



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche « Energie dans les bâtiments »

Rapport final / 15 Juin 2016

IEA-SHC Task 50 - Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings

SubTask C « Methods and Tools for Lighting Retrofits »





ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Date : 15 Juin 2016

Lieu : Lausanne

Mandant :

Office fédéral de l'énergie (OFEN)
Programme de recherche Bâtiments et Villes
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch

Mandataire :

Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment (LESO-PB)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Station 18, CH-1015 Lausanne
<http://leso.epfl.ch>

Estia SA
EPFL Innovation Park, CH-1015 Lausanne
www.estia.ch

kaemco LLC
La Riaz 6, CH-1426 Corcelles-Concise
www.kaemco.ch

Auteur :

Prof. Dr Jean-Louis Scartezzini, jean-louis.scartezzini@epfl.ch
Dr Bernard Paule, Estia SA, paule@estia.ch
Dr Jérôme Kämpf, kaemco LLC, jk@kaemco.ch

Responsable de domaine de l'OFEN : Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

Responsable du programme de l'OFEN : Rolf Moser, moser@enerconom.ch

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/500927-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen, Adresse postale : 3003 Berne
Tél. +41 58 462 56 11 · fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.ofen.admin.ch

Zusammenfassung

Die Forschungsaktivitäten im Rahmen des **IEA-SHC Task 50 Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings** sollen energetische Sanierungsstrategien für Gebäudehüllen und künstliche Beleuchtungsanlagen im Nichtwohnbereich fördern (Industrie, Tertiäre und Handeln), durch :

- Förderung der Verkündung und Verbesserung der Energiestandards für Renovierungen;
- Erhöhung der Relevanz Erneuerungsstrategien für künstliche Beleuchtungsanlagen;
- Implementierung durch Computer Methoden und Software im Baubereich;
- Bereitstellung von Fallstudien über energetische Sanierung von Beleuchtungsanlagen;
- Entwicklung ein elektronisches interaktives Source Book (Lighting Retrofit Adviser);
- Förderung der Ergebnisse unter den IEA-SHC Task 50 OECD-Ländern.

Die Leitung der **Subtask C Methods and Tools** wurde auf Dr Jérôme Kämpf (kaemco LLC) und Dr Bernard Paule (Estia SA), Gründern und Geschäftsführern von "Spin-off" Unternehmen des Labors für Solarenergie und Bauphysik von ETH-Lausanne, anvertraut.

Résumé

Les activités de recherche, réalisées dans le cadre l'**IEA-SHC Task 50 Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings**, visent à promouvoir des stratégies de rénovation énergétique d'enveloppes de bâtiments et d'installations d'éclairage artificiel dans les bâtiments non résidentiels (industrie, administration et commerces), en vue de :

- Favoriser la promulgation et l'amélioration des normes énergétiques de rénovation;
- Accroître la pertinence des stratégies de rénovation d'installations d'éclairage artificiel;
- Faciliter leur mise en œuvre par le biais de méthodes et outils informatiques;
- Proposer des études de cas en matière de rénovation énergétique d'éclairage;
- Elaborer un Sourcebook électronique interactif (Lighting Retrofit Adviser);
- Promouvoir ces résultats au sein des pays de l'OCDE participants à l'IEA-SHC Task 50.

La direction de la **SubTask C Methods and Tools** a été confiée aux Dr Jérôme Kämpf (kaemco LLC) et Dr Bernard Paule (Estia SA), fondateurs et dirigeants d'entreprises « Spin-off » du Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment de l'EPFL.

Abstract

IEA SHC Task 50 Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings pursues the goal to accelerate retrofitting of daylighting and electric lighting systems in non-residential buildings (industry, administration and commerces) by the way of cost-effective and best practice approaches. This includes the following activities:

- Develop a sound overview of the lighting retrofit market;
- Trigger revision and enhancement of national regulations, certifications and loan programs;
- Increase robustness of daylight and electric lighting retrofit approaches;
- Increase understanding of lighting retrofit processes by providing sound computer tools;
- Demonstrate state-of-the-art lighting retrofits through case studies;
- Develop an electronic interactive Source Book (Lighting Retrofit Adviser).

The direction of the **Subtask C Methods and Tools** was entrusted to Dr Jérôme Kämpf (kaemco LLC) and Dr Bernard Paule (Estia SA), founders and directors of "Spin-offs" of the Laboratory of Solar Energy and Building Physics at EPFL.



Sommaire

Résumé/Abstract/Zusammenfassung

Sommaire

Table des matières

Liste des abréviations

1. Introduction

2. But du projet

3. Déroulement du projet

4. Procédures et méthodes

5. Résultats

6. Discussion

7. Conclusion

8. Perspectives futures

9. Références

10. Annexes



Table des matières

Résumé/Abstract/Zusammenfassung	3
Sommaire	4
Table des matières	5
Liste des abréviations	6
1. Introduction	7
2. But du projet	7
3. Déroulement du projet	9
4. Procédures et méthodes	9
5. Résultats.....	10
5.1. Projet C1 Analysis of Workflow and Needs.....	10
5.2. Projet C2 State-of-the-Art Review	12
5.3. Projet C3 Development of a Simple Integrated Rating Model.....	15
5.4. Projet C4 Energy Audits and Inspection Procedures	16
5.5. Activités dans les autres SubTasks.....	19
6. Discussion.....	22
6.1. Collaboration nationale.....	22
6.2. Collaboraton internationale	23
7. Conclusion	23
8. Perspectives futures	24
9. Références	25
10. Annexes.....	26



Liste des abréviations

BTDF	Bidirectional Transmission Distribution Function
CAO	Conception Assistées par Ordinateur
CFS	Complex Fenestration System
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
DDA	Dynamic Daylighting Autonomy
IEA	International Energy Agency
OCDE	Organisation pour la Coopération et le Développement Economique
LBNL	Lawrence Berkeley national Laboratory
LESO-PB	Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment
LRA	Lighting Retrofit Advisor
SHC	Solar Heating and Cooling
SIRM	Simplified Integrated Rating Model
ST	Sub Task
UDI	Useful Daylighting Illuminance

IEA SHC Task 50 – Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings

1. Introduction

L'éclairage électrique est responsable d'un cinquième de la consommation d'électricité dans les pays de l'OCDE. Cette consommation est estimée annuellement en Suisse à 7'600 GWh, équivalent à près de 15% de la consommation nationale d'électricité ⁽¹⁾. Les systèmes de lumière naturelle et dispositifs avancés de vitrage, les sources et luminaires d'éclairage artificiel à haut rendement, ainsi que les systèmes de contrôle optimal des installations techniques du bâtiment, peuvent contribuer à diminuer significativement cette consommation. La combinaison judicieuse de ces différentes approches doit permettre de réduire l'indice de dépense d'énergie pour l'éclairage des bâtiments tertiaires à une valeur de 5 kWh/m²a (au lieu de 20-30 kWh/m²a). En raison de l'importance du parc immobilier existant et du faible taux de constructions nouvelles, la mise en œuvre de ces stratégies est envisagée en priorité dans le secteur de la rénovation.

Les activités de recherche et de développement, prévues dans le cadre **l'IEA-SHC Task 50 *Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings***, visent à promouvoir des stratégies de rénovation énergétique d'enveloppes de bâtiments et d'installations d'éclairage artificiel dans le secteur non résidentiel (industrie, tertiaire et commerces), en vue de :

- Favoriser la promulgation et l'amélioration des normes énergétiques en matière de rénovation d'enveloppes de bâtiments ;
- Accroître la pertinence des stratégies de rénovation d'installations d'éclairage artificiel;
- Faciliter leur mise en œuvre par le biais de méthodes et d'outils informatiques destinés aux acteurs du marché de la construction;
- Proposer des études de cas en matière de rénovation énergétique d'éclairage;
- Elaborer des supports électroniques et des outils interactifs en vue de valoriser les résultats;
- Promouvoir ces derniers au sein des pays de l'OCDE participants à l'IEA-SHC Task 50.

