



HIGH PERFORMANCE INTEGRATED LIGHTING SYSTEMS (GREENLIGHTING)

DISPOSITIFS D'ÉCLAIRAGE INTEGRES A HAUTE PERFORMANCE ENERGETIQUE

Rapport annuel 2008

Auteur(s)	Prof. Dr J-L Scartezzini, F. Linhart, A. Gabrani
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 – 30 juin 2009

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 anidoliques 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 puissance spécifique effective inférieure à 3 W/m^2 . 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, doit permettre 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 partie de l'optique non-imageante vient 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). 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., 2007) (ANDERSEN M. et al., 2001) (SCARTEZZINI et al., 2000).

Il s'agit pour ce faire de réaliser les principales étapes suivantes de ce projet de recherche :

- **concevoir et réaliser un dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel**, approprié à des bâtiments administratifs et tertiaires;
- **optimiser les performances énergétiques et lumineuses 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 celles 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 (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 principaux objectifs du projet :

A. "High Performance Lighting Systems "

L'étude de différentes sources et luminaires d'éclairage artificiel, compatibles avec les impératifs d'économies d'énergie et d'ergonomie visuelle, a été menée sur la base d'un cahier des charges du dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel (cf. Rapport Annuel 2006 & 2007). Celle-ci s'est principalement concentrée sur les lampes à décharge (lampes à arc et tubes fluorescents), qui représentent à ce jour les sources de plus haute efficacité lumineuse disponibles sur le marché, telles que :

- 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 lampes fluorescentes compactes de 4 et 7 Watts (IKEA Sparsam);
- des lampes à sources électroluminescentes munies d'un culot à vis (LED PAR 30).

D'autres sources électroluminescentes, apparues récemment sur le marché (Philips MASTER LED), sont venues compléter cette liste. L'efficacité lumineuse de ces nouvelles sources artificielles, basées sur des diodes photoluminescentes LumiLed LUXEON™ Rebel (7 Watts, 230 V), atteint une valeur de 30 à 35 Lumen/Watt (cf. Rapport annuel 2007). Leur forme géométrique, ainsi que celui de leur culot de type E27 et/ou GU10 (cf. Figure 1), permet toutefois d'entrevoir leur utilisation en vue de la réhabilitation d'installations d'éclairage électrique à lampes incandescentes et/ou halogènes (80% de réduction de la consommation d'énergie en cas de remplacement de lampes à filament de 35 à 40 Watts).



Figure 1 : Lampes à diodes photoluminescentes de nouvelle génération (Philips MASTER LED lamps, 7 Watts/230 V, www.lighting.philips.com) destinées à la réhabilitation d'installations d'éclairage électrique munies de lampes incandescentes (35 – 40 Watts).

Les luminaires considérés dans le cadre de ce projet (cf. Figure 2) se distinguent par leurs rendements optiques élevés : des appareils de type Regent Lip (rendement optique de 69%), ainsi que **des luminaires de type Tulux Zen 3 (rendement optique de 96%), ont ainsi été mis en service dans l'un des locaux du bâtiment solaire expérimental LESO** (cf. Figure 3) en vue de la comparaison de leurs performances globales (performances énergétiques et lumineuses). Le second appareil est pourvu d'un réflecteur de forme non-imageante (WELFORD and WINSTON, 1989), revêtu d'un matériau en aluminium post-anodisé à fort pouvoir réfléchissant, à la base de ses hautes performances lumineuses.

