



HIGH PERFORMANCE INTEGRATED LIGHTING SYSTEMS (GREENLIGHTING)

DISPOSITIFS D'ÉCLAIRAGE INTEGRES A HAUTE PERFORMANCE ENERGETIQUE

Rapport annuel 2006

| | |
|----------------------------------|--|
| Auteur(s) | Prof. Dr J-L Scartezzini, Dr N. Morel, F. Linhart, F. Faivre |
| Institution mandatée | Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment |
| Adresse | EPFL, Bâtiment LE, CH-1015 <u>Lausanne</u> |
| Téléphone, E-mail, site Internet | 021 / 693 4545, leso@epfl.ch , http://leso.epfl.ch |
| N° contrat OFEN | 151 609 |
| Durée prévue du projet (de - à) | 1 ^{er} janvier 2006 – 31 décembre 2007 |

RÉSUMÉ

L'éclairage électrique est responsable d'une part importante de la consommation d'électricité des bâtiments, plus particulièrement dans les secteurs administratifs et tertiaires. L'intégration optimale de dispositifs d'éclairage naturel et artificiel, basée sur **l'utilisation de sources lumineuses et de composants optique à haut rendement**, permet d'envisager des stratégies d'éclairage plus performantes sur le plan énergétique. Les progrès technologiques considérables réalisés dans ce domaine, tant en matière de recherche (dispositifs anodiques d'éclairage naturel, gestion bio-mimétique des installations techniques, etc.) que de développements technologiques (sources lumineuses à haute efficacité, luminaires à haut rendement, etc.), sont autant d'arguments en cette faveur.

Le projet vise ainsi à concevoir et à mettre en œuvre un **dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel** susceptible d'atteindre une consommation spécifique effective d'électricité inférieure à 3 W/m². Il est envisagé pour cela de faire appel à des lampes à décharge de nouvelle génération (halogénures métalliques, tubes fluorescents à ballasts électroniques), à des luminaires à haut rendement (optique non-imageante, matériaux à haut pouvoir de réflexion), ainsi qu'à des dispositifs avancés de contrôle de l'éclairage artificiel (réseau de neurones artificiels, algorithme génétique). La comparaison des performances lumineuses de ce dispositif avec celles d'une installation conventionnelle d'éclairage électrique, équipant un local de bureau identique, permettra de procéder à **une validation expérimentale « in-situ »** de ce dernier.

L'étude prospective des possibilités offertes en matière d'éclairage intérieur par de nouvelles technologies d'éclairage, telles que les diodes électroluminescentes (LED et/ou OLED) et les luminaires conçus à partir de l'optique non-imageante (Micro DownLight), viendra compléter ce projet. Ces activités constituent la contribution suisse à l'IEA **ECBCS Annex 45 « Energy Efficient Electric Lighting of Buildings »** : elles s'insèrent plus particulièrement dans le cadre de la SubTask B « Innovative Technical Solutions » de ce programme de recherche placé sous la responsabilité de l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA).

Buts du projet

Le projet vise à tirer profit des connaissances scientifiques acquises au Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment (LESO-PB) de l'EPFL dans le domaine des dispositifs d'éclairage naturel (SCARTEZZINI and COURRET, 2002) et des stratégies avancées de gestion d'éclairage artificiel (GUILLEMIN and MOREL, 2001). Celles-ci ont fait l'objet d'étroites collaborations avec des partenaires industriels du secteur de la construction (Felix Construction, Flabeg/Pilkinton, Baumann-Hüppe) et de l'éclairage (Philips Lighting, Regent Lighting), matérialisées par un certain nombre de publications référencées (PAGE et al., 2006) (ANDERSEN M. et al., 2001) (SCARTEZZINI et al., 2000).