La plateforme internationale offerte par la collaboration scientifique, prévue dans le cadre de l'IEA-SHC Task 50, doit permettre, par ailleurs, à chaque pays participant d'atteindre plus efficacement ses propres objectifs nationaux en matière d'économies d'énergie.

2. But du projet

L'**IEA-SHC Task 50 *Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings*** a été placée sous la responsabilité du Dr Jan de Boer (Operating Agent : Germany). Elle est organisée autour de quatre *SubTasks*, illustrées à la Figure 1 :

- **SubTask A *Market and Policies*** (Lead: Prof. M. Fontoynt/Denmark)
- **SubTask B *Daylighting and Electric Lighting Solutions*** (Lead: Dr M. Knoop/Germany)
- **SubTask C *Methods and Tools*** (Lead: Dr J. Kämpf, Dr B. Paule/Switzerland)
- **SubTask D *Case Studies*** (Lead: Prof. M.-C. Dubois/Sweden)

L'ensemble des activités prévues dans le cadre de l'IEA Task 50 sont décrites dans le ***Workplan IEA-SHC Task 50*** ^{(2) (3)}.



La responsabilité de la coordination de la **SubTask C Methods and Tools** a été confiée au Dr Jérôme Kämpf (kaemco LLC) ; il a été secondé dans cette tâche par le Dr Bernard Paule (Estia SA). Les deux sociétés sont des entreprises « Spin-off » du Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment (LESO-PB) de l'EPFL, créées et dirigées par d'anciens collaborateurs scientifiques de l'unité.



Figure 1 : Organisation de l'IEA-SHC Task 50 *Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings*

Un **Joint Working Group**, placé sous la responsabilité de l'Operating Agent, a permis de réunir l'ensemble des connaissances et des résultats scientifiques acquis dans le cadre de l'IEA-SHC Task 50, en vue de la mise sur pied d'un Website interactif (**Lighting Retrofit Adviser**) destiné aux praticiens. La Figure 2 illustre ce dernier et décrit les contributions attendues des quatre **SubTasks** en faveur de cet outil informatique, destiné à faciliter la mise en œuvre de stratégies de rénovation énergétique d'enveloppes et d'installation techniques de bâtiments.

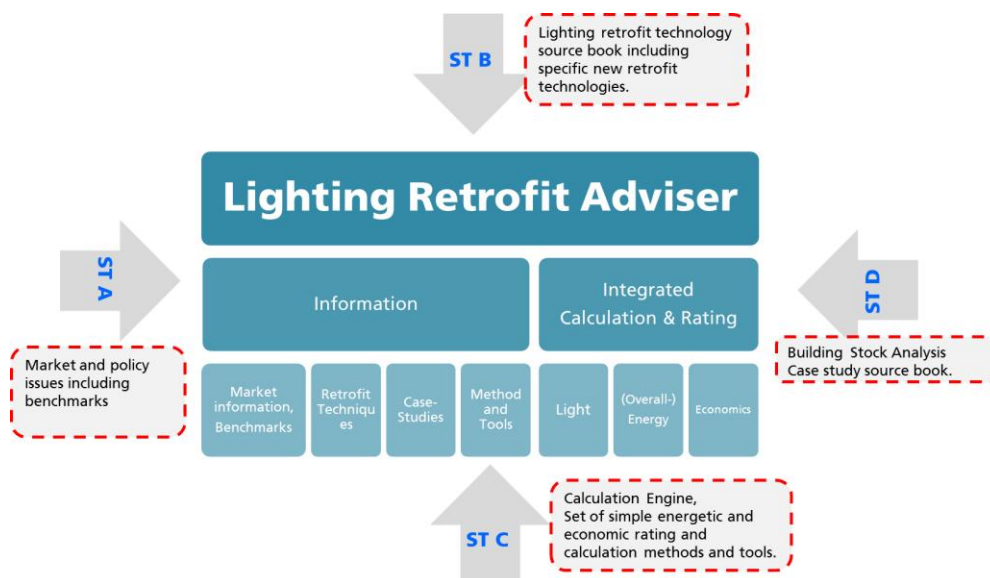


Figure 2 : Contributions attendues de l'IEA-SHC Task 50 en faveur du *Lighting Retrofit Adviser*.

Les pays associés à l'IEA-SHC Task 50 participent régulièrement à des **Experts Meetings**; ils contribuent ainsi à la bonne marche des travaux scientifiques prévus et à la rédaction des documents et rapport officiels.

3. Déroulement du projet

Le LESO-PB/EPFL a pris une part active à l'organisation et à la coordination des activités réalisées dans le cadre de la **SubTask C Methods and Tools** de l'IEA-SHC Task 50.

Les tâches spécifiques, assurées par les Dr B. Paule et J. Kämpf, spécialistes en éclairage naturel et en simulation numérique, comprennent :

- Direction de la **SubTask C Methods and Tools** de l'IEA-SHC Task 50 ;
- Coordination des activités internationales prévues dans ce cadre ;
- Organisation et conduite des activités nationales prévues dans ce cadre ;
- Adaptation et valorisation des résultats de projets issus de la SubTask C ;
- Elaboration de rapports scientifiques à l'intention de l'Office Fédéral de l'Energie.

La réalisation de ces tâches a ainsi nécessité la participation active de ces collaborateurs aux *Experts Meetings* de l'IEA-SHC Task 50 suivants :

- **1st Experts Meeting**, 20 - 22 Mars 2013 à Lund (Suède) ⁽⁷⁾
- **2nd Experts Meeting**, 23 - Septembre 2013 à Copenhague (Danemark) ⁽⁸⁾
- **3rd Experts Meeting**, 10 - 12 Mars 2014 à Innsbruck (Autriche) ⁽⁹⁾
- **4th Experts Meeting**, 29 Septembre - 1^{er} Octobre 2014, Fukuoka (Japon) ⁽¹⁰⁾
- **5th Experts Meeting**, 16 - 18 Mars 2015, Hurtigruten (Norvège) ⁽¹¹⁾
- **6th Experts Meeting**, 28 - 30 Septembre 2015, Brasilia (Brésil) ⁽¹²⁾

4. Procédures et méthodes

Les activités menées dans le cadre de la **SubTask C Methods and Tools** ont donné lieu, conformément aux objectifs fixés, à la réalisation des cinq projets spécifiques suivants :

- **Projet C1 Analysis of Workflow and Needs**
- **Projet C2 State-of-the-Art Review**
- **Projet C3 Development of a Simple Integrated Rating Model (SIRM)**
- **Projet C4 Energy Audit & Inspection Procedures**
- **Projet C5 Advanced and Future Simulation Tools**

Ces cinq projets ont fait l'objet de rapports techniques détaillés (IEA SHC Task 50 Technical Reports C1-C5), qui seront diffusés par l'Agence Internationale de l'Energie au sein des pays de l'OCDE ⁽¹⁴⁻¹⁷⁾ ; les principaux résultats de ces projets ont été consignés dans des documents de synthèse (*Factsheets*), annexés à ce rapport.



5. Résultats

5.1 Projet C1 Analysis of Workflow and Needs

Les stratégies de rénovation d'éclairage dans les bâtiments existants suivent, en général, des procédures similaires à celles utilisées lors de leur conception. La plupart des décisions sont prises, en conséquence, lors de l'avant-projet ; celui-ci est suivi par des phases de planification et de construction qui reposent sur des méthodes et des procédures techniques. La conception assistée par ordinateur (CAO), ainsi que les outils de simulation et d'analyse en éclairage, jouent un rôle important dans ce sens: la modélisation numérique des projets de rénovation d'éclairage offre ainsi la possibilité de visualiser ces derniers et d'évaluer leurs performances énergétique et lumineuse. Pour être efficace, ces méthodes et outils informatiques de simulation doivent tenir compte du mode de travail et des besoins pratiques des acteurs de la rénovation de bâtiments (architectes, ingénieurs-conseils, autorités, etc.).

Afin de contribuer à mieux cerner cette thématique, une enquête a été lancée au niveau international dans le cadre de l'IEA SHC Task 50⁽¹³⁾. Cette enquête a été proposée en onze langues différentes, à savoir le danois, néerlandais, anglais, finnois, français, allemand, italien, japonais, portugais (Brésil), slovaque et l'espagnol, afin de recueillir des informations provenant de différents pays et de diverses cultures en matière de rénovation de bâtiments. Les langues française, anglaise et allemande représentent plus de 80% des 1100 réponses recueillies.

Cette enquête a permis de mettre en évidence un certain nombre de points importants en matière de rénovation d'éclairage : la majorité des personnes interrogées a ainsi confirmé l'importance de l'éclairage naturel et artificiel dans le cadre de rénovations. Les principales stratégies, utilisées sur le plan pratique, sont illustrées à la Figure 3 ; elles consistent essentiellement à mettre en œuvre des technologies d'éclairage artificiels, sous la forme de :

- Détecteurs de présence permettant de commuter l'éclairage électrique ;
- Luminaires et sources lumineuses à meilleur rendement et plus haute efficacité lumineuse ;
- Dispositifs d'éclairage à la tâche offrant des prestations lumineuses à bon escient.

Lors de la phase préliminaire de conception, la plupart des personnes sondées comptent principalement sur leur propre expérience dans le cadre de projets de rénovation d'éclairage ; elles font appel à des outils de simulation numérique lors des phases ultérieures, comme le montre la Figure 4.

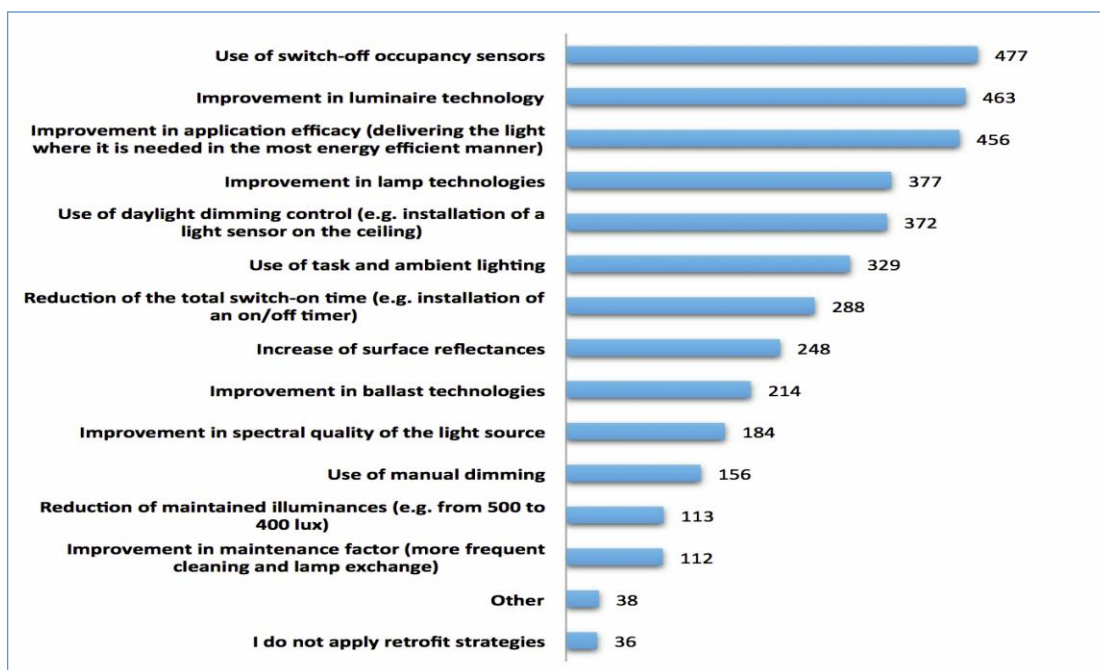


Figure 3 : Stratégies de rénovation de bâtiments en matière d'éclairage utilisées dans la pratique

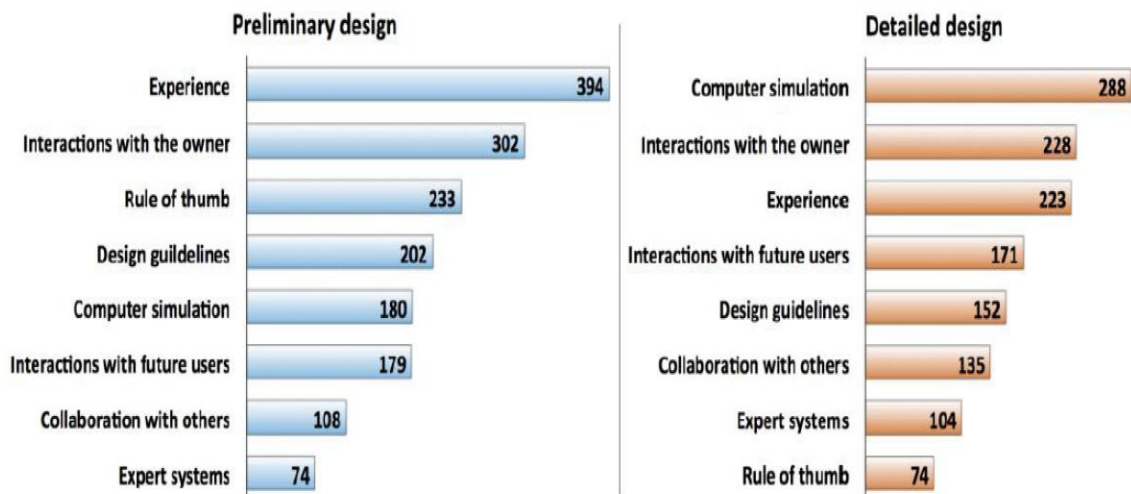


Figure 4 : Classement des méthodes et outils informatiques utilisés lors d'études en éclairage dans le cadre de l'avant-projet et de phases de réalisation.

Dans la pratique actuelle, peu d'informations sur la consommation d'énergie liée à l'éclairage s'avèrent généralement disponibles ; les informations concernant le bâtiment ou l'immeuble se limitent principalement à des plans et des coupes sous forme de données 2D, très peu de données numériques 3D destinées à des 'building modellers' étant disponibles.



La plupart des personnes interrogées indiquent qu'elles font appel à un outil de simulation numérique combinant éclairage électrique et éclairage naturel pour leurs projets de rénovation. Deux logiciels de simulation dominent actuellement le marché dans la pratique : Dialux et Relux.

Les principaux éléments qui influencent le choix d'un logiciel de calcul d'éclairage sont les suivants:

- Interface utilisateur conviviale ;
- Temps de calcul (efficacité et rapidité) ;
- Coût du logiciel.

Les principaux obstacles identifiés, à propos de leur utilisation dans la pratique, sont les suivants:

- Les outils requièrent trop de temps d'utilisation ;
- L'emploi de ces outils est trop complexe ;
- Les outils ne sont pas intégrés avec un logiciel de CAO.

Les trois principales améliorations qui ont été suggérées, en vue de favoriser l'intégration de l'éclairage naturel et de l'éclairage électrique dans le processus de rénovation, sont les suivantes:

- Dimensionnement préliminaire du système d'éclairage électrique ;
- Evaluation du temps de retour économique de l'intervention ;
- Mise à disposition de données chiffrées concernant la consommation d'énergie.

Pour conclure, on notera que les outils actuels de simulation numérique d'éclairage, bien que jugés globalement satisfaisants par les personnes sondées, offrent encore un réel potentiel d'amélioration. Il serait souhaitable, en particulier, que l'on puisse faire appel à ces derniers lors des étapes préliminaires de conception : cela requiert une grande rapidité et simplicité d'utilisation, tout en permettant d'effectuer une analyse de la performance énergétique globale du projet de rénovation et, idéalement, d'y inclure également des calculs financiers.

Une synthèse des travaux effectués dans le cadre du **Projet C1 Analysis of Workflow and Needs** est donnée en Annexe ; une description complète et détaillée de ces derniers est donnée dans le **Technical Report C1** ⁽¹⁴⁾ diffusé par l'Agence Internationale de l'Energie.

5.2 Projet C2 State-of-the-Art Review

Les outils informatiques et méthodes de calcul d'éclairage dans les bâtiments doivent répondre aux besoins des architectes et concepteurs en éclairage, qui souhaitent généralement obtenir rapidement des solutions pratiques à leurs problèmes de rénovation. Ces outils et méthodes doivent aussi répondre aux besoins des physiciens du bâtiment, ingénieurs-conseils et spécialistes en installations techniques du bâtiment, qui se préoccupent plutôt de comprendre et résoudre les problèmes en matière d'éclairage rencontrés dans le cadre de rénovations. Ces deux approches différentes visent à atteindre rapidement et efficacement les mêmes objectifs, qui consistent à :

- Offrir un soutien aux maîtres d'ouvrage pour circonscrire un projet de rénovation d'éclairage ;
- Permettre l'évaluation des performances globales de différents scénarios d'intervention ;
- Encourager le choix de solutions optimales en matière de rénovations d'éclairage ;
- Faire appel aux unités de mesure appropriées et aux calculs de prestations d'éclairage, de confort visuel et de performances énergétiques.



Afin d'aider les praticiens à choisir un outil informatique et/ou une méthode de calcul appropriée à leurs besoins spécifiques, une revue de l'état de l'art des programmes avancés de simulation numérique et des méthodes simplifiées de calcul d'éclairage a été réalisée. Un peu plus d'une douzaine de logiciels et méthodes a été recensé. Les catégories suivantes de programmes avancés de simulation et de méthodes simplifiées d'éclairage ont été mises en évidence :

- **Logiciels de gestion du bâtiment et installations techniques (outils de diagnostic global, incluant les aspects économiques):** EPIQR +, Lotse Energieeffiziente Innenbeleuchtung, Optimiser, Relight ;
- **Programmes graphiques de projection architecturale / Logiciels CAO :** 3DSMaxDesign, Autodesk Autocad, Rhinocéros, Sketchup ;
- **Programme de visualisation numérique:** Pas d'outils dans cette catégorie ;
- **Programmes de simulation en éclairage:** Daysim, Dialux, Dialux-Evo, Dial+Lighting, Diva-for-Rhino, Fener, Geronimo, lesVe, Lightsolve, Radiance, ReluxPro, Velux Daylight Visualizer.

Une procédure de comparaison des principales caractéristiques des outils informatiques et méthodes de calcul d'éclairage recensés a été définie dans le cadre de l'IEA SHC Task 50. Celle-ci a permis d'évaluer rapidement les potentialités de chaque programme et/ou méthode de calcul. Un tableau, présentant les avantages et inconvénients (Pros / Cons) des principaux outils de conception et d'analyse en matière de rénovation énergétique de bâtiments et d'installations d'éclairage, a ainsi été élaboré ; ce dernier est illustré à la Figure 5.

	3DS Max	DALEC	DAYSIM	DIALUX	DIALUX-EVO	DIAL+	DIVA for Rhino	FENER	GERONIMO	IES VE	LIGHTSOLVE	RADIANCE	RELUX Pro	VELUX Daylight Visualizer
GENERAL INFORMATION														
Graphical User Interface	X	X		X		X		X	X		X		X	
CAD Import	X			X							X	X	X	
3D Modeler	X			X		X							X	
3D Rendering	X			X					X		X	X	X	
Radiance calculation		X				X		X	X		X	X	X	
Radiance 3phase calculation		X						X						
Daysim														
Photon mapping											X			
Suited for architects	X	X				X		X	X		X		X	
Suited for electric engineers			X			X						X	X	
Suited for HVAC engineers		X				X							X	
Suited for early design		X				X			X		X	X		
Suited for detailed design	X	X	X					X	X		X	X	X	
DAYLIGHTING														
Daylight factor values	X		X	X		X		X	X		X	X	X	
Daylighting autonomy		X	X			X*		X*	X*		X	X		
Sensible to Orientation	X	X	X			X		X	X		X	X		
Climate file based simulation	X	X	X			X		X	X		X	X		
Illuminance values	X	X	X	X				X	X		X	X	X	
Luminance values	X	X						X	X		X	X	X	
Glare calculation		X	X					X	X		X	X	X	
Possibility to describe Fins/Overhang (fixed)	X	X	X	X		X		X			X	X	X	
Possibility to describe shading devices (movable)		X	X			X		X*				X	X	
Possibility to describe outdoor obstructions	X	X	X	X		X		X			X	X	X	
ELECTRIC LIGHTING														
Manual input of luminaires				X		X						X		
Native data base of luminaires		X											X	
Possibility to import luminaires (IES, Eulumdat, ...)				X		X						X	X	
Calculation of illuminance values		X		X		X						X	X	
Calculation of Luminance values												X	X	
Calculation of annual electricity consumption		X	X			X		X					X	
Glare calculation				X								X	X	
ADVANCED FEATURES														
Possibility to handle BSDF datasets		X			X			X	X			X	X	
Integration of daylighting and thermal simulations		X				X*		X*						
Spectral capabilities								X				X		
Scripting								X				X		

Figure 5 : Tableau matriciel permettant la comparaison des forces et faiblesses de divers outils de conception et d'analyse en matière de rénovation d'éclairage.

Les outils informatiques et méthodes de calcul, pris en compte dans le cadre de cette étude, ont fait l'objet de comparaisons sur la base d'une même étude de cas. Celle-ci est constituée d'une salle de classe, située à Yverdon-les-Bains (Vaud/Suisse), ayant fait l'objet d'une rénovation en éclairage naturel et artificiel. La Figure 6 donne un aperçu de cette dernière, avant et après rénovation.

Des données 'ad hoc', ainsi que des informations de nature générale relative à cet objet, ont été mises à disposition, afin de permettre leur simulation par des spécialistes en éclairage. Celles-ci sont constituées principalement de schémas et de plans d'architecture, ainsi que de données photométriques de base, en vue de reproduire les situations réelles rencontrées par les praticiens au cours de rénovations en éclairage. Ces données incluent la position et le type de fenêtres, ainsi que celles des luminaires, de la salle de classe originale et de la salle rénovée. Elles ont permis de simuler le comportement de la lumière du jour et de l'éclairage électrique dans les deux cas de figure.

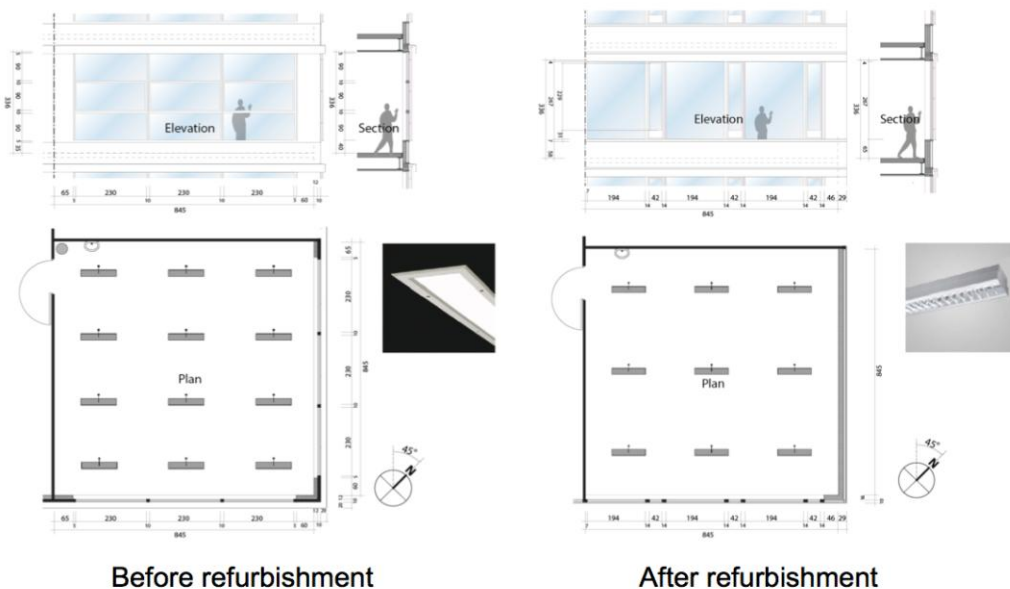


Figure 6 : Etude de cas basée sur la simulation en éclairage naturel et artificiel d'une salle de classe située à Yverdon-les-Bains (Vaud/Suisse), avant (gauche) et après rénovation (droite).

Cette comparaison a porté, dans une première phase, sur l'indicateur usuel de performance en éclairage naturel, que constitue le facteur de lumière du jour. La dispersion observée entre les résultats obtenus des différents outils et méthodes de calcul est relativement large (cf. Figure 7), malgré le fait que l'étude de cas ait été décrite avec beaucoup de soin et que les données ait été traitées par des spécialistes en éclairage.

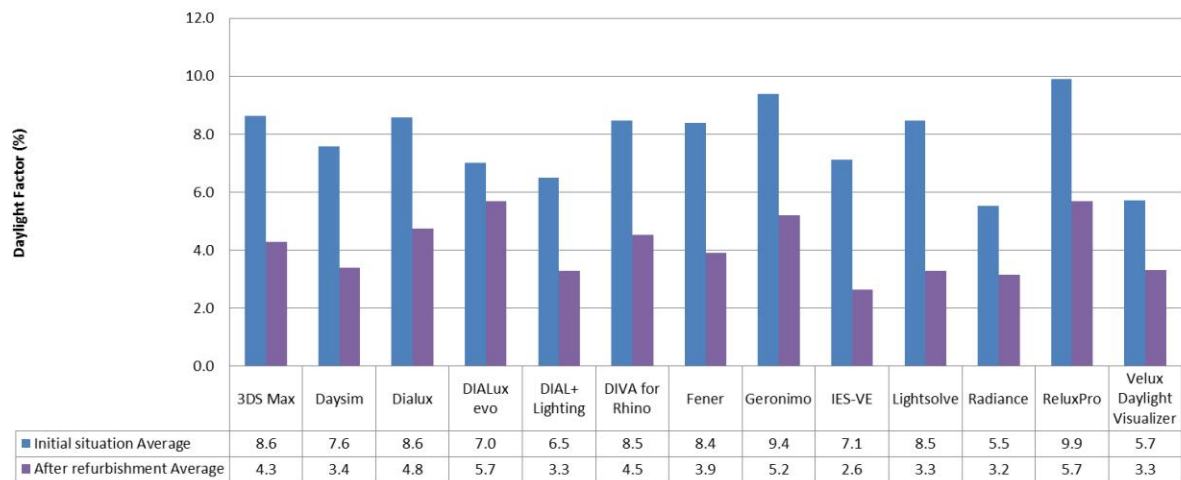


Figure 7 : Comparaison des résultats obtenus à l'aide des différents outils et méthodes de calcul d'éclairage (facteurs de lumière du jour moyen avant et après rénovation) dans le cadre de la rénovation d'une salle de classe.

Bien que la tendance entre les deux configurations (e.g. avant et après rénovation) soit semblable, en ce qui concerne le facteur de lumière du jour moyen de la classe, des variations importantes de cette grandeur peuvent être observées pour les différents outils et méthodes de calcul. Ces résultats indiquent qu'une réelle prudence doit être adoptée par les utilisateurs de ces logiciels, en ce qui concerne l'éclairage naturel.

La dispersion des mêmes résultats de calcul, concernant l'éclairage électrique, est plus raisonnable : elle atteint 10-15% en valeur relative, indiquant que les calculs de consommation d'électricité pour l'éclairage artificiel sont globalement plus fiables que ceux impliquant l'intégration de la lumière du jour et de l'éclairage électrique.

Une synthèse des travaux effectués dans le cadre du **Projet C2 State-of-the-Art Review** est donnée en Annexe ; une description complète et détaillée de ces derniers est donnée dans le **Technical Report C2** ⁽¹⁵⁾, diffusé par l'Agence Internationale de l'Energie.

5.3 Projet C3 Development of a Simple Integrated Rating Model

Un outil simplifié d'évaluation des performances d'éclairage (Simple Integrated Rating Model), basé sur le logiciel DALEC, a été mis sur pied et intégré au **Lighting Retrofit Adviser (LRA)**. L'accès public au site web du LRA sera accessible prochainement. L'idée de faire appel au logiciel « Open source » Fener, pour coupler le calcul d'éclairage avec des simulations thermiques dynamiques de bâtiments, a été abandonnée.

Il a été décidé de ne pas réaliser de **FactSheet**, ni de **Technical Report C3**, pour cette sous-tâche dans la mesure où tous les résultats seront accessibles par le biais du Website LRA.

5.4 Projet C4 Energy Audit and Inspection Procedures

Des méthodes d'audit énergétique (*Energy auditing*) devraient être utilisées dans les bâtiments, avant et après rénovation, afin d'évaluer l'impact des stratégies de rénovation d'éclairage sur leur consommation d'énergie. Le suivi des performances en lumière naturelle des bâtiments, réalisé à l'aide d'indicateurs appropriés, ainsi que l'évaluation de la puissance installée en éclairage électrique et la consommation d'énergie (suivi énergétique), doivent être menés à bien de manière régulière.

Des procédures d'évaluation de performances, à court et à long terme, doivent être considérées. Des protocoles d'inspection devraient être utilisés pour documenter l'état d'entretien du bâtiment et des installations d'éclairage électrique, ainsi que la qualité des prestations fournies en éclairage (niveau d'éclairement, éblouissement, etc.). Un document a été rédigé, à cet effet, dans le cadre de l'IEA SHC Task 50 et comprend trois sections.

La première section (*Chapter 2: Metrics*) traite de la description des différents indicateurs et variables disponibles pour évaluer les performances en lumière du jour. Une douzaine d'indicateurs, comprenant la Daylight Diffuse Autonomy, ASE/SLG Daylighting Provision Charts, Useful Daylight Illuminance (UDI), Dynamic Daylight Autonomy (DDA), etc. a fait l'objet d'une description détaillée et ont été mis en œuvre sur des études de cas par le biais de différents logiciels (cf. Figure 8). Ces indicateurs se répartissent en deux catégories distinctes:

- Les indicateurs de prestations en lumière naturelle (*Daylighting metrics*);
- Les indices d'éblouissement (*Glare indexes*).

Chacun d'entre eux est décrit brièvement dans ce chapitre ; cette description est suivie d'un exemple de mise en œuvre de ces indicateurs et d'un paragraphe décrivant leurs limites et donnant les références à la base de leur définition. La figure 9 illustre un tel exemple à partir de l'étude de cas, définie au paragraphe précédent (salle de classe à Yverdon-les-Bains).

Daylighting Metrics
CIE curves
ASE/SLG Chart
Diffuse Daylight Autonomy
Dynamic Daylight Autonomy
Useful Daylight Illuminance
Continuous Daylight autonomy
Maximum Daylight autonomy
Daylight Glare Probability
Spatial Daylight Autonomy
Annual Sunlight Exposure
Relative Luminous Exposure

Figure 8 : Indicateurs de performance en éclairage naturel (Daylighting Metrics) pris en compte dans les différents logiciels de calcul d'éclairage

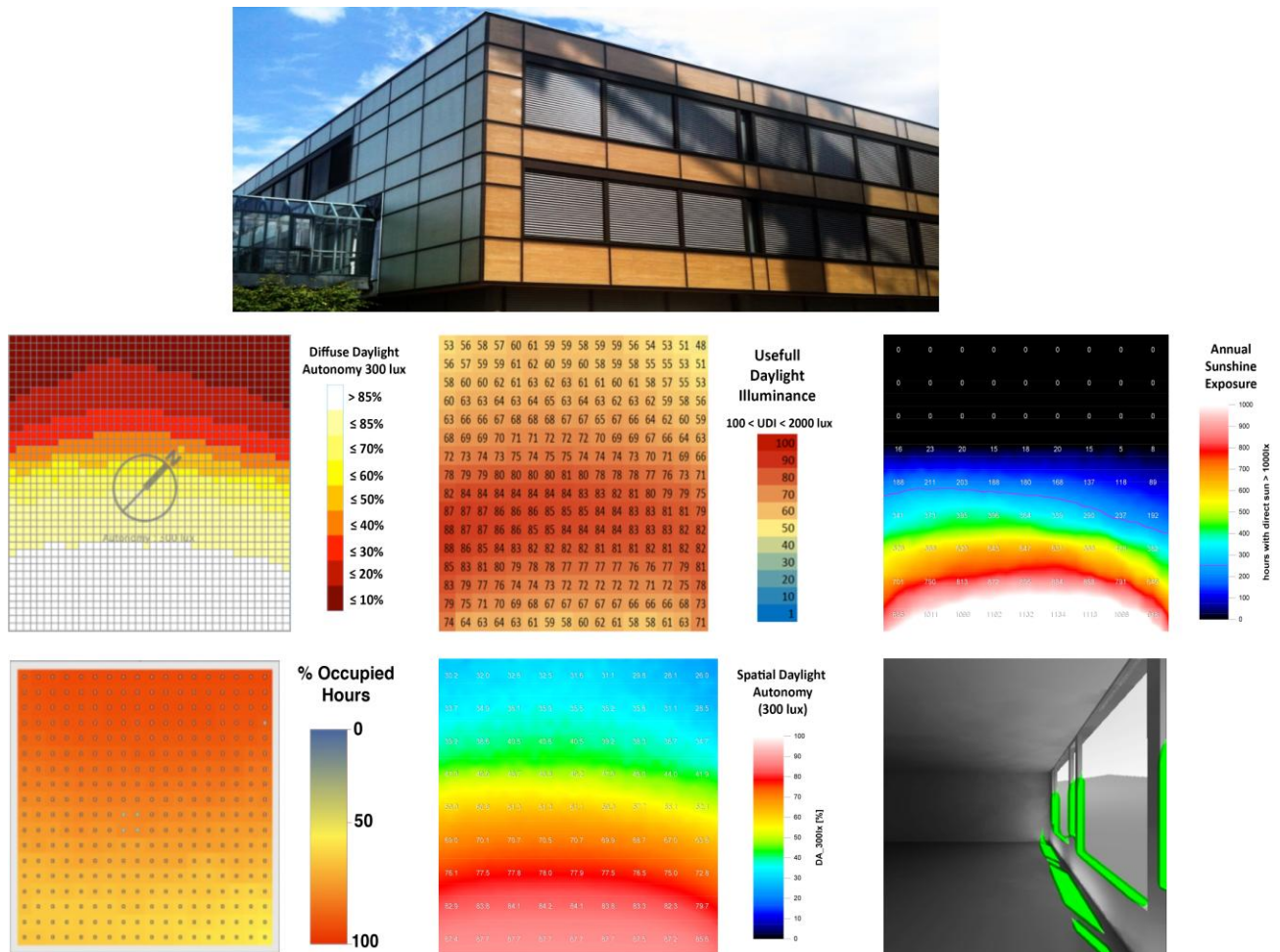


Figure 9 : Indicateurs de performance en éclairage naturel (Daylighting metrics) mis en œuvre sur une étude de cas (salle de classe, haut) ; (milieu, de gauche à droite) Autonomie en lumière naturelle diffuse (DIAL+Lighting), Eclaircissement utile en lumière naturelle (IES-VE), Exposition annuelle à la lumière directe (Radiance) ; (bas, de gauche à droite) Autonomie dynamique en lumière du jour (DIVA₄Rhino), Autonomie en lumière du jour (Radiance), Image de synthèse (Radiance).

La deuxième section (Chapter 3: *Investigation of Energy Monitoring Procedures for Electric Lighting Systems*) fait l'objet de la SubTask D Case Studies, où elle est détaillée.

Dans notre cas, cette section se concentre simplement sur la présentation d'une méthode de diagnostic « Flash », permettant d'évaluer rapidement et efficacement l'état de l'éclairage électrique dans les bâtiments existants en Suisse.

Cette méthode simplifiée, basée sur un tour rapide de l'immeuble, est utilisée comme une liste de contrôle (*Checklist*). Puisqu'elle n'implique pas un suivi détaillé (seulement quelques mesures ponctuelles d'éclaircissement), cette méthode, illustrée à la Figure 10, ne vise pas à donner une vue précise de la situation, mais à identifier simplement les actions envisageables concernant la rénovation de l'éclairage.



Lighting "FLASH" Diagnosis Date : / /

Building : Realised by :

Room: Floor: Orientation:

Width: m Depth: m Height: m

FLOOR: ☐ Very Dark ☐ Dark ☐ Medium ☐ Light ☐ Very Light

WALLS: ☐ Very Dark ☐ Dark ☐ Medium ☐ Light ☐ Very Light

CEILING: ☐ Very Dark ☐ Dark ☐ Medium ☐ Light ☐ Very Light

Window Sill: cm Lintel height: cm

Glazings: ☐ Single glazing ☐ Double glazing ☐ Triple glazing
☐ Clear glass ☐ Tinted/Reflective glass

Frame Fraction: ☐ 10% ☐ 20% ☐ 30% ☐ 40% ☐ 50%
(relative to the window area)

Notes:

Outdoors blinds: ☐ Manual ☐ Motorized ☐ Automated

Indoors blinds: ☐ Manual ☐ Motorized ☐ Automated

LUMINAIRES type 1

Type Luminaire: ☐ Ceiling ☐ Hanging ☐ Recessed ☐ Standing ☐ Wall

Direction: ☐ All ☐ Downwards ☒ Upwards ☐ Combined

Reflector: ☒ None ☐ White ☐ Aluminium

Down filters: ☒ Diffuseur ☐ Grid ☐ None

Dispositif Haut: ☒ Diffuseur ☐ None

Ballast: ☒ Magnetic ☐ Electronic

☐ Fluorescent ☐ Compact- Fluo ☒ Incandescent ☐ Halogen ☐ Metal Halide ☐ LEDs

☐ 16 mm ☐ 26 mm ☒ 38 mm

Nb lamps per luminaire: Lamp Power: W

LUMINAIRES type 2

Type Luminaire: ☐ Ceiling ☐ Hanging ☐ Recessed ☐ Standing ☐ Wall

Direction: ☐ All ☐ Downwards ☒ Upwards ☐ Combined

Reflector: ☒ None ☐ White ☐ Aluminium

Down filters: ☒ Diffuseur ☐ Grid ☐ None

Dispositif Haut: ☒ Diffuseur ☐ None

Ballast: ☒ Magnetic ☐ Electronic

☐ Fluorescent ☐ Compact- Fluo ☒ Incandescent ☐ Halogen ☐ Metal Halide ☐ LEDs

☐ 16 mm ☐ 26 mm ☒ 38 mm

Nb lamps per luminaire: Lamp Power: W

Figure 10 : Méthode de diagnostic d'éclairage « Flash » pour bâtiments scolaires (Source : Estia SA)

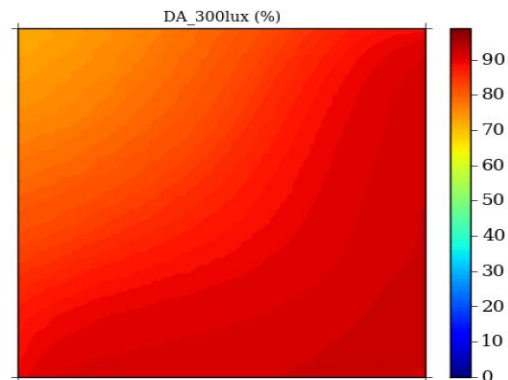
La troisième section (Chapter 4: *Benchmark on Case Studies*) présente les résultats obtenus au moyen des différents outils de simulation décrits dans le Technical Report C2. L'étude de cas, présentée sous différentes formes dans cette section, correspond à l'état avant et après rénovation de l'éclairage. Une telle comparaison (logiciel FENER, source : B. Bueno) est illustrée à la Figure 11.

Une synthèse des travaux effectués dans le cadre du **Projet C4 Energy Audit & Inspection Procedures** est donnée en Annexe ; une description complète et détaillée de ces derniers est donnée dans le **Technical Report C4** ⁽¹⁶⁾, diffusé par l'Agence Internationale de l'Energie.

INITIAL SITUATION

Max: 92.4 %
Mean: 86.5 %
Min: 71.7 %
sDA_(300,50%) = 100 %

Spatial Daylight Autonomy for the case-study initial situation



AFTER REFURBISHMENT

Max: 91.5 %
Mean: 70.5 %
Min: 39.1 %
sDA_(300,50%) = 87.1 %

Spatial Daylight Autonomy for the case-study refurbished situation

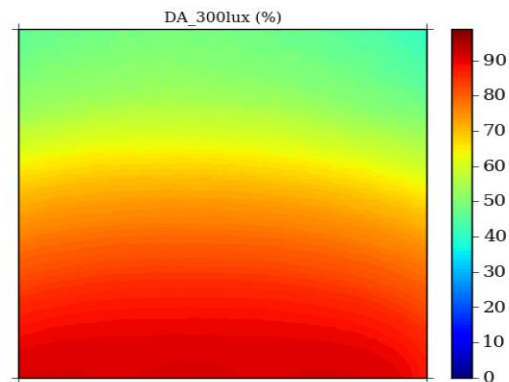


Figure 11 : Comparaison des situations avant et après rénovation de l'éclairage électrique d'une salle de classe sur la base de l'Autonomie en éclairage naturel (logiciel FENER, source : B. Bueno).

5.5 Projet C5 Advanced and Future Simulation Tools

Les systèmes complexes de fenêtres (*Complex Fenestration Systems*), composés principalement de protections solaires et de dispositifs de gestion de la lumière du jour, peuvent contribuer à atténuer la consommation énergétique des bâtiments en diminuant la charge thermique des locaux et la consommation de l'éclairage électrique. Les caractéristiques bidirectionnelles de transmission lumineuse de ces systèmes (BTDF - Bidirectional Transmission Distribution Function) sont mesurées expérimentalement au moyen de goniophotomètres bidirectionnels. La nouvelle norme pour le stockage des données BTDF et la simulation numérique de CFS est vraisemblablement le format Window XML, proposé par le Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) aux USA : celui-ci a été pris en compte dans cette étude.

Les programmes de simulation numérique pour la conception et la visualisation de systèmes complexes de fenêtres, mis en place pour le lieu d'étude considéré (transmission des composantes directe et diffuse de la lumière du jour), contribuent à faciliter l'utilisation de CFS par les architectes, les concepteurs d'éclairage et les praticiens du domaine de la construction. Des logiciels avancés de simulation d'éclairage naturel et artificiel, utilisables dans le cadre de projets de rénovation, ont été considé-

rés dans cette étude ; il en est de même des futurs outils et logiciels en cours de développement dans le cadre de programmes de recherche.

Les principaux programmes de simulation d'éclairage pris en compte sont : DIALux evo, Fener, Geronimo, Radiance et Relux-Pro. Une description détaillée de ces logiciels est donnée dans le **Technical Report C5** ⁽¹⁷⁾, diffusé par l'Agence Internationale de l'Energie.

Ces programmes de simulation ont été appliqués à une même étude de cas, comprenant trois systèmes complexes de fenêtres (CFS) et un vitrage transparent, caractérisés par des propriétés BTDF (BTDF Data) décrites dans le format XML Window. Les systèmes en question, utilisés comme 'Benchmark', sont les suivants :

- Vitrage transparent
- Vitrage transparent avec store diffusant
- Vitrage transparent avec store vénitien
- Dispositif de gestion de la lumière du jour « Laser Cut Panel ».

Les propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse du store vénitien (store à lames réfléchissantes, Baumann-Hüppe AG) sont illustrées à la Figure 12. Ces dernières ont été mesurées par l'intermédiaire du gonio-photomètre bidirectionnel à imagerie numérique, conçu et réalisé au Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment (LESO-PB) de l'EPFL.

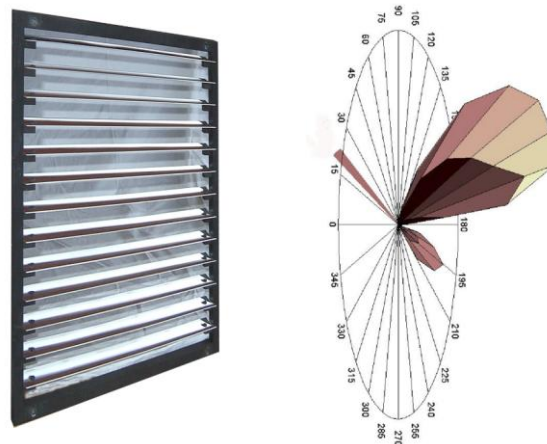


Figure 12 : Propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse (BTDF data) d'un store à lame réfléchissantes mesurées à l'aide d'un gonio-photomètre à imagerie numérique

La comparaison des résultats de simulation de ces logiciels de calcul d'éclairage naturel, réalisée sur la base de l'étude de cas définie dans le projet C ('Benchmarking'), a porté sur les indicateurs de performance lumineuse suivants :

- Facteur de lumière du jour sur le plan de travail (ciel couvert CIE)
- Images de synthèse par journées ensoleillées (ciel serein CIE)
- Autonomie annuelle en éclairage naturel

La Figure 13 représente une image de synthèse d'une salle de classe, pourvue d'un dispositif de type « Laser Cut Panel », obtenue par l'intermédiaire du logiciel Geronimo/Radiance. L'image de gauche

illustre l'équivalent d'une vision humaine de cette salle de classe, celle de droite représente la distribution de l'éclairement naturel à l'intérieur du local. L'effet de déviation de la lumière du jour vers le plafond peut être observé sur ces deux images.

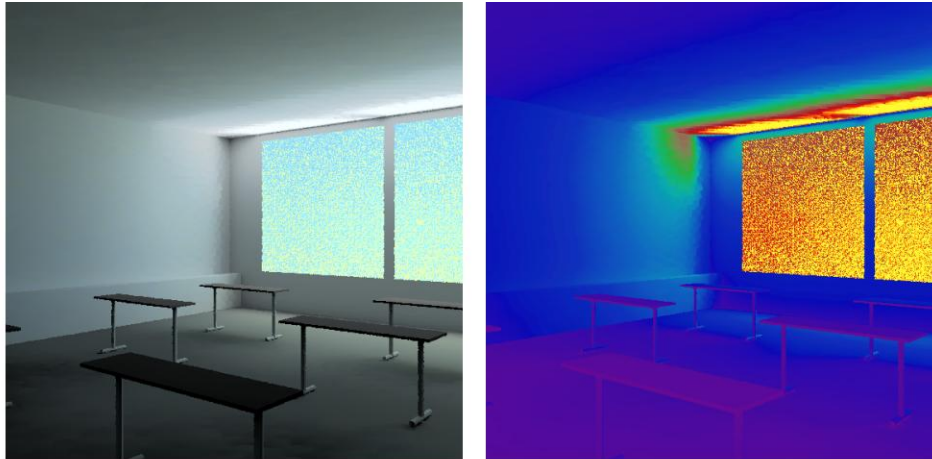


Figure 13 : Images de synthèse d'une salle de classe équipée de dispositifs de déviation de la lumière du jour ; (gauche) image équivalent à la vision humaine, (droite) distribution de l'éclairement naturel à l'intérieur de la classe (logiciel Geronimo/Radiance).

L'analyse de la dispersion des résultats de simulation montre des écarts importants entre les différents logiciels. La Figure 14 illustre les différences observées entre les cinq outils considérés, en ce qui concerne le facteur de lumière du jour. Ces écarts peuvent, en partie, être expliqués par la diversité des modèles 3D utilisés pour les simulations et par le choix des paramètres de simulation : des écarts ont, en effet, été observés pour un même logiciel de simulation (e.g. le programme ECLAT par exemple).

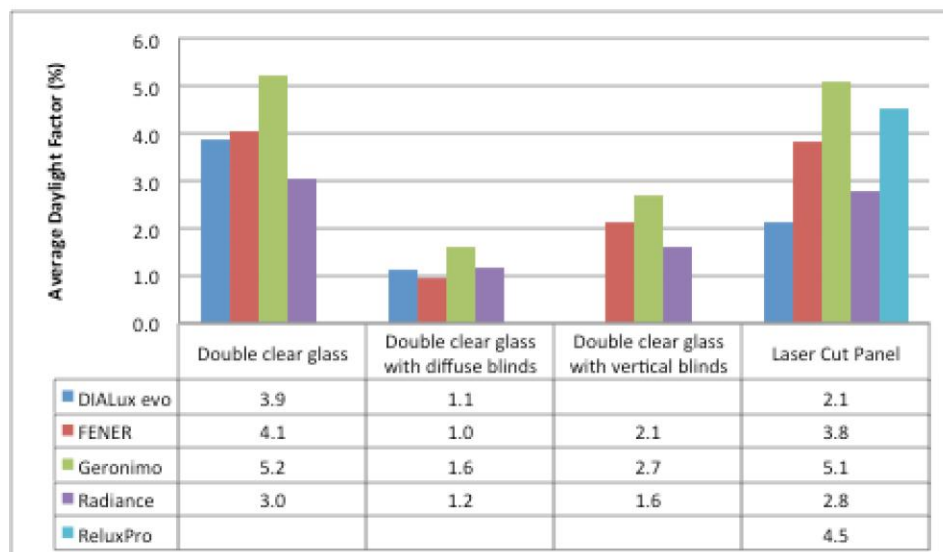


Figure 14 : Valeurs moyennes du facteur de lumière du jour, obtenues par le biais d'outils avancés de simulation d'éclairage naturel pour trois systèmes complexes de fenêtres et un vitrage transparent (format Window XML).



En raison de la multiplicité des sources d'erreurs potentielles (y.c. celles induites par les utilisateurs de l'outil), une conclusion définitive concernant la précision des outils avancés de calcul d'éclairage naturel ne peut actuellement être tirée. On peut noter, cependant, que la qualité du rendu de l'image de synthèse dépend grandement de la résolution des données BTDF : celle-ci peut être très grossière dans certains cas. En l'état actuel, toutefois, les outils avancés de simulation peuvent fournir de précieuses indications en ce qui concerne la répartition de la lumière du jour dans un local, permettant ainsi d'avoir une idée très satisfaisante des profils d'éclairement par la lumière naturelle.

5.6 Activités dans les autres SubTasks

Aucune prestation n'a été fournie par les participants suisses à la **SubTask A Market and Policies** ou à la **SubTask D Case Studies**, conformément aux accords au plan national et international.

Les activités prévues dans le cadre de la **SubTask B Daylighting and Electric Lighting Solutions** sont issues du projet de recherche OFEN *Micro3D – Optimisation de l'utilisation de la lumière du jour par fabrication de microstructures 3D encapsulées*, portant sur le développement de dispositifs optiques de gestion de la lumière du jour et du confort thermique soutenu par l'Office Fédéral de l'Energie⁽⁵⁾.

6. Discussion

6.1 Collaboration nationale

Un certain nombre de projets de recherche, financés par des institutions nationales (OFEN, VELUX Stiftung, CTI, etc.), a été mis en valeur dans le cadre de l'IEA-SHC Task 50. C'est le cas, en particulier, de projets en cours et/ou menés dernièrement à chef, comme :

- Projet OFEN *Greenlighting - High Performance Integrated Lighting Systems (2006-2008)*
- Projet OFEN *Computer Design and Visualisation Tool for Daylighting Systems (2009-2011)*
- Projet OFEN *Integrated Multifunctional Glazing for Dynamic Daylighting (2009-2014)*
- Projet VELUX *Post-Doctoral Fellowship Daylighting and Perception (2009-2015)*
- Projet OFEN *Global Lighting Performance (2013-2014)*

L'outil informatique de simulation de systèmes avancés de vitrages *Geronimo*⁽⁴⁾, développé dans le second projet, est un élément essentiel de la SubTask C. Les projets de recherche suivants, en cours de réalisation à l'heure actuelle, sont également mis en valeur dans ce cadre :

- SCCER FEEB&D *Future Energy Efficient Building and Districts – Dynamic Glazing & Multifunctional Buildings Envelope (2014-2016)*
- SCCER FEEB&D *Future Energy Efficient Building and Districts - Self-Sufficient Lighting Systems (2014-2016)*

Des adaptations ont toutefois été apportées aux résultats de ces projets nationaux en vue de leur valorisation sur le plan international dans le cadre de l'IEA-SHC Task 50.

6.2 Collaboration internationale

La participation suisse à l'IEA-SHC Task 50 a été conforme au mode de fonctionnement de l'Agence International de l'Energie (IEA), qui confie la coordination et l'exécution des activités prévues dans ce cadre à un **Operating Agent (OA)**, assisté de plusieurs **SubTask Leaders**.

Une description détaillée des activités, réalisées dans le cadre de la **SubTask C Methods and Tools** et placées sous la responsabilité du LESO-PB/EPFL, est donnée dans l'**IEA Task 50 Workplan**⁽²⁾. Ces dernières comprennent quatre projets distincts, dont les principaux objectifs sont les suivants :

- **Projet C1 Analysis of Workflow and Needs** - Procéder à une enquête, auprès des praticiens des pays participants, en vue de déterminer leurs besoins et leur comportement en matière d'éclairage et de rénovation de bâtiments;
- **Projet C2 State-of-the-Art Review** - Etablir la liste des outils informatiques et méthodes de décision, basés sur des indicateurs de performances appropriées, contribuant à assister les praticiens dans le cadre de rénovations de façades et d'installations d'éclairage électrique;
- **Projet C3 Development of a simple Integrated Rating Model** - Considérer ces outils informatiques et méthodes de décision, en vue de leur mise en opération auprès des praticiens et contribuer à l'amélioration de leur potentiel économique en matière de stratégies de rénovation d'éclairage;
- **Projet C4 Energy Audit Procedures** - Analyser les procédures de diagnostic et d'analyse énergétique existantes, afin d'identifier la procédure appropriée à des stratégies de rénovation d'éclairage
- **Projet C5 Advanced Simulation Tools** - Passer en revue les logiciels avancés de simulation numérique de systèmes complexes de fenêtres et d'éclairage artificiel et procéder à leur *Benchmarking* sur la base d'études de cas

Un nombre restreint d'activités a été prévu dans le cadre de la **SubTask B Daylighting and Electric Lighting Solutions**. Il s'agit principalement d'un projet de recherche concernant des vitrages micro-structurés pour l'éclairage naturel et la gestion dynamique du confort thermique, financé par l'OFEN⁽⁵⁾ qui a fait actuellement l'objet d'un Doctorat et d'un Post-doctorat⁽⁶⁾. Il en est de même des travaux réalisés par Estia SA pour le projet OFEN *Global Lighting Performance*, valorisés dans le cadre de la **SubTask D Case Studies**.

7. Conclusion

Les partenaires suisses ont agi selon le plan d'action de l'**IEA-SHC Task 50 Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings**, conformément au mandat qui leur a été confié dans la cadre de la **SubTask C Methods and Tools**. La plupart des objectifs fixés, comprenant les tâches suivantes, