années 80, elles ont été les premières alternatives performantes au remplacement de l'incandescence. Ces lampes utilisent un tube de faible diamètre, replié sur lui-même, et un ballast électronique intégré. Elles sont équipées de culots semblables à ceux des lampes à incandescence, ce qui les rend interchangeables avec ces dernières.

Les avantages de ces lampes sont bien connus. L'efficacité lumineuse est comprise entre 40 et 80 lm/W et leur durée de vie est comprise entre 6000 et 12 000 heures, contre 3000 heures pour les lampes à incandescence. Même si cette efficacité lumineuse est légèrement inférieure à celle des tubes fluorescents classiques, le gain se traduit par une consommation 4 à 5 fois plus faible que celle de l'incandescence.

Malgré ces avantages, il subsiste un certain nombre d'inconvénients comme par exemple le temps de mise en régime, qui peut parfois atteindre plusieurs minutes, l'encombrement et le poids. De plus, les lampes fluocompactes encastrées ont tendance à éblouir les usagers, à l'instar des tubes fluorescents T5.

Pour ces raisons, ces lampes n'ont pas eu le succès espéré. Si sur tous ces aspects, de nombreux progrès ont été effectués, le nombre de lampes fluorescentes compactes commercialisées annuellement est encore environ 15 fois plus faible que celui des lampes à incandescence.



Lampe fluocompacte Philips démontée : tube, ballast électronique et culot

1.2.3 Lampes fluorescentes compactes à cathode froide

Il s'agit de lampes fluorescentes dont les électrodes ne possèdent pas de filament. Les tubes de ces lampes peuvent être miniaturisés (diamètre 3mm) et repliés. Le rendement lumineux est inférieur à celui d'une lampe fluocompacte traditionnelle mais la durée de vie annoncée est de 10 000 heures. Ces sources ont un temps de mise en régime plus court et sont plus adaptées à des extinctions et des allumages fréquents. On trouve dans le commerce des « spots » de ce type d'une puissance de 5 W destinés à remplacer les spots halogènes (lampes à incandescence) de type GU10 d'une puissance de 25 W ou 50 W.



1.2.4 Lampes fluorescentes à induction

Ces lampes, développées initialement par Philips (lampes QL) et Matsushita (Everlight) au début des années 1990, n'utilisent pas d'électrodes pour générer la décharge dans le tube fluorescent. C'est une bobine située à l'extérieur du tube qui apporte l'énergie par induction magnétique. La durée de vie de ces lampes est notablement améliorée puisqu'elle atteint les 100 000 heures, avec un rendement de 65 lm/W. Ces lampes ont une puissance élevée et un encombrement important en raison des dimensions de l'appareillage électrique. Elles sont traditionnellement réservées à l'éclairage public car le prix des produits est élevé et, malgré leur durée de vie, l'amortissement est très long.

Une nouvelle génération de lampes à induction de puissances plus faibles (de 10 à 40 W) est également apparue. Avec un appareillage électrique intégré à la lampe, elles présentent un encombrement limité (mais supérieur à celui des lampes fluorescentes compactes) permettant une utilisation en remplacement des lampes à culot E27 ou B22. Ces lampes ont une efficacité lumineuse pouvant atteindre 75 lm/W pour une durée de vie de plus de 60 000 heures.

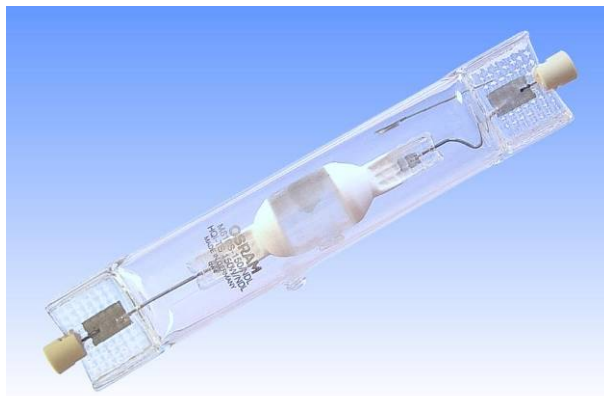


Lampe à induction GENURA (GE Lighting)

1.2.5 Lampes à décharge « haute pression » ou HID (high intensity discharge)

Ces lampes fonctionnent avec des décharges très courtes et très intenses (arcs) entretenues dans des milieux gazeux sous des fortes pressions. Elles sont utilisées pour les applications professionnelles, pour lesquelles des moyennes et fortes puissances sont requises. Leur efficacité lumineuse est comprise entre 50 et 120 lm/W. La durée de vie de ces lampes dépasse les 12 000 heures. Les plus utilisées sont :

- lampes sodium haute pression : elles se distinguent par leur coloration ambre et donnent, par conséquent, un mauvais rendu des couleurs. Elles sont surtout utilisées en éclairage urbain et routier ;
- lampes à halogénures métalliques et enveloppe céramique (C-MHL : ceramic metal halide lamp). La lumière produite est blanche avec un rendu des couleurs pouvant atteindre 95%. Elles sont utilisées pour l'éclairage des stades et de lieux publics.



Lampe C-MHL Osram

1.2.5 Diodes électroluminescentes (light emitting diodes ou LED)

Les LED sont à la base des sources de lumières colorées, utilisant des structures solides semi-conductrices de petite dimension (inférieure au mm). A l'origine, leur faible puissance ne leur permettait d'être utilisées que pour des applications d'indication lumineuse. Or, depuis l'invention des LED bleues à la fin des années 1980, les LED sont maintenant capables de produire indirectement de la lumière blanche, soit par l'utilisation de particules luminescentes émettant une longueur d'onde complémentaire, soit par l'association de trois LED différentes [2, 3].

L'évolution des LED blanches pour l'éclairage est très soutenue depuis 10 ans. On trouve maintenant des composants de fortes puissances (140 lm pour la Philips Lumiled Luxeon K2). Ces progrès rapides ont abouti à des sources de lumière blanche compactes et robustes dont la durée de vie est très grande (de l'ordre de 50 000 heures) et dont l'efficacité lumineuse tend vers celle des lampes fluorescentes (50-60 lm/W actuellement). D'autres aspects techniques freinent actuellement l'utilisation des LED en éclairage général : reproductibilité et dérive de la couleur, caractère ponctuel et directivité de la lumière, évacuation de la chaleur produite, maintien des performances nominales en fonction de la température, indice de rendu des couleurs médiocre.

Pour toutes ces raisons, les luminaires à base de LED disponibles à ce jour sont principalement destinés à l'éclairage décoratif ou à la mise en lumière mais pas à ce qui relève de l'éclairage fonctionnel demandant un minimum de performances.