Il s'agit ainsi pour ce faire de réaliser les étapes suivantes constituant l'objectif principal du projet (A. « High Performance Lighting Systems ») :

- concevoir et réaliser un **dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel**, approprié à des bâtiments administratifs et tertiaires;
- **optimiser les performances énergétiques** de ce dispositif en faisant appel à de nouvelles sources (lampes à décharge, tubes fluorescents à ballasts électroniques, etc.) et à des réflecteurs à haut rendement (optique non-imageante, revêtement à haut pouvoir de réflexion, etc.);
- **comparer les performances globales** de ce dispositif (économies d'énergie, confort visuel) avec celle d'une installation conventionnelle d'éclairage artificiel équipant un même local de bureau.

L'étude prospective des possibilités offertes en matière d'éclairage intérieur par de nouvelles technologies d'éclairage (B. « Future Lighting Technologies » : diodes électroluminescentes, luminaires basés sur l'optique non-imageante) viendra compléter ce projet (SCARTEZZINI J.-L., 2003). Ces travaux constituent la contribution suisse à l'IEA **ECBCS Annex 45 « Energy Efficient Electric Lighting of Buildings »** et s'insèrent plus particulièrement dans le cadre de la SubTask B « Innovative Technical Solutions » de ce programme de recherche international.

Travaux effectués et résultats acquis

Les résultats suivants ont été obtenus au cours de l'année écoulée en ce qui concerne les deux objectifs du projet :

A. « High Performance Lighting Systems »

Afin de concilier les exigences liées aux impératifs d'économies d'énergie et d'ergonomie visuelle, un **cahier des charges du dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel**, approprié à des bâtiments d'usage administratif et tertiaire, a été établi. Celui-ci prend à la fois en compte les principaux critères d'un projet d'éclairage (éclairagements requis, rapport de luminances, puissance spécifique, etc.), les valeurs quantitatives et qualitatives associées, ainsi que les normes et recommandations professionnelles relatives à ces dernières (cf. Table 1).

L'optique non-imageante, sur laquelle sont basés les développements de dispositifs anidoliques, a été préférée à toute autre stratégie d'éclairage naturel en raison de ses performances lumineuses élevées (SCARTEZZINI and COURRET, 2002). L'analyse de différents types de sources artificielles et de luminaires à haut rendement a été entreprise en parallèle. Celle-ci s'est concentrée, pour les mêmes raisons, sur les lampes à décharge, qui comprennent les lampes à arc et les tubes fluorescents. Les sources artificielles considérées incluent :

- des lampes à halogénures métalliques de 35 et 70 Watts (Philips CDM-R);
- des tubes fluorescents de faible diamètre de 14 et 13 Watts (Osram T8, T5 et T2);
- des tubes fluorescents extrêmement compacts de 4 et 7 Watts (IKEA Sparsam);
- des lampes à sources LED munies d'un culot à vis (PAR 30).

| Grandeur | Valeur | Référence |
|---|--|--------------------------------------|
| Eclairage du plan de travail | $E_m : 300 - 500 \text{ lx}$ | Commentaire Ordonnance 3, Article 15 |
| Eclairage des zones de passage | 20% de l'éclairage du plan de travail, au minimum 100 lx. | SN 150911 |
| Luminance dans le champ visuel | $0.3 \leq L_A / L_U \leq 3 ; 0.1 \leq L_A / L_G \leq 10$ | Commentaire Ordonnance 3, Article 15 |
| Facteur de réflexion moyen | Sol : $\rho = 0.3$ Plafond : $\rho = 0.7$ Paroi : $0.4 \leq \rho \leq 0.8$ | SN 150911 |
| Angle à masquer pour les luminaires | kcd/m ² angle min. de défilement 20 à < 50 15° 50 à < 500 20° ≥ 500 30° | SN EN 12464-1 |
| Rendement optique des luminaires | > 0.8 | Recommandation LESO |
| Degré de qualité du rendu des couleurs | 85 - 100 : Excellent 70 - 84 : Bon 40 - 69 : Satisfaisant < 40 : Pour conditions spéciales | ASE 8912-1.1977 |
| Température de couleur | Cf. diagramme de Kruithof. | Ravel, Eléments d'éclairagisme |
| Reflets : limitation | Luminance moyenne : 200 cd/m ² | Commentaire Ordonnance 3, Article 23 |
| Facteur lumière du jour au plan de travail | ≥ 5 % | Recommandation LESO |
| Facteur d'uniformité sur le plan de travail | $E_m \pm 25\%$ | ASE 8905.1974 |
| Eclairage : puissance spécifique LIMITE | 7.5 - 10 W/m ² | SIA 380/4 |
| Eclairage : puissance spécifique CIBLE | 3 W/m ² | Recommandation LESO |
| Efficacité lumineuse des sources | > 60 lm/W | Recommandation LESO |
| Contrôle automatique | Asservi présence et luminance. Variateur continu d'intensité pour les sources. | Ravel, Eléments d'éclairagisme |
| Vieillessement et encrassement | Multiplier par 1.25 les éclairages nominaux (surface de travail). | ASE 8912-1.1977 |