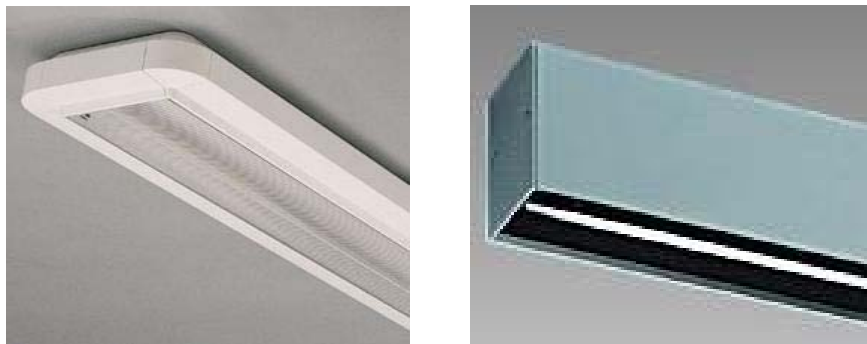


Figure 2 : Luminaires artificiels à haut rendement optique : (Gauche) Regent Lip (Regent Lighting, 2007), (Droite) Tulux Zen 3 (Tulux Licht/Lumière, 2007).

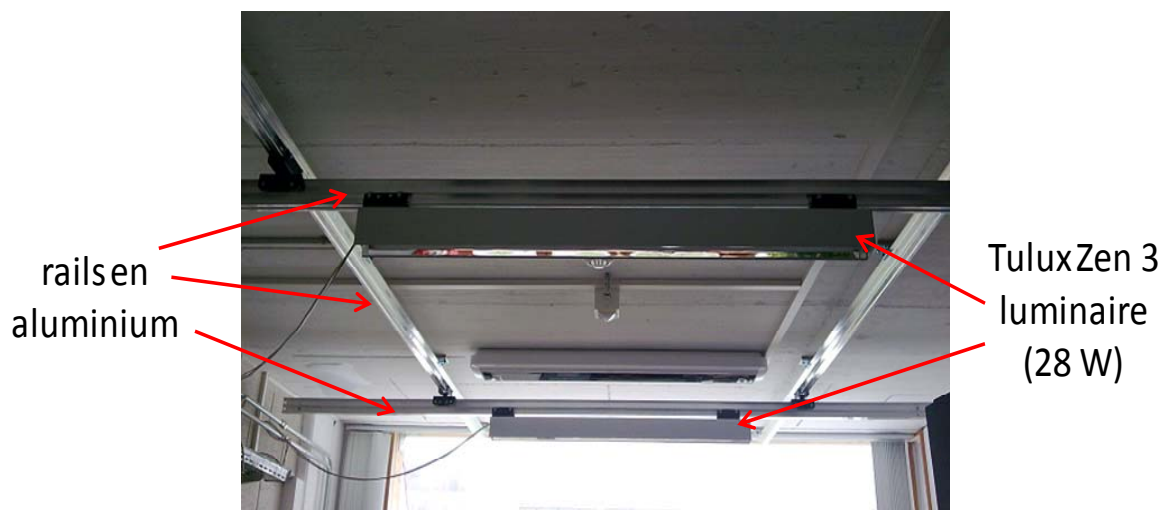


Figure 3 : Dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel mis en service dans l'un des locaux du bâtiment expérimental LESO (luminaires disposés sur des rails à chariot mobile en vue d'un suivi expérimental en vraie grandeur).

Ces installations d'éclairage électrique fournissent des prestations lumineuses (début et fin de journée, période hivernale), qui complètent celles provenant des dispositifs anodoliques intégrés en façade (cf. Figure 3). Le local de bureau, situé au rez-de-chaussée du bâtiment expérimental LESO, se distingue, par ailleurs, par d'excellentes conditions d'éclairage naturel (facteur de lumière du jour compris entre 2% et 6.5%).

Une première campagne de mesure des performances globales des installations d'éclairage artificiel a été réalisée dans la phase initiale du projet (cf. Rapport Annuel 2006). Celle-ci a porté sur plus de 15 locaux de bureau du bâtiment expérimental LESO, munis d'appareils d'éclairage direct (cf. Figure 2, Gauche) et indirect (lampadaires à tube fluorescent compact). Des puissances électriques spécifiques (« Lighting Power Density »), comprises entre 4.5 W/m² (« Best Practice ») et 13.7 W/m² (« Task Lighting w/ incandescent Light Bulbs »), ont ainsi été observées (cf. Figure 4).

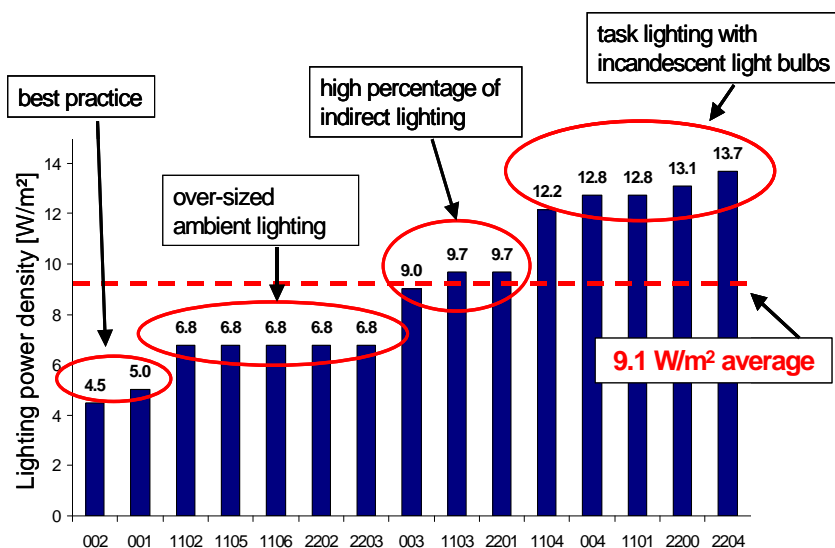


Figure 4 : Puissances électriques spécifiques des dispositifs d'éclairage artificiel actuels équipant les locaux du bâtiment solaire expérimental LESO (15 locaux de bureau)

Les locaux de bureau, caractérisés par des puissances spécifiques de 4.5 et 5 W/m² (« Best Practice »), munis de deux luminaires Regent Lip 36 W (plus une lampe fluorescente compacte Philips GENIE 8W), ont servis de base au développement de variantes d'éclairage artificiel plus efficaces. La Figure 5 illustre l'éclairage horizontal sur le plan de travail, obtenu par l'intermédiaire de deux luminaires Tulux Zen 3, munis chacun d'un tube fluorescent de 28 W et 21 W : la puissance spécifique respective de ces deux variantes est de 3.9 et 3 W/m².

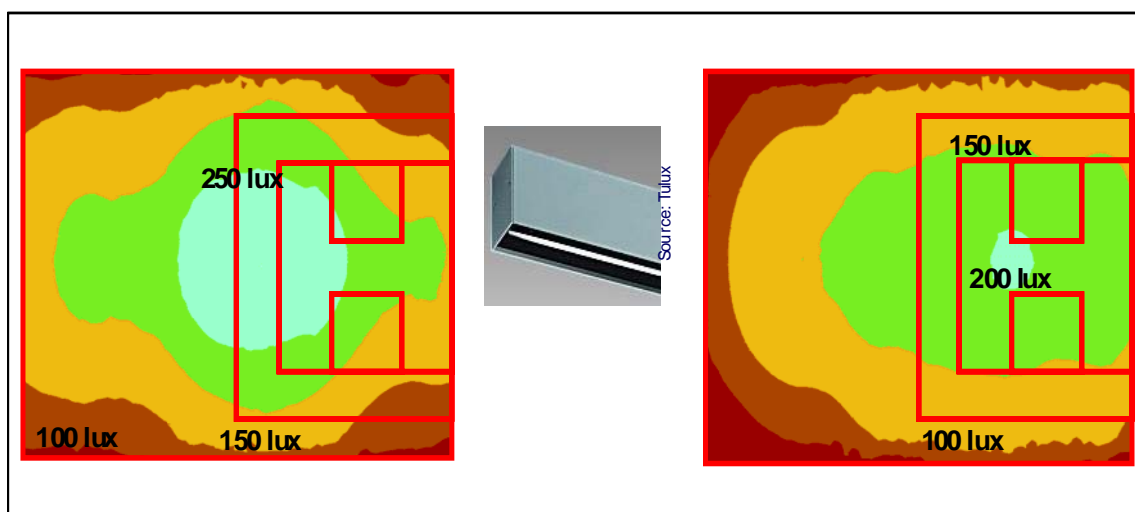


Figure 5 : Eclairage horizontal sur le plan de travail obtenu grâce à des luminaires artificiels à haut rendement lumineux (Tulux Zen 3, rendement optique de 96%) : (Gauche) Mode direct, deux luminaires montés en plafond, mono tube de 28 W ; (Droite) Mode direct, deux luminaires montés en plafond, mono tube de 21 W.

L'évaluation « in situ », après occupation des locaux, des prestations lumineuses offertes par ces luminaires à haut rendement (« Post-Occupancy Evaluation ») a été menée à bien sur plus de 20 sujets d'âge et d'origine diverses. Elle complète l'étude de satisfaction des usagers du bâtiment expérimental LESO, effectuée au préalable : celle-ci a démontré qu'un degré de satisfaction extrêmement élevé (supérieur à 85%) est atteint dans les locaux munis de dispositifs d'éclairage actuels (Regent Lip 36 W) pour des prestations en éclairage comparables (cf. Figure 6).

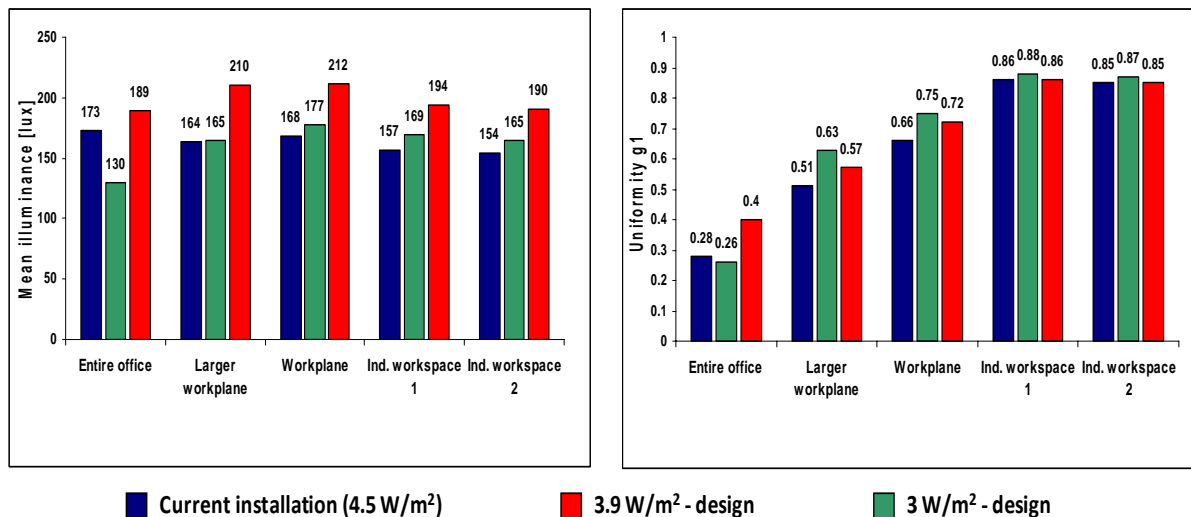


Figure 6 : Comparaison des prestations lumineuses (éclairage moyen sur le plan de travail, uniformité de l'éclairage) offertes par les dispositifs actuels d'éclairage artificiel (« Best practice », Regent Lip 36 W, LPD 4.5 W/m²) et des luminaires à haut rendement (Tulux Zen 3/ 21 W/28 W, LPD 3 et 3.9 W/m²).

Cette étude expérimentale (POE) a été réalisée au cours de plusieurs nuits des mois d'Avril et Mai 2008 dans un local de bureau, muni alternativement des dispositifs d'éclairage actuels et de luminaires à haut rendement (cf. Figure 3). Une évaluation subjective du confort visuel au poste de travail a été réalisée par l'intermédiaire de questionnaires. Celle-ci a été complétée par une évaluation des performances visuelles à l'écran d'ordinateur, obtenue au moyen d'anneaux de Landolt (« Freiburg Visual Acuity & Contrast Test »). La Figure 7 illustre les résultats de cette étude, indiquant une préférence des sujets pour les luminaires à haut rendement (Tulux Zen 3/ 28 W, LPD 3.9 W/m²) et l'obtention de performances visuelles comparables à l'écran (identifications correctes, seuil de détection).

L'intégration optimale de dispositifs d'éclairage naturel et artificiel, réalisée en vraie grandeur dans l'un des locaux du bâtiment expérimental LESO, s'avère donc particulièrement concluante. Une réduction de la puissance électrique spécifique (inférieure à 4 W/m²) par rapport aux installations actuelles a pu être atteinte, tout en délivrant des prestations en éclairage parfaitement acceptables par les usagers. Les résultats de simulation numérique présentés à la Figure 6 suggèrent, par ailleurs, **qu'une réduction de la puissance spécifique jusqu'à 3 W/m² peut être atteinte, sans porter préjudice aux prestations lumineuses offertes aux usagers.** Il faut relever toutefois que les valeurs d'éclairage sur le plan de travail (160 à 210 Lux), inférieures aux normes actuellement en vigueur (300 à 500 Lux), ne peuvent être envisagées qu'en présence d'un flux important de lumière naturelle (dispositifs anodiques en façade).

Ces résultats ont fait l'objet de plusieurs publications scientifiques dans des conférences nationale et internationale à comité de lecture (EuroSun 2008, Status-Seminar 2008). Un article sur invitation a été soumis à la revue internationale Solar Energy dans le cadre du Special Issue CISBAT 2007 « Renewables in a Changing Climate/Innovation in the Built Environment ».

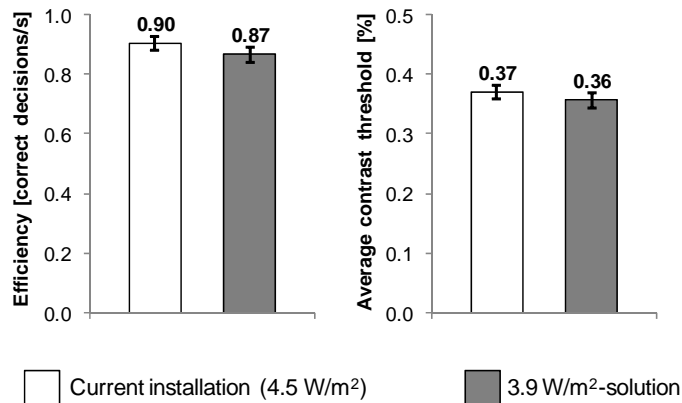
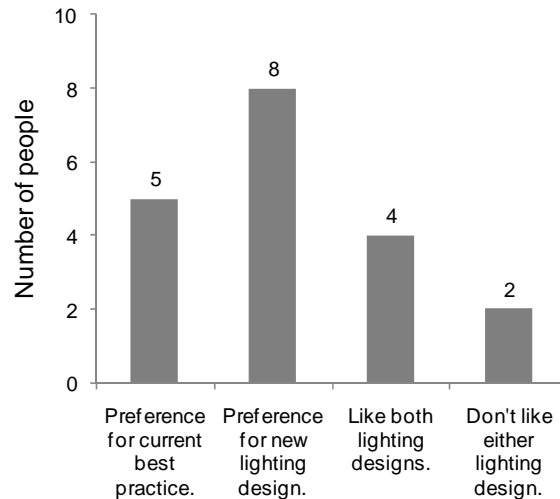


Figure 7 : Evaluation subjective du confort visuel (Haut) et performance visuelle à l'écran d'ordinateur (Bas) observés avec des luminaires à haut rendement (Tulux Zen 3/ 28 W, LPD 3.9 W/m²) et les dispositifs d'éclairage actuels (Regent Lip 36 W).

B. "Future Lighting Technologies"

L'étude des perspectives futures, offertes par de nouvelles technologies d'éclairage, a été poursuivie en collaboration avec les partenaires de l'IEA ECBCS Annex 45 « Energy Efficient Electric Lighting of Buildings ». Plusieurs types de sources lumineuses ont été considérées dans ce cadre, et en particulier :

- les diodes électroluminescentes blanches (LUXEON White V LED);
- les sources fluorescentes planes (PLANON Xenon Excimer Flat);
- les diodes électroluminescentes organiques (OLED).

Un certain nombre de nouvelles sources artificielles a été acquis en vue de l'évaluation de leur performance lumineuse (OSRAM, 2007) (LUMILED, 2007) (HUNG et al, 2002) (BERNER, 2005). L'étude de **solutions intégrées d'éclairage artificiel et naturel pour des locaux de bureau, basées sur des diodes électroluminescentes (LED)**, a été menée à bien par l'intermédiaire de simulations numériques (GABRANI, 2007). La Figure 8 illustre les prestations lumineuses (éclairage sur le plan de travail), obtenues à partir de sources LED d'efficacité lumineuse supposée égale à 80 Lumens/Watt (sources LED non disponibles actuellement sur le marché). La puissance spécifique du dispositif est égale à 3.3 W/m²; les prestations lumineuses sont comparables à celles du dispositif d'éclairage à haut rendement lumineux (Tulux Zen 3/ 21 W).

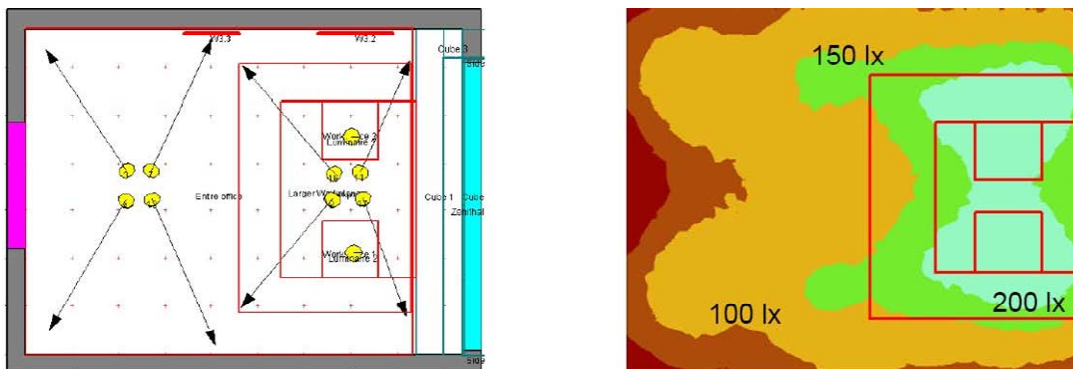


Figure 8 : Dispositifs d'éclairage artificiel à diodes photoluminescentes (sources LED) intégré avec des systèmes anidoliques d'éclairage naturel ; (Gauche) Disposition et orientation des sources LED en plafond, (Droite) Eclairage horizontal obtenu sur le plan de travail (efficacité lumineuse hypothétique de 80 Lumens/Watt).

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 entreprises et institutions suivantes :

- **Regent Lighting SA** pour ce qui concerne la mise en œuvre de luminaires d'éclairage artificiel performants (Regent Lip);
- **Tulux Licht/Lumière SA** en ce qui concerne la mise en œuvre de luminaires d'éclairage artificiel à haut rendement (Tulux Zen 3) ;
- **Philips Lighting SA** pour ce qui concerne la fabrication industrielle et la diffusion commerciale de diodes électroluminescentes (Luxeon, Master LED)
- **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 Vision.
- **OSRAM AG** pour ce qui concerne la gestion et le contrôle des luminaires (technologie DALI).

Des échanges d'informations ont lieu, par ailleurs, avec le Dr G. Courret de la HES-SO/EIVD (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 soufre. Une coordination a lieu, par ailleurs, avec ce dernier en ce qui concerne la participation et la contribution de la Suisse aux tâches de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA).

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 à cet usage par l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN).

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 8 illustre l'organisation adoptée par l'Annex 45 pour atteindre ces différents objectifs.

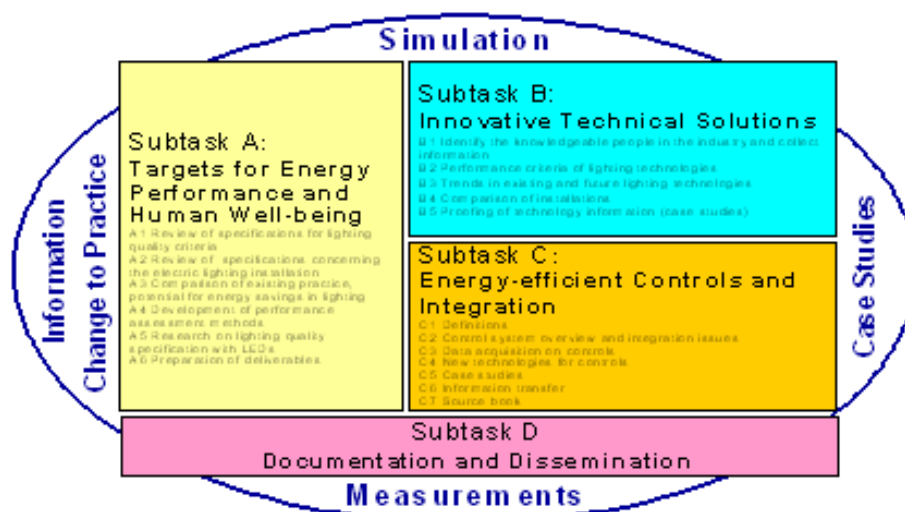


Figure 8 : Organisation de l'IEA ECBCS Annex 45 «Energy Efficient Electric Lighting of Buildings »

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

- **SubTask B** : Identification de sources LED pour le réhabilitation d'éclairage artificiel
- **SubTask C** : Participation au projet C3 « Case studies on existing and innovative lighting control strategies » sur la base des résultats du projet « GreenLighting »

Ces contributions ont été rendues possibles par la participation des acteurs du projet à certaines réunions de l'Annex 45 organisées en 2008 :

- **7th Expert Meeting**, Ente Nazionale per le Energie Alternative (ENEA), Roma (Italy), 31 Mars - 2 Avril 2008 (pas de participation directe);
- **8th Expert Meeting**, Technical University of Delft, Delft (The Netherlands), 17-18 Juin 2008 (pas de participation directe);
- **9th Expert Meeting**, School of Engineering (Lund University), Malmö (Sweden), 15-17 Octobre 2008 (F. Linhart).

Une étude de cas, obtenue à partir du suivi expérimental du dispositif intégré d'éclairage naturel et artificiel, a été mise à disposition de l'Annex 45. Au bénéfice d'une prolongation, l'Annex 45 s'achèvera dans le courant 2009 par la rédaction d'un « Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings » édité par L. Halonen et E. Tetri (Helsinki University of Technology).

Évaluation de l'année 2008 et perspectives pour 2009

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. L'engagement de nouveaux collaborateurs scientifiques (recherche d'un candidat de valeur) a toutefois contribué à différer l'exécution du projet par rapport au calendrier initial (achèvement prévu à fin juin 2009).

L'année sous rapport a permis de compléter les acquis scientifiques du projet, par l'évaluation « in situ » des performances lumineuses de nouveaux dispositifs intégrés d'éclairage naturel et artificiel. L'année 2009 verra l'achèvement du projet par le biais des étapes finales d'exécution :

- **achèvement de l'expérimentation en vraie grandeur du dispositif intégré** dans l'un des locaux du bâtiment expérimental LESO ;
- **analyse des performances énergétiques et lumineuses du dispositif intégré** et comparaison avec une installation d'éclairage actuelle ;
- **rédaction du rapport final** du projet à l'intention de l'Office Fédéral de l'Energie.

La collaboration scientifique entre l'EPFL et la National University of Singapore (NUS), initiée à fin 2007 et permettant d'étendre le champ d'investigation du projet GreenLighting à des bureaux de grande surface (« Open Space Offices»), s'intensifiera dans le courant 2009 grâce à la venue d'un hôte académique (Prof. Stephen Wittkopf, NUS). Une collaboration est par ailleurs en cours avec une spécialiste de chronobiologie (Dr. Mirjam Münch, Harvard Medical School), en vue de compléter l'évaluation des performances des sources et luminaires à haut rendement par l'étude de leur impact sur les rythmes circadiens (production de mélatonine).

Publication scientifiques

LINDELOEF D., **Bayesian Optimization of Visual Comfort**, PhD Dissertation N° 3918 , ENAC School, EPF-Lausanne, 2007.

GABRANI A., **White LEDs for Office Lighting : Technical Background, available Products and possible Integration**, Internship Project Report, IIT Trainee, LESO-PB/EPFL, 2007.

PAGE J., SCARTEZZINI J.-L., KAEMPF J. AND MOREL N., **On-site performance of electrochromic glazing coupled to an anidolic daylighting system**, *Solar Energy*, 81(9), pp. 1166-1179, Elsevier Science (UK), 2007.

SCARTEZZINI J.-L., LINHART F and KAEGI-KOLISNYCHENKO E., **Optimal integration of daylighting and electric lighting systems using non-imaging optics**, *Proc. of SPIE 2007 Optics & Photonics Conference*, San Diego (USA), 26-30 August 2007.

SCARTEZZINI J.-L. and LINHART F., **Integrating high-efficiency electric lighting fixtures with anidolic daylighting systems**, *International Non-imaging Optics Workshop*, University of California Merced and Science Applications Industry Corporation, San Diego (USA), 28 August 2007.

LINHART F. and SCARTEZZINI J.-L., **Green Lighting project focuses on energy-efficient offices**, *SPIE Newsroom*, <http://spie.org>, September 2007.

LINHART F. and SCARTEZZINI J.-L., **Minimizing connected lighting power in office rooms equipped with anidolic daylighting systems**, *Proc. of CISBAT 2007 International Conference on Solar Energy Applications to the Built Environment*, EPF-Lausanne, 4-5 September 2007.

LINHART F. and SCARTEZZINI J.-L., **Efficient lighting strategies for office rooms in tropical climates**, *Proc of PLEA 2007 Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Singapore, 22-24 November 2007.

LINHART F. und SCARTEZZINI J.-L., **Energieeffiziente Bürobeleuchtung – Das Projekt “Green Lighting”**, *Proc. vom 15. Schweizerisches Status-Seminar “Energie und Umweltforschung im Bauwesens”*, pp. 155 – 162, ETHZ (Zürich), 11-12 September 2008.

LINHART F. and SCARTEZZINI J.-L., **Occupant satisfaction in office rooms equipped with Anidolic Daylighting Systems**, *Proc of EuroSun 2008 International Conference*, pp. XXX-XXX, Lisbon (Portugal), 7-10 Octobre 2008.

LINHART F. and SCARTEZZINI J.-L., **Minimizing lighting power density in office room equipped with Anidolic Daylighting Systems**, Invited Paper, *Solar Energy - Special Issue CISBAT 2007 « Renewables in a Changing Climate/Innovation in the Built Environment »*, 25 p., Elsevier Science (UK), 2009.

Références principales

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..

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.

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.

WELFORD W.T. and WINSTON R., **High Collection Nonimaging Optics**, Academic Press Inc., san Diego 8USA), 1989.

Websites

Philips Lighting, The Lighting Site-Europe, www.eur.lighting.philips.com, 2008.

Regent Lighting, The Regent Lighting World, www.regent.ch, 2008.

Relux Informatik, Light Planning, www.relux.biz, 2008.

Tulux Licht/Lumière, www.tulux.ch, 2008.

OSRAM Lighting, <http://www.osram.com>, 2008.

LUMILEDS Lighting, <http://www.lumileds.com>, 2008.