Luminaire à LED (société LEC)

1.3. Antériorité dans le domaine des dispositifs d'éclairage naturel

De manière très générale, il est difficile d'obtenir un éclairage naturel satisfaisant au-delà de 4 à 6 mètres des fenêtres [4]. Pour fournir un éclairage naturel dans ces zones pas ou peu éclairées, il faut avoir recours à des dispositifs optiques spécifiques permettant d'acheminer de la lumière du jour au travers des structures opaques du bâtiment. Parmi les nombreux dispositifs issus de la recherche dans ce domaine depuis les années 1980 (étagères à lumière, conduits anédoïques, héliostats, etc.), les conduits de lumière naturelle sont sans doute ceux qui connaissent aujourd'hui la meilleure diffusion sur le marché de la construction. Ces dispositifs, appelés aussi tubes de lumière naturelle, sont constitués des éléments suivants :

- un collecteur destiné à capter la lumière du ciel ;
- une structure tubulaire dont les parois internes sont réfléchissantes, dont la fonction est de guider la lumière collectée par réflexions internes ;
- un élément terminal éclairant (diffuseur).

Pour donner un ordre d'idée sur l'efficacité de ces dispositifs, on peut comparer très approximativement l'apport d'un tube de lumière (comportant un élément en angle) par ciel couvert en France à l'apport lumineux d'une lampe à incandescence de 60 W.

En France, ces dispositifs ont fait l'objet d'avis techniques par le CSTB et sont disponibles à la vente.

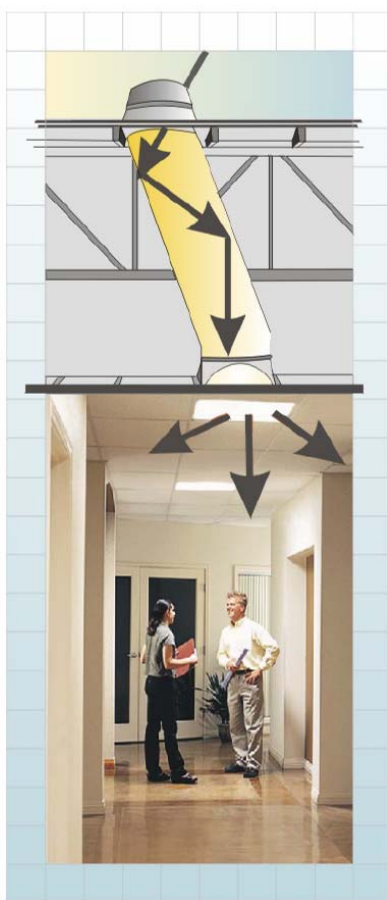


Schéma de principe des conduits de lumière naturelle de la société Solatube

1.4 Antériorité dans le domaine des dispositifs de contrôle et régulation

Les principaux fabricants de luminaires proposent depuis de nombreuses années des systèmes de contrôle et de régulation de l'éclairage intérieur prenant en compte les apports en lumière du jour et la présence effective. Ces systèmes utilisent des capteurs de lumière et des détecteurs de mouvements. Dans les bâtiments industriels et tertiaires, les dispositifs centralisés de gestion du bâtiment associent la régulation de l'éclairage à celle du chauffage.

Depuis peu, dans le cadre du concept d'éclairage et santé, sont apparus des dispositifs permettant à l'occupant de paramétrer son ambiance lumineuse en jouant à la fois sur le niveau d'éclairement et sur la couleur de la lumière [5].

1.5 Dynamique d'acteurs

1.5.1 Fabricants de lampes

L'industrie des lampes est un des secteurs industriels qui connaît une des plus fortes progressions depuis vingt ans. Le chiffre d'affaire total pour ce secteur est d'environ 14 milliards d'euros par an. Cette industrie se partage entre trois acteurs internationaux de très grande taille [2] :

- Philips Lighting : CA de 5 milliards d'euros
- Osram, filiale de Siemens : CA de 4 milliards d'euros
- General Electric Lighting : CA de 3 milliards d'euros

Ces trois sociétés représentent plus de 85 % du chiffre d'affaire global de l'éclairage. D'autres entreprises de taille plus modeste sont actives mais ne représentent qu'au total 2 milliards d'euros de chiffre d'affaire. On peut notamment citer le japonais Matsushita et Sylvania International Lighting, qui vient d'être rachetée par le groupe indien Havell's. Notons par ailleurs qu'il existe de nombreux fabricants chinois sur le marché des lampes basse consommation. Bien qu'actuellement pénalisés par la politique européenne de taxation antidumping qui les frappe, on peut néanmoins s'attendre à une arrivée en force de ces nouveaux acteurs dans les prochaines années.

Dans le domaine spécifique des LED, beaucoup de développements sont effectués par des entreprises des semiconducteurs (Cree, Nichia, Toyoda Gosei,...). Cependant, les trois grands industriels des lampes ont chacun investi dans le rachat d'entreprises spécialisées pour créer des divisions technologiques spécifiques : Philips Lumiled, GE Lumination, Osram Opto Semiconductors.

1.5.2 Fabricants de luminaires

Les grands fabricants de lampes (Philips Lighting, Osram et GE Lighting) ont chacun développé une activité importante dans la production de luminaires d'éclairage extérieur, notamment pour l'éclairage urbain et l'éclairage routier. Ainsi, Philips Lighting possède à Miribel, en banlieue lyonnaise, son centre de recherche européen OLAC dédié aux applications d'éclairage intérieur et extérieur, fonctionnel et architectural.

A côté de ces grands acteurs, on trouve également un certain nombre de fabricants de luminaires, de plus petite taille. En Europe, on peut citer le groupe Zumtobel (8 000 personnes) et sa marque Thorn, leader européen des luminaires et des équipements électriques associés. En France, des sociétés plus petites, comme Sarlam, ont une activité importante sur le marché des luminaires.

1.5.3 Eclairagistes

La conception, l'installation et la maintenance de l'éclairage reposent sur de nombreuses sociétés et bureaux d'études. Ces structures sont sollicitées par des donneurs d'ordre privés ou des collectivités territoriales via les mécanismes d'appels d'offres. Dans le domaine de l'éclairage public, on peut citer la société Forclum du groupe Eiffage, leader français sur ce secteur. Les projets d'éclairages architecturaux sont quant à eux traités par des « concepteurs lumière » proches des architectes.

1.5.4 Groupements professionnels

En France, le syndicat de l'éclairage fédère des fabricants français et des filiales françaises de fabricants étrangers de lampes, de luminaires et d'appareillage de gestion et contrôle d'éclairage. Le GIL (groupement des industriels du luminaire) rassemble des fabricants de luminaires de petite et moyenne tailles.

Au niveau européen, le CELMA fédère les associations nationales de fabricants de luminaires et de composants électrotechniques et la ELCF rassemble les fabricants de lampes.

Les éclairagistes et concepteur lumière sont regroupés en France au sein de l'ACE (association des concepteurs lumière et éclairagistes).

1.5.5. Fabricants de conduits de lumière naturelle

Les tubes de lumière naturelle ont été brevetés et industrialisés à la fin des années 1980 par la société australienne Solatube. Depuis, le concept a été repris par d'autres sociétés : Solarspot en Italie ou Glidevale au Royaume-Uni. La société Velux, spécialiste des fenêtres de toit, les propose également dans son catalogue.

1.5.6 Comités technico-normatifs

Au niveau international, la CIE (commission internationale de l'éclairage) est chargée de l'élaboration des normes d'éclairage. Certaines d'entre elles sont transposées en normes internationales (ISO), européennes (CEN) ou françaises (AFNOR). La section française de la CIE est le CNFR (comité national français de l'éclairage).

Au niveau français, l'AFE (association française de l'éclairage) est une autorité reconnue pour la formation, la rédaction de guides techniques et l'élaboration de préconisations spécifiques à certaines activités.

1.5.7 Initiatives et référentiels de qualité environnementale

Différentes initiatives visant à réduire l'impact écologique du cadre urbain ont été mises en place par les pays industrialisés. A titre d'exemple, on peut citer le système d'évaluation LEED américain. En France, le référentiel HQE comprend une cible éclairage visant à définir un apport minimal de

lumière naturelle dans les locaux. Ces initiatives sont des moteurs de l'innovation dans le domaine de l'éclairage naturel et artificiel. Des labels grand public comme « Energy star » en Europe orientent facilement le consommateur vers des produits de meilleure efficacité énergétique.

1.5.8 Acteurs politiques et institutionnels

L'engagement de certains pays sur des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de maîtrise des dépenses énergétiques a un impact important sur les choix de l'éclairage de demain. Il s'agit ici d'orientations à l'échelle nationale et internationale, au niveau par exemple de l'Union Européenne. Les agences de l'énergie sont particulièrement actives dans ce domaine. Ainsi, l'agence internationale de l'énergie (AIE) a défini un scénario d'amélioration de l'efficacité des lampes basé sur la minimisation du coût de l'éclairage, évalué sur toute la durée de vie (LLCC ou Least Life Cycle Cost) [1].

2. Contenu de l'innovation

D'un point de vue technologique, la diminution de la consommation électrique de l'éclairage artificiel repose principalement sur trois axes :

- Evolution de la technologie des lampes ;
- Meilleure utilisation des apports en lumière naturelle ;
- Réduction de la durée d'utilisation de l'éclairage artificiel par l'amélioration des techniques de régulation.

De plus, la mise en œuvre de nouveaux principes d'éclairage offre des possibilités intéressantes pour la réduction du coût de l'éclairage artificiel :

- Combinaison d'un éclairage de fond diffus, associé à des éclairages « personnalisés » plus directifs et localisés ;
- Eclairage distribué par fibres optiques.

2.1 Evolution de la technologie des lampes

2.1.1 Evolution des lampes à incandescence

Il est intéressant de noter que les fabricants annoncent le développement de nouvelles générations de lampes à incandescence avec des rendements lumineux améliorés, proches de ceux des sources fluorescentes. Deux pistes sont poursuivies [6] :

- utilisation d'un revêtement mince déposé sur les parois de la lampe et destiné à réfléchir une partie du rayonnement infrarouge émis par le filament ;
- utilisation d'un filament possédant une microstructure de cristal photonique dont la bande d'émission est calée sur le spectre visible. Une telle structure est capable de piéger le rayonnement thermique infrarouge, dont les longueurs d'onde sont plus grandes.

A titre d'exemple, GE Lighting a annoncé la disponibilité en 2010 des lampes HEI (high efficiency incandescence) dont les prototypes ont un rendement deux fois plus élevé (30 lm/W) que celui des lampes incandescence classiques. GE Lighting prévoit encore de doubler ce rendement.

2.1.2 Evolution des lampes fluocompactes

Ces lampes, utilisables en remplacement des lampes à incandescence classiques, font l'objet de constantes améliorations. Les rendements lumineux pourraient dépasser les 60 lm/W en 2010 grâce à l'utilisation de nouveaux mélanges gazeux et de nouveaux revêtements fluorescents. Les fabricants visent aussi à obtenir une mise en régime presque instantanée par le biais de ballasts électroniques plus performants.

Une initiative intéressante du fabricant chinois Shanghai Hongyuan est la mise au point d'une lampe compacte à induction, dont le coût est beaucoup plus bas que celui des lampes à induction actuelles. Le ballast électronique intégré permet une gradation de la lumière émise. Le rendement annoncé d'une lampe de ce type ayant une puissance électrique de 200 W est de 100 lm/W. La durée de vie annoncée est de 60 000 h [7].

2.1.3 Evolution des lampes à décharge haute pression

Les progrès récents dans la conception d'enceintes céramiques transparentes et réfractaires permettent aux lampes à halogénures métalliques (C-MHL) d'évoluer vers des formats plus compacts. C'est ainsi que ces lampes « professionnelles » pourraient bientôt s'attaquer au marché de l'éclairage d'intérieur et de décoration, en remplacement des lampes à incandescence. La physique impose néanmoins des limites sérieuses à la réduction du format des enceintes (augmentation des gradients thermiques) et de la taille des électrodes (problèmes de résistance électrique et de chute de tension). Dans l'état actuel de la technologie, la puissance de 70 W apparaît comme un seuil en deçà duquel l'efficacité lumineuse ne peut plus atteindre 60 lm/W et se dégrade considérablement [8].

2.1.4 Evolution des LED

L'efficacité lumineuse des LED évolue très vite. Philips Lighting prévoit que les innovations dans les techniques d'élaboration des structures de nitrure de gallium (GaN) et dans les méthodes d'encapsulation, permettront rapidement de dépasser le seuil de 100 lm/W [9].

La constante amélioration des caractéristiques des LED proposées par les fabricants devrait, dans quelques années, permettre une large diffusion de ces sources lumineuses aussi bien dans l'habitat que dans les bâtiments du tertiaire ou dans les locaux commerciaux.

Pour que cette percée se réalise, il est nécessaire de concevoir des luminaires spécifiques qui prennent en compte les aspects ponctuels et directifs de la lumière émise par les LED. Par ailleurs, l'association d'un nombre important de LED dans un même luminaire impose l'utilisation d'une alimentation électrique spéciale permettant de contrôler individuellement les variations lumineuses de chaque élément.

2.1.5 Vers des lampes minces et étendues : potentiel des lampes à OLED

Le concept de lampe mince et de grande surface est séduisant. En effet, l'utilisation d'une lampe « étendue » réduit les niveaux de luminance nécessaire à l'obtention d'un éclairage donné. On évite ainsi les phénomènes d'éblouissement tandis que la lumière produite peut être distribuée de

manière plus uniforme. Au-delà de la notion de confort visuel, ce concept permet une intégration architecturale novatrice, aussi bien en intérieur qu'en extérieur. On pense par exemple à des plafonds ou des murs éclairants.

Les premières tentatives de conception de ce type de lampe étaient basées sur l'utilisation de films électroluminescents. Cependant, les inconvénients liés à l'alimentation à haute tension et la diminution de l'efficacité lumineuse au cours de la vie du produit n'ont pas permis d'aboutir à des lampes utilisables en éclairage général, à l'exception de veilleuses nocturnes ou de rétroéclairages d'afficheurs.

Les OLED (diode électroluminescentes organiques) représentent la technologie la plus prometteuse pour la réalisation de lampes minces et étendues. Il s'agit de LED réalisées à partir de polymères organiques semiconducteurs, sous la forme de films de faible épaisseur. Au total, celle-ci ne dépasse pas 1 mm. On obtient des éléments éclairants souples, légers, partiellement conformables, et qui émettent une lumière diffuse. Cette technologie a été brevetée initialement par Kodak en 1998 [10, 2]. A l'heure actuelle, les OLED sont utilisées à grande échelle pour des afficheurs de produits électroniques et des écrans de téléviseurs.

Les grands industriels de l'éclairage réalisent actuellement de gros investissements pour développer les filières OLED auxquelles ils croient beaucoup pour la réalisation de lampes minces. Ainsi, Philips a formé un partenariat stratégique avec Novaled, une société spécialisée dans les OLED. Osram a quant à lui racheté plusieurs sociétés asiatiques en pointe dans cette technologie.

Des avancées technologiques importantes sont actuellement réalisées dans le but d'augmenter l'efficacité lumineuse et la durée de vie des prototypes actuels. Novaled a annoncé en 2006 une OLED dont la durée de vie est de 20 000 heures et dont l'efficacité atteint les 32 lm/W, valeur modeste mais record pour cette technologie. Signe de la vitalité du développement des OLED, le japonais Konica Minolta a conçu en 2007 un prototype d'OLED blanche dont l'efficacité dépasse les 60 lm/W.

Plusieurs projets européens ont été montés pour développer les OLED sur le marché de l'éclairage. On peut citer le projet OLLA (projet intégré du 6ème PCRD, thème IST) qui rassemble un consortium de 24 partenaires industriels et universitaires. Ce projet est financé à hauteur de 12 millions d'euros par l'Union Européenne.



Prototypage de lampe OLED (Osram)

2.2 Meilleure utilisation des apports en lumière naturelle

La réduction de la durée d'utilisation de l'éclairage artificiel passe par l'optimisation des apports en lumière du jour [11]. Un éclairage naturel adapté doit permettre de limiter le recours à l'éclairage

artificiel quand le potentiel lumineux est faible (ciel couvert ou soleil ne tombant pas sur les ouvertures) mais également quand celui-ci est important (la mise en place d'une protection solaire ne devrait pas conduire à l'allumage des lampes).

L'utilisation de stores toile pour contrôler les apports en lumière du jour constitue une solution très largement répandue mais qui n'est pas sans poser des problèmes du point de vue du confort visuel. Il faut en effet chercher à optimiser l'occultation de la lumière solaire directe et la luminance de toile afin qu'elle ne génère pas de situation d'éblouissement.

Les possibilités de contrôle des apports en lumière du jour sont nombreuses : soit directement par le vitrage, soit en faisant appel à un dispositif complémentaire fixe ou mobile. Les différents types de vitrage "actifs" (électrochrome, thermochrome ou photochrome) ont souvent des performances "moyennes" en termes de transmission lumineuse : soit celle-ci est faible, soit elle s'accompagne d'une coloration de la lumière transmise. Pour cette raison, mais aussi pour leur coût élevé, ces dispositifs sont peu utilisés et le contrôle des apports lumineux se fait essentiellement par l'intermédiaire de dispositifs de protection solaire fixes ou mobiles, intérieures ou extérieures ou bien encore, directement intégrées dans le vitrage.

Dans une grande partie des situations, un éclairage naturel plus "performant" consiste à optimiser les performances des dispositifs de protection solaire. Cette optimisation concerne aussi bien les caractéristiques géométriques que les caractéristiques photométriques (réflexion et/ou transmission et couleur) des matériaux utilisés ainsi que, pour les protections mobiles, des choix qui sont faits quant à la mise en place (partie de l'ouverture protégée, inclinaison des lames, etc.). Pour les dispositifs à base de lames fixes, la recherche de l'inclinaison optimale des lames pour l'ensemble des conditions lumineuses susceptibles d'être rencontrées doit permettre d'éviter que ces dispositifs ne soient trop pénalisants par condition de ciel couvert ou de soleil n'atteignant pas la façade.

2.3 Amélioration des dispositifs de régulation

L'optimisation de l'éclairage intérieur passe en partie par la mise en place de systèmes de gestion de l'éclairage artificiel et/ou de l'éclairage naturel. Pour les systèmes de protections solaires à lames mobiles, un système de gestion performant doit permettre de limiter les apports solaires directs, tout en laissant entrer suffisamment de lumière pour ne pas à avoir recours (ou le moins souvent possible) à l'éclairage artificiel de complément.

En complément de cette gestion des apports en lumière du jour, un système de gestion de l'installation d'éclairage artificiel permet d'optimiser le fonctionnement de celle-ci en apportant de la lumière artificielle là et seulement là où cela est nécessaire (fractionnement de l'installation en différentes zones, ou mieux encore luminaire par luminaire). Si, de plus, l'installation permet d'apporter uniquement ce qui est nécessaire (gradation des lampes), la consommation de l'éclairage artificiel de complément se trouve vraiment optimisée : la comparaison d'un fonctionnement théorique parfait entre une installation ne supportant que le fonctionnement « on/off » et une installation supportant la gradation montre que, dans ce dernier cas, la consommation peut être divisée par un facteur pouvant atteindre deux.

2.4 Développement de nouveaux principes d'éclairage

2.4.1 Combinaison d'un éclairage de fond diffus, associé à des éclairages « personnalisés » plus directifs et localisés

Pour les lieux de travail, ceux du tertiaire tout particulièrement, on peut envisager dans certains cas d'avoir une autre conception de l'éclairage artificiel : au lieu de mettre en place une installation fournissant le niveau d'éclairement recommandé sur l'ensemble du local avec une très bonne uniformité, on peut opter pour une installation d'éclairage général, fournissant un niveau d'éclairement moyen moindre, couplée avec des éclairages localisés des postes de travail. Ce principe ne peut pas être généralisé et quand il peut être appliqué, il doit continuer à respecter les différents aspects du confort visuel (niveaux d'éclairements, équilibre des luminances...)

Bien qu'il ne soit pas lié aux aspects technologiques de l'installation d'éclairage, mais à la conception de l'éclairage intérieur, ce dernier point méritait d'être cité car là où il est possible de le mettre en œuvre, il peut conduire à des économies substantielles. Bien évidemment, ces économies seront encore supérieures si on l'associe à l'utilisation de lampes basse consommation.

2.4.2 Eclairage par fibres optiques

L'éclairage par fibre optique [8] consiste à utiliser une source de lumière déportée couplée à un réseau de fibres optiques qui vont distribuer la lumière à plusieurs endroits d'un bâtiment. L'avantage de ce principe est de pouvoir utiliser une source de lumière de forte puissance et d'efficacité lumineuse élevée (lampe C-MHL par exemple), située dans un lieu où l'alimentation électrique et le dégagement de chaleur ne posent pas de problème de sécurité. Des applications intéressantes sont surtout envisagées dans les espaces commerciaux et, plus généralement, les espaces accueillant du public. La lumière produite n'est pas associée à un quelconque dégagement de chaleur et elle peut être distribuée dans des espaces très froids comme des compartiments réfrigérés ou des chambres froides (à ces températures, les lampes à décharge fonctionnent mal). De plus, les fibres optiques permettent de créer des effets de lumière qui allient l'éclairage fonctionnel, la mise en valeur et la décoration, domaines dans lesquels les « spots » halogènes (incandescence) sont très utilisés.

Aux Etats-Unis, un projet de 17 millions de dollars, financé à hauteur de 10 millions de dollars par le gouvernement américain (DARPA), est porté par la société Energy Focus, liée à GE Lighting, dans le but de développer cette technologie.



Système d'éclairage par fibres optiques (société Energy Focus)

3. Mise en œuvre

3.1 Lampes basse consommation

Si le critère d'efficacité lumineuse est suffisant pour parler d'économie d'énergie, il ne faut pas faire l'impasse sur les autres critères de performances d'une lampe : température de couleur, indice de rendu des couleurs (IRC), durée de vie, etc. En fonction du lieu concerné et de l'activité qui y est pratiquée, ces autres critères vont avoir une plus ou moins grande importance. C'est notamment le cas de l'indice de rendu des couleurs qui, pour certaines tâches, constitue le premier critère de qualité de la source de lumière à utiliser. La recherche de lampes à haute efficacité doit toujours s'accompagner du souci de préserver le confort visuel des personnes.

L'utilisation de lampes basse consommation constitue la solution permettant d'avoir l'impact le plus important sur la consommation totale liée à l'éclairage [12]. Cet impact doit être nuancé en fonction du type de bâtiments concernés. Le remplacement des lampes à incandescence dans l'habitat constitue le gisement d'économies le plus important. Dans le tertiaire, les tubes fluorescents, qui constituent la quasi-totalité des installations, ont un niveau de performance relativement élevé et les économies réalisables en remplaçant ces lampes et/ou leurs appareillages électriques sont plus limitées. Les locaux commerciaux, qui font très largement appel à l'éclairage artificiel pour mettre en valeur les produits, sont très concernés par l'utilisation de lampes performantes.

3.2 Mise en œuvre de dispositifs d'éclairage à LED

La mise en œuvre pratique de lampes basées sur les LED nécessite l'intégration de dispositifs électroniques dans les luminaires [2]. Les fonctions de ces appareillages sont les suivantes :

- conversion du courant alternatif du réseau électrique en courant continu stabilisé et de faible tension ;
- alimentation individuelle de chaque LED du luminaire ;
- régulation du courant d'alimentation de manière à faire varier le flux lumineux sans varier sensiblement le spectre d'émission. Des méthodes de modulation de type PWM (pulse width modulation) doivent être utilisées.

Notons l'initiative pour l'instant très marginale de la société Seoul Semiconductors qui a mis sur le marché une LED d'éclairage directement alimentée sur secteur (Acrich AC LED). Dans cet esprit, la mise en œuvre de luminaires à LED pourrait certainement être facilitée par la co-intégration de fonctions électroniques de conversion/régulation dans le composant lui-même.

Par ailleurs, les luminaires à LED doivent avoir une conception thermique plus complexe que les autres luminaires de manière à évacuer efficacement la chaleur produite localement par chaque LED [13].

3.3 Mise en œuvre de dispositifs à OLED

Les lampes à OLED représentent une rupture dans les principes fondamentaux de l'éclairage [10]. A l'inverse des LED, qui sont pénalisées par le caractère ponctuel de l'émission lumineuse, les OLED sont des émetteurs de grande surface, plans et minces, et qui pourraient certainement être mis en forme avec une courbure cylindrique.

Les premières applications des OLED seront probablement des lampes planes de dimensions moyennes, et qui seront encapsulées dans des matériaux verriers. On constate d'ailleurs un intérêt

grandissant pour les OLED de la part des industriels des verres comme Saint-Gobain qui entrevoient un marché important dans ce secteur.

La mise en œuvre de dispositifs à OLED nécessitera également des systèmes électroniques sophistiqués pour l'alimentation et le contrôle.

3.4 L'exemple de la Belgique

En quelques années, la part des lampes à incandescence dans l'éclairage de l'habitat s'est réduite au profit de différents types de lampes basse consommation. A titre d'exemple, une enquête menée en région flamande a montré une diminution des lampes à incandescence de l'ordre de 10 à 15 % entre 2002 et 2005. Dans cet exemple, comme d'un point de vue plus général, les lampes utilisées en substitution ne sont pas exemptes de critiques auxquelles les fabricants répondent en proposant des améliorations :

- lampes fluorescentes compactes : apparition de lampes de couleur « chaude » ;
- tube fluorescent TL circulaire : nouvelles lampes à haut rendement lumineux et à bon indice de rendu des couleurs ;
- LED : très peu répandues pour l'éclairage de bureau et l'habitat en raison d'un faible flux lumineux et de problèmes de chaleur pour les plus fortes puissances. Amélioration continue de l'efficacité lumineuse.

3.5 Gestion de l'éclairage intérieur en Belgique

Pour les immeubles de bureaux, les systèmes de gestion des luminaires permettent au maître d'ouvrage d'assurer une flexibilité de l'installation (adaptation au cloisonnement) et une optimisation de la maintenance (contrôle de l'état des luminaires). Ces systèmes, qui reposent sur l'utilisation de protocoles d'échange d'informations (protocole DALI le plus souvent) impliquent un surcoût de l'ordre de 15 à 25 euros par luminaire, ce qui constitue un frein à leur percée.

Le contrôle des apports en lumière du jour par des stores toiles fait l'objet de nombreuses recherches, principalement au niveau du matériau textile lui-même. Le Centre Scientifique et Technique de l'Industrie Belge effectue un important travail d'innovation technologique dans les domaines suivants : fibres fonctionnelles, bicomposantes, nano-composantes, matériaux hybrides, polymères à mémoire de forme, bio-polymères, matériaux écologiques...

Parmi les différentes solutions disponibles pour contrôler les apports en lumière du jour, deux dispositifs à base de lamelles horizontales extérieures sont présentées.

3.5.1 Lamelles vitrées avec film imprimé

Ce dispositif est prévu pour être intégré dans une façade de type double façade ventilée. La peau intérieure se compose alors d'éléments en double vitrage classique assurant la liaison entre les différents plateaux horizontaux (structure du bâtiment). La peau extérieure est, quant à elle, composée d'un ensemble de cadres suspendus sur lesquels sont fixées les lamelles vitrées.

Ces lamelles en verre feuilleté sont pourvues d'un film imprimé (Butacite + CESAR Color). Ce film présente du côté extérieur une face blanche de manière à mieux réfléchir la lumière. Du côté intérieur, les lamelles présentent une face noire de manière à permettre la vue vers l'extérieur. En

effet, le contraste des luminances étant positif (la luminance de l'arrière-fond – le ciel– est supérieure à la luminance de l'avant-plan –les points noirs du film–), la vue est possible de l'intérieur vers l'extérieur mais elle est impossible dans l'autre sens, de l'extérieur vers l'intérieur (la luminance de l'avant plan –points blancs du film– est supérieure à la luminance de l'arrière-fond –l'intérieur du bâtiment–).

L'inclinaison des lamelles est assurée par un système de gestion centralisé qui contrôle la position des lamelles en fonction de l'ensoleillement et des conditions atmosphériques via une station météorologique située sur le toit de l'immeuble. Les lamelles sont organisées en cadre de 6 lamelles au minimum et sont commandées par blocs de 3 cadres.

Pour tirer profit de façon optimale de l'inclinaison des lamelles il est nécessaire de disposer d'un système de gestion qui intègre au mieux l'absence ou la présence du soleil et, dans ce dernier cas, sa position par rapport aux lamelles. Que le ciel soit couvert ou non, les apports de lumière du jour en fond de salle, ou à quelques mètres des ouvertures, peuvent varier du simple au double en fonction de l'inclinaison.

Si du point de vue du niveau d'éclairage (et de son incidence sur l'utilisation de l'éclairage électrique), le dispositif donne satisfaction, il ne permet pas d'éliminer les situations à fortes luminances d'ouverture, ce qui impose d'avoir recours à une protection solaire intérieure plus traditionnelle. D'autre part, comme pour tout type de système de gestion, se pose le problème de son acceptation par les utilisateurs.

3.5.2 Lamelles métalliques orientables

Le système ICARUS®, fabriqué par la société Renson, est constitué de lames métalliques pouvant être posées horizontalement ou verticalement. Les objectifs sont les suivants :

- éviter la surchauffe en été via la fonction de protection solaire extérieure ;
- filtrer la lumière directe de manière à éviter l'exposition aux rayons directs et l'éblouissement tout en autorisant une vue vers l'extérieur ;
- assurer une barrière visuelle vis-à-vis de l'extérieur (vue impossible de l'extérieur vers l'intérieur) ;
- ajouter une plus value esthétique et un aspect moderne au bâtiment.

C'est la version à lames orientables de ce dispositif qui permet de satisfaire au mieux tous ces objectifs. Des recherches en cours chez le fabricant visent à améliorer les performances en jouant sur la forme des lamelles et sur leur gestion.

Comme pour les lamelles vitrées, c'est surtout le système de gestion qui permet d'avoir de bonnes performances dans les différentes situations lumineuses. Dans beaucoup de ces situations on peut parler d'éclairage naturel plus "homogène", mais qui s'accompagne forcément d'une forte diminution des niveaux d'éclairage près des ouvertures.

Si on n'observe aucune pénétration du soleil direct, la distribution des luminances intérieures est elle aussi perçue comme satisfaisante.



Protections solaires à lamelles mobiles (bâtiments de la société Renson)

4. Évaluation des résultats dans les pays concernés

L'exemple du Japon est remarquable en matière d'éclairage. En effet, tandis que la proportion de lampes à incandescence dans le résidentiel est de 45 % en Europe et de 65% aux Etats-Unis, les japonais n'utilisent pratiquement plus ce type de lampes (proportion de moins de 5 %). Dans ce pays, où l'acceptation des nouvelles technologies est plus rapide, l'efficacité moyenne des systèmes d'éclairage est de 64 lm/W, la valeur la plus élevée au monde. Les choix politiques japonais, initiés dans les années 1970, ont réussi à assurer la croissance économique du pays tout en maîtrisant sa demande énergétique. Les clés de ce succès sont :

- un fort investissement dans l'innovation technologique soutenu par un effort public important sur la R&D dans le domaine de l'énergie ;
- la promotion des nouvelles technologies comme les LED dans le cadre de programme nationaux « Top Runner Program » destinés à établir des standards d'économie d'énergie dans le secteur résidentiel et le transport.

Le tableau suivant, issu de [1], permet de comparer les performances énergétiques de l'éclairage pour différents pays. En Europe, le Danemark utilise l'éclairage dont les performances énergétiques sont les meilleures, et ce malgré une surface moyenne d'habitation maximale.

Country	Lighting electricity consumption per household	Lamps per household	Average lamp efficacy	Light consumption per unit floor area	Installed lighting power density	Lighting electricity consumption per unit floor area	Lamp operating time	Household floor area
	kWh/year	Lamps	lm/W	Mlm-hrs/m ² /year	W/m ²	kWh/m ² /yr	hours/day	m ²
UK	720	20.1	25	0.21	14.7	8.6	1.60	84
Sweden	760	40.4	24	0.16	14.0	6.9	1.35	110
Germany	775	30.3	27	0.22	15.6	9.3	1.48	83
Denmark	426	23.7	32	0.10	5.7	3.3	1.59	134
Greece	381	10.4	26	0.09	7.8	3.7	1.30	113
Italy	375	14.0	27	0.09	10.6	4.0	1.03	108
France	465	18.5	18	0.22	16.1	5.7	0.97	81
USA	1946	43.0	18	0.27	21.5	15.1	1.92	132
Japan	939	17.0	64	0.49	8.1	10.0	3.38	94

Performances nationales des systèmes d'éclairage, d'après [1]

Certains pays ont récemment instauré des mesures « actives » pour la promotion de l'utilisation de lampes basse consommation. L'Australie, suivant l'exemple de plusieurs états américains comme la Californie, a ainsi voté une loi interdisant progressivement la vente des lampes à incandescence à partir de 2009, visant par conséquent leur disparition complète à l'horizon 2012. En Europe, des propositions similaires sont à l'étude. En mars 2007, les 27 pays membres de l'Union Européenne ont annoncé leur intention d'améliorer l'efficacité énergétique globale de 20 % et envisagent d'interdire eux aussi les lampes à incandescence en 2010.

Aux Etats-Unis, le ministère de l'énergie (DoE) propose d'imposer une amélioration programmée [6] de l'efficacité lumineuse des lampes (60 lm/W en 2012, 90 lm/W en 2016, 120 lm/W en 2020), plutôt que d'interdire certaines technologies comme l'incandescence, qui pourrait évoluer vers de meilleures efficacités.

5. Réflexions critiques

5.1 LED

Forces :

- Eléments non polluants, sans mercure ni plomb (conformité à la directive RoHS)
- Durée de vie importante
- Solidité
- Composants adaptés au montage automatique robotisé
- Contrôle possible de la couleur de la lumière émise

Faiblesses :

- Coût global élevé car les luminaires doivent utiliser beaucoup de LED
- Rendu médiocre des couleurs
- Dispersion des caractéristiques électriques et optiques
- Vieillesse erratique
- Nécessité d'avoir des optiques très précises
- Gestion complexe de l'évacuation de la chaleur

Opportunités :

- Efficacité lumineuse en progrès constant
- Amélioration programmée des procédés de fabrication (méthode MOCVD pour les structures GaN)
- Développement de la production locale d'électricité photovoltaïque qui fournirait du courant continu, mieux adapté aux LED.
- Progrès dans la co-intégration de fonctions électroniques de contrôle dans les composants

Menaces :

- Progrès des OLED pour l'éclairage général qui confinerait les LED blanches aux applications ponctuelles (signalisation, indication, balisage, accentuation architecturale)
- Pollution générée par les industries des semi-conducteurs

5.2 OLED

Forces :

- Eclairage étendu sans éblouissement
- Luminaires minces, légers et souples
- Gradation possible
- Faible coût des matériaux de base (polymères)
- Composants non polluants

Faiblesses :

- Matériaux polymères liés à l'industrie pétrochimique (utilisation d'énergie fossile et dégagement de CO₂)
- Les OLED ne sont pas adaptées aux fortes puissances
- Durée de vie et efficacité lumineuse à améliorer
- Plusieurs technologies actuellement en compétition (small molecules OLED, structures p-i-n, etc.)
- Les polymères sont sensibles à l'humidité. Les OLED doivent être encapsulées, ce qui représente un coût élevé lié aux grandes surfaces émissives.

Opportunités :

- Développement de nouveaux matériaux organiques dopés pour un meilleur rendement de conversion lumineuse
- Maîtrise de la pureté des polymères

Menaces :

- Acceptation par les utilisateurs de nouveaux principes d'éclairage (éclairage réparti)
- Incompatibilité avec les systèmes d'éclairage actuels

5.3 Fibres optiques

Forces :

- Utilisation d'une source lumineuse puissante et efficace, déportée
- Aspect sécurité (pas d'échauffement, pas d'infrarouge ni d'ultraviolet)
- Contrôle de la distribution de la lumière
- Fonctionnement des fibres optiques à basse température

Faiblesses :

- Le couplage entre la source et les fibres nécessite des composants optiques spécifiques, précis et chers.
- Flexibilité des fibres optiques
- Procédé d'extrusion de fibres plastiques de section importante (~10 mm) et de faibles pertes à mettre au point
- Coût total de la solution d'éclairage

Opportunités :

- Demande croissante pour de nouveaux concepts d'éclairage des espaces commerciaux et de restauration

Menaces :

- Concurrence des LEDs qui peuvent être assemblées linéairement de manière dense.

5.4 Dispositifs de régulation de la lumière naturelle à lamelles mobiles

Forces :

- Concept architectural innovant
- Amélioration considérable du confort visuel et du confort thermique

Faiblesses :

- Conception complexe
- Mise en œuvre coûteuse
- Acceptation par l'utilisateur de la gestion automatique de ces systèmes

Opportunités :

- Montée en puissance de la notion de confort et de bien-être dans les bâtiments tertiaires

Menaces :

- Evolution de la « mode » architecturale : désintérêt des architectes
- Impact négatif de ces systèmes sur l'aspect extérieur des bâtiments

5.5 Conduits de lumière naturelle

Forces :

- Solution d'éclairage sans frais de fonctionnement
- Possibilité d'intégrer une lampe pour le fonctionnement de nuit
- Design attractif

Faiblesses :

- Coûts de l'installation par un professionnel (installation délicate dans l'existant)
- Apports lumineux modestes
- Guidage acoustique et impact sonore
- Solution techniquement peu adaptée aux grandes longueurs de tube et aux courbures (pertes optiques importantes)

Opportunités :

- Augmentation du prix de l'électricité
- Développement de ces dispositifs sur le marché du neuf (domestique, tertiaire, industriel, bâtiment publics, etc.)

Menaces :

- Mauvaise rentabilité sur un marché de la construction qui favorise les solutions à coûts modérés
- Pérennité des industriels de ce secteur

6. Conditions de la transposition en France

A l'image des industriels des lampes, le marché de l'éclairage est international. Les initiatives individuelles de chaque pays en matière d'éclairage doivent être concertées puisque les grands développements se font à l'échelle mondiale.

En France, l'ADEME doit continuer à promouvoir, dans la lignée de l'action de l'AIE, un éclairage efficace et économe en stimulant l'innovation, la diffusion de nouvelles technologies et la compétitivité des entreprises.

Nous pouvons faire maintenant une synthèse de différentes initiatives qui peuvent favoriser le développement en France d'un éclairage efficace et économe dans le bâtiment.

6.1 Développer de nouveaux standards pour la qualité de l'éclairage

L'accompagnement de l'innovation dans le domaine des nouvelles solutions d'éclairage doit passer par la certification de la qualité de l'éclairage. En effet, les recommandations et les indicateurs utilisés en éclairage ont été définis il y a plusieurs dizaines d'années, avant l'apparition des lampes à semi-conducteurs (LED et OLED). Un certain nombre de travaux sont nécessaires pour redéfinir des « métriques » d'éclairage plus adaptées. Par exemple, l'indice de rendu des couleurs (IRC) et l'indice d'éblouissement (UGR) ne sont pas très bien corrélés à la perception visuelle de scènes éclairées par des LED blanches [14].

Dans le domaine du bâtiment, les organismes de certification doivent jouer un rôle moteur dans l'évaluation technologique des solutions d'éclairage. A l'heure actuelle, les luminaires sont certifiés en conformité électrique, mais ne sont pas évalués sur les aspects de confort visuel, et d'adaptation à la tâche. Le manque de certification sur cet aspect pénalise de manière très forte les nouvelles technologies d'éclairage. En effet, de nombreux produits « innovants » de mauvaise qualité sont disponibles à la vente et ont un impact négatif sur toute la filière. On peut citer par exemple de nombreuses lampes asiatiques « low-cost » (fluocompactes et LED) dont les performances sont médiocres et très erratiques.

Au-delà des économies d'énergie, de nombreux travaux ont démontré l'influence de l'éclairage sur la santé, le confort et le bien-être. Il est nécessaire de promouvoir la demande de solutions d'éclairage « saines ».

6.2 Sensibiliser les acteurs professionnels impliqués dans le choix des solutions d'éclairage

Le développement de solutions d'éclairage efficaces et économes passe par la formation de des professionnels aux problématiques de l'éclairage, et notamment aux notions de :

- coût global sur la durée de vie du bâtiment
- effets sur la santé

Les corps de métiers visés n'ont pas tous les mêmes intérêts selon qu'ils sont impliqués dans la construction ou l'exploitation des bâtiments, ou selon qu'ils sont utilisateurs ou investisseurs. On peut citer les architectes, les maîtres d'ouvrage, les électriciens et les éclairagistes. De plus, les comités hygiène et sécurité (CHSCT) vont jouer un rôle de plus en plus important pour évaluer la qualité de l'éclairage des lieux de travail.

6.3 Promouvoir l'innovation industrielle dans le domaine des nouvelles technologies de l'éclairage

Les programmes de R&D collaboratifs (recherche universitaire & industrie) doivent pouvoir être financés au niveau français ou européen pour aboutir à des démonstrateurs fonctionnels de solutions d'éclairage.

De même, des partenariats public-privé doivent être encouragés pour résoudre les problèmes fondamentaux, franchir les barrières technologiques actuelles et aboutir à des solutions viables.

Les domaines techniques à privilégier sont les suivants :

- **développement des lampes**

- augmentation de la durée de vie
- augmentation de l'efficacité lumineuse
- développement de sources à intensité variable
- amélioration des semiconducteurs pour les LED et OLED (conception des structures et process de fabrication)
- amélioration de l'encapsulation et du packaging des LED et OLED
- réduction du contenu en mercure des lampes fluorescentes
- amélioration des poudres luminescentes (phosphores)
- exploration des nouveaux concepts d'éclairage (éclairage à source étendue ou distribuée)

- **développement des ballasts et des systèmes de contrôles**

- développement de ballasts électroniques à basse consommation
- développement de méthodes de régulation intelligente (capteurs, algorithmes d'apprentissage)
- développement de protocoles de communication pour la communication entre les interfaces de commande, les capteurs et les luminaires
- développement de solutions compatibles avec le chauffage, la ventilation et l'air conditionné (HVAC)

- **développement de luminaires adaptés aux lampes à semi-conducteurs (LED et OLED)**

- amélioration des composants optiques (lentilles et réflecteurs)
- gestion efficace de la dissipation thermique
- développement de systèmes électroniques de pilotage
- développement de luminaires à distribution lumineuse variable

- **développement de dispositifs d'éclairage naturel innovants**

6.4. Informer le public sur les nouvelles technologies de l'éclairage

Le grand public est souvent réticent à adopter les nouvelles technologies de l'éclairage. Le prix d'achat élevé des lampes basse consommation est un frein important à la diffusion de cette technologie. Une fois encore, il faut informer le public sur le coût global de l'éclairage, en incluant la durée de vie et la consommation électrique.

6.5 Favoriser les usages des nouvelles technologies de l'éclairage par le grand public

Les développements industriels se centrent sur les performances techniques des produits. Mais la notion de performance doit être considérée au regard des différents paramètres d'usage. Les avancées technologiques qui ne rencontrent pas l'accord du public, qui ne permettent pas une appropriation par les usagers risquent de ne pas se développer.

Un certain nombre de couples peuvent être identifiés autour des notions de critères techniques de performance / usages. Ils ne doivent pas entrer en contradiction.

- Eclairage naturel / artificiel. La recherche de la performance technique ne doit pas se faire au détriment de l'éclairage naturel. Les besoins et désirs des usagers ne sont pas les mêmes lorsqu'ils sont chez eux et lorsqu'ils sont au travail. Dans les bâtiments tertiaires, l'éclairage artificiel est privilégié alors que les habitants dans leur logement recherchent davantage la lumière du jour.
- Eclairage naturel / éclairage artificiel / protections solaires. Peut-on raisonner de manière globale en prenant en compte non pas un poste lumineux ni même une pièce d'habitation mais un logement dans son ensemble ?
- Performances techniques / santé. La protection visuelle est un préalable incontournable.
- Performances techniques / confort visuel. Il va sans dire qu'un bon éclairage ne doit pas éblouir ni créer de contrastes trop importants.
- Performances techniques / confort d'ambiance. Dans certaines conditions et pour certaines situations, le confort d'ambiance procuré par l'éclairage est la qualité première que les usagers recherchent.
- Performances techniques / économies d'énergie. Les économies d'énergie ne sont pas synonymes d'économies financières. Le cas des lampes basse consommation en est l'exemple : elles permettent de réaliser des économies d'énergie mais elles coûtent plus cher que des lampes classiques.
- Performances techniques / coût, économies financières. Comme pour d'autres produits innovants, la diffusion des lampes basse consommation risque de se heurter à l'investissement financier que doivent faire les usagers. Le coût peut constituer un frein. Outre une information sur le coût global de l'éclairage (achat plus cher mais durée de vie des lampes plus longue et consommation électrique moindre), une information mettant l'accent sur les principes de développement durable peut aider à la diffusion des produits économes en énergie.
- Performances techniques, surchauffe / sécurité, protection. La sécurité des personnes est une condition sur laquelle on ne peut pas faire l'impasse. Les améliorations sur les luminaires équipés d'allogènes, qui dégageaient une chaleur excessive, doivent être poursuivies.
- Performances techniques / esthétique, aspect décoratif. Le développement d'équipements d'éclairage économes réalisés par des ingénieurs doit être accompagné par des professionnels

du design. Des produits jugés peu esthétiques par les usagers ne se vendront pas même s'ils ont de très bonnes qualités techniques.

- La gestion centralisée. L'éclairage n'est plus considéré comme le résultat de produits et d'équipements mais en termes de systèmes. D'une part, la gestion centralisée doit être d'une utilisation simple et laisser le libre choix des fonctions. D'autre part, elle doit permettre la combinaison de zones d'ambiances qui vont s'activer les unes les autres.
- La recherche sur l'ergonomie et l'usage des équipements est à poursuivre. Pour certains OLED (dans le cas de source lumineuse très étendue au dessus de la tête), on ne dispose pas d'éléments suffisants pour apprécier la perception qu'en auraient les usagers et l'inconfort potentiel.
- La recherche sur les lampes basse consommation avance. Pour faciliter la diffusion de ces équipements, en réduire le coût, la durée de vie des lampes a été limitée, ce qui en restreint beaucoup l'intérêt sur le plan des économies d'énergie. Le bilan serait à faire. Les travaux sur la forme, le poids et l'encombrement doivent être continués car ce sont des éléments qui ont constitué des freins à l'achat des ménages.
- Les adaptations des luminaires aux lampes basse consommation sont également à approfondir pour qu'ils constituent des équipements bien acceptés par les usagers.

6.6 Incitations financières pour la promotion de l'éclairage efficace et économe lors de la construction et de la rénovation

A l'image des dispositions prises par l'Etat pour encourager l'investissement dans les sources d'énergies propres (crédits d'impôts), un dispositif pourrait être mis en place pour inciter financièrement à la réalisation de bâtiments éclairés de manière optimale.

Références bibliographiques :

- [1] Light's Labour's Lost – Policies for Energy-efficient Lighting, Rapport de l'Agence Internationale de l'Energie, 2007
- [2] Sources de lumière et éclairage : de la technologie aux économies d'énergie, Georges Zissis, in Nouvelles Technologies de l'énergie 4 : gestion de l'énergie et efficacité énergétique, Jean-Claude Sabonnadière, éd. Hermès Lavoisier, 2007
- [3] LEDs shine brighter but cost concerns remain, Susan Curtis, Optics and Laser Europe, July/August 2007-09-25
- [4] Conduit de lumière naturelle SOLARSPOT, Avis Technique 6/06-1672, 2006
- [5] New Lighting Technologies BNDL 101, UK Market Transformation Programme, 14 August 2007
- [6] Vision 2020 : The Lighting Technology Roadmap, US Department of Energy, Office of Building Technology, 2003
- [7] Energy Saving & Environment Protecting Effect of LVD Induction Electrodeless Fluorescent Lamps , Yuming Chen, Qi Long, Dahua Chen, Chunlan Zuo, 6th international conference on energy efficient lighting, Shangai, 2005
- [8] Fiber illumination : technology leapforges efficiency barriers, Hassaun A. Jones-Bey, Laser Focus World, July 2007-09-25
- [9] Solid-State Lighting : A Systems Engineering Approach, Ian Ashdown, Optics & Photonics News, January 2007
- [10] Organic Technology for Solid State Lighting, Paul E. Burrows, American Physical Society Conference, 2007
- [11] Lighting systems in Smart Energy Efficient Buildings. A state-of-the-art. Sintef Report STF22 A 04 504, Barbara Matusiak, 2004
- [12] Advanced Lighting Guidelines, David E. Weigand, New Building Institute Inc. report, 2003
- [13] Beyond the Vacuum Tube, Lighting Solutions for the 21st Century, Jerry Simmons, Michael Coltrin, Jeffrey Tsao, optics & Photonics News, June 2007
- [14] Déclaration de la CIE sur les économies d'énergie, www.cie.co.at, 20 août 2007