Table 1 : Cahier des charges du dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel

En vue du **choix optimal des sources de lumière artificielle**, il a été procédé à la mesure de leur efficacité lumineuse en prenant en compte leurs équipements auxiliaires (ballasts et dispositifs d'amorçage par exemple). Une nouvelle méthode de mesure du flux lumineux (« Absolute Integrating-Sphere Method »), conçue initialement par le National Institute of Standards and Technology (NIST) aux USA (HOVILA et al., 2004), a été utilisée pour ce faire. La Figure 2 illustre la sphère intégratrice de 1.5 mètre de diamètre avec laquelle les flux lumineux des différentes sources artificielles ont été précisément déterminés; cette opération a été complétée par la mesure de la consommation électrique des sources munies de leur équipement auxiliaire.

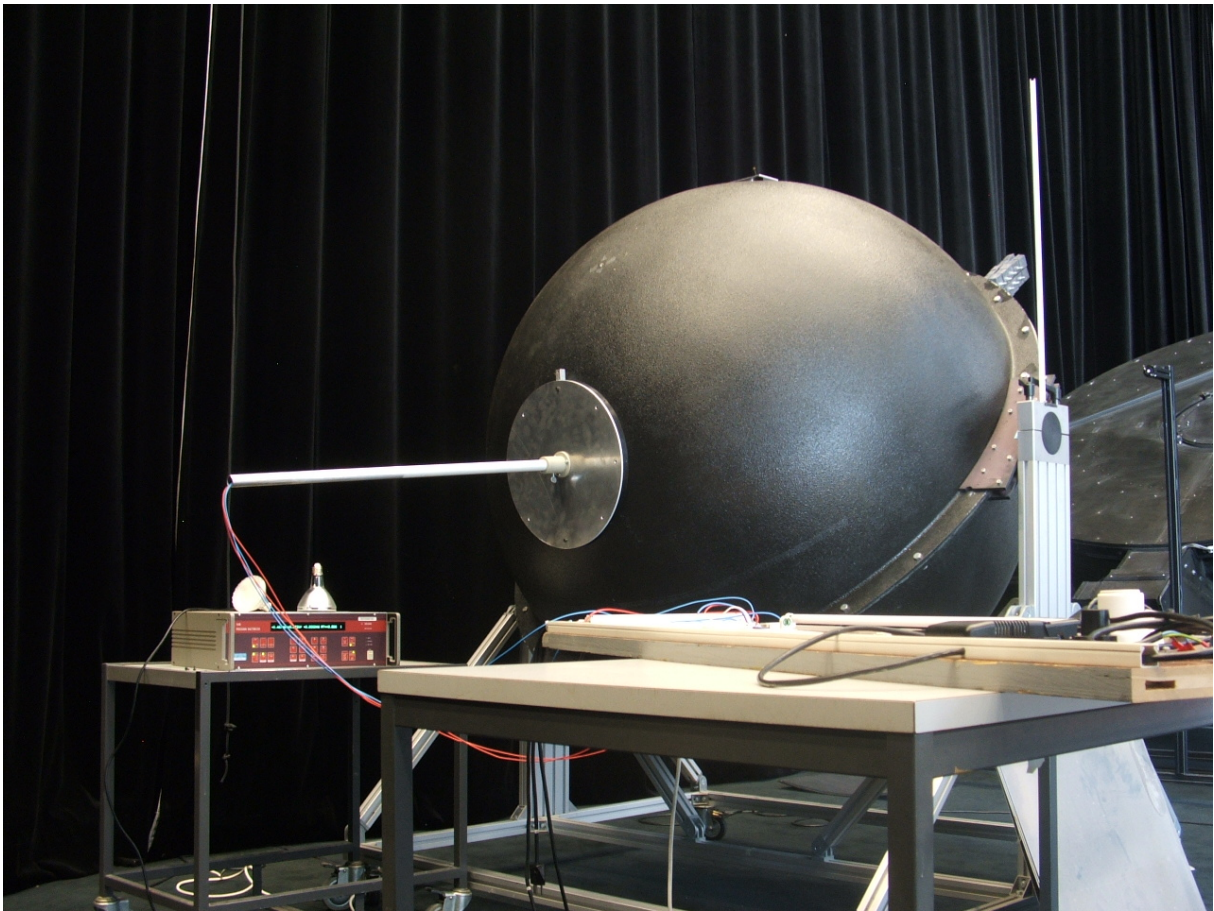


Figure 2 : Vue de la sphère intégratrice de 1.5 mètre de diamètre du LESO-PB/EPFL

L'analyse des sources de lumière artificielle a été étendue à **l'étude de prototypes de luminaires à haut rendement** : un appareil d'éclairage de type Micro DownLight, permettant de mettre en œuvre un éclairage à la tâche (Task Lighting), a été fourni par l'un des partenaires du projet (Regent Lighting) à des fins d'évaluation.

L'intégration de ces différents composants d'éclairage naturel et artificiel sera menée à bien par l'intermédiaire de la simulation numérique. Une familiarisation avec le **logiciel d'éclairage Relux**, qui fait lui-même appel au programme de simulation Radiance, est en cours. Ce dernier permet à la fois de concevoir des dispositifs d'éclairage naturel et artificiel (images de synthèse) et de déterminer leur prestations en matière d'éclairage (éclaircissements, rapport de luminances, etc.).

B. "Future Lighting Technologies"

L'étude des **perspectives futures offertes par de nouvelles technologies d'éclairage** a été entreprise en collaboration avec les partenaires de l'IEA ECBCS Annex 45. Plusieurs types de sources lumineuses ont été considérées dans ce cadre, et en particulier :

- les diodes électroluminescentes blanches de dernière génération (LUXEON White V LED);
- les lampes fluorescentes de forme plane (PLANON Xenon Excimer Flat);
- les diodes électroluminescentes organiques (OLED).

Aucune de ces nouvelles sources n'est actuellement mise en œuvre dans le cadre de l'éclairage intérieur de bâtiments : seuls des démonstrations d'éclairage extérieur (LED de couleur ambre en remplacement de lampes à décharge au sodium basse pression) ont été effectuées. Un certain nombre d'échantillons de ces nouvelles sources a toutefois été acquis en vue de l'évaluation de leur performance lumineuse (OSRAM, 2006) (LUMILED, 2006) (HUNG et al, 2002).

Collaboration nationale

Une collaboration a été établie sur le plan national avec différents laboratoires de recherche, ainsi qu'avec divers partenaires industriels. C'est le cas, en particulier, des institutions suivantes :

- **Regent Lighting SA** pour ce qui concerne la mise en œuvre de luminaires d'éclairage intérieur performants (Micro DownLight);
- **Philips Lighting SA** pour ce qui concerne la fabrication industrielle et la diffusion commerciale de diodes électroluminescentes (LumiLED)
- **Laboratoire d'Opto-électronique des Matériaux Moléculaires (LOMM)** de l'EPFL en ce qui concerne la recherche et le développement de diodes électroluminescentes organiques (OLED);
- **Relux Informatik AG** pour ce qui concerne la mise en œuvre du logiciel de simulation d'éclairage Relux.

Des échanges d'informations ont lieu, par ailleurs, avec le Dr G. Courret (ancien doctorant au LESO-PB/EPFL), responsable d'un projet portant sur l'étude et le développement d'une nouvelle source de lumière artificielle à haute efficacité lumineuse utilisant un gaz de souffre.

Collaboration internationale

La collaboration internationale dans le cadre du projet se limite à une participation à l'**IEA ECBCS Annex 45 «Energy Efficient Electric Lighting of Buildings »** : celle-ci est toutefois très modeste en raison des faibles moyens financiers mis à disposition par l'Office Fédéral de l'Energie pour cette participation.

Les objectifs de l'Annex 45, dont le déroulement s'étend sur la période 2005-2008, sont les suivants :

- encourager l'utilisation de technologies d'éclairage efficaces du point de vue énergétique;
- évaluer et documenter les performances des technologies actuelles et futures d'éclairage;
- identifier d'éventuelles barrières empêchant la mise en œuvre de ces technologies et proposer des stratégies nouvelles en vue de contourner ces dernières.

La Figure 3 illustre l'organisation adoptée par l'Annex 45 pour atteindre ces différents objectifs.

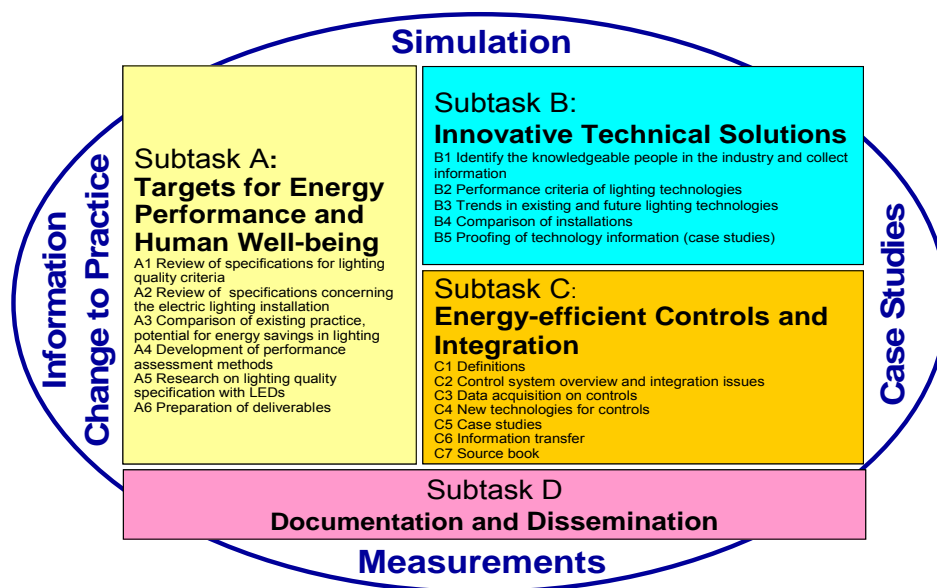


Figure 3 : Organisation de l'IEA ECBCS Annex 45 «Energy Efficient Electric Lighting of Buildings »

La contribution suisse à l'Annex 45 durant l'année écoulée se présente comme suit :

- SubTask B : Présentation des premiers résultats du projet GreenLighting par le Dr N. Morel dans le cadre du 4th Expert Meeting de Ottawa, Canada (5-6 septembre 2006);
- SubTask C : Prise en charge du projet C3 « Case studies on existing and innovative lighting control strategies ».

Les partenaires de l'Annex 45 ont ainsi fait part de leur intérêt en ce qui concerne les développements originaux du LESO-PB/EPFL dans le domaine des dispositifs anidoliques d'éclairage naturel (SCARTEZZINI and COURRET, 2002). Ils pourront bénéficier, par ailleurs, de l'expérience acquise dans le domaine des stratégies avancées de gestion de l'éclairage électrique et des protections solaires (GUILLEMIN and MOREL, 2001). Une étude de cas, effectuée dans le cadre du projet Adhoco financé par la CTI et issu de la thèse de doctorat du Dr A. Guillemin, sera ainsi mise au bénéfice de l'Annex 45.

Évaluation de l'année 2006 et perspectives pour 2007

L'exécution du projet est conforme au plan de travail proposé lors de la soumission de la requête à l'Office Fédéral de l'Energie. Les impératifs liés à l'engagement de collaborateurs scientifiques (recherche d'un candidat de valeur) ont toutefois contribué à :

- retarder le démarrage du projet par rapport au calendrier initial (engagement d'un premier collaborateur scientifique, ingénieur-électricien) ;
- différer son exécution d'un semestre suite à l'engagement d'un second collaborateur scientifique (démission du premier collaborateur en faveur d'un grand projet de construction).

L'année sous rapport a toutefois permis de consolider les bases scientifiques du projet, en cernant de façon précise les performances effectives des nouvelles sources d'éclairage artificiel. L'année 2007 permettra de poursuivre la réalisation du projet par le biais de nouvelles étapes d'exécution. Parmi ces dernières, on mentionnera :

- la conception et l'optimisation du **dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel**;
- la **réalisation en vraie grandeur** et la mise en œuvre de ce dernier sur l'une des unités d'exploitation du bâtiment expérimental LESO (local de bureau).

Références principales

PAGE J., SCARTEZZINI J.-L., KAEMPF J. AND MOREL N., **On-site performance of electrochromic glazing coupled to an anidolic daylighting system**, *Solar Energy* (in press), Elsevier Science (UK), 2006.

BERNER D., HOULI H. and L. ZUPPIROLI, **Insights into OLED functioning through coordinated experimental measurements and numerical model simulations**, *Phys. Sta. Sol. (a)*, 202, N° 1, pp. 9-36, 2005.

HOVILA J., TOIVANEN P. and IKONEN E., **Realization of the unit of luminous flux at the HUT using the absolute integrating-sphere method**, *Metrologia* 41, pp. 407-413, 2004.

SCARTEZZINI J.-L., **Advances in Daylighting and Artificial Lighting, Keynote Presentation**, *Proc. of 2nd International Building Physics Conference*, September 14.-18., Leuven (Belgium), 2003.

SCARTEZZINI J.-L. and COURRET G., **Anidolic daylighting systems**, *Solar Energy*, 73(2), pp. 123-135, Elsevier Science (UK), 2002.

HUNG L.S., CHEN C.H., **Recent progress of molecular organic électroluminescente materials and devices**, *Materials Science and Engineering R* 39, pp. 143-222, 2002.

GUILLEMIN A. and MOREL N., **An innovative lighting controller integrated in a self-adaptive building control system**, *Energy and Building*, 33(5), pp. 447-487, Elsevier Science, London (UK), 2001.

ANDERSEN M., MICHEL L., ROECKER C. and SCARTEZZINI J.-L., **Experimental assessment of bi-directional transmission distribution functions using digital imaging techniques**, *Energy and Building*, 33(5), pp. 417-431, 2001.

SCARTEZZINI J.-L., ANDERSEN M., MICHEL L., ROECKER C. (EPFL); BAUMANN H.-P., BRUKHORST R., COLDEWEY H. (Baumann-Hüppe A.G.),. **Bidirectional goniophotometer for the assessment of the luminous properties of fenestration systems**, *Scientific Report*, p. 80, Lausanne, 2000.

Philips Lighting, **The Lighting Site-Europe**, www.eur.lighting.philips.com, 2006.

Regent Lighting, **The Regent Lighting World**, www.regent.ch, 2006.

OSRAM Lighting, <http://www.osram.com>, 2006.

LUMILEDS Lighting, <http://www.lumileds.com>, 2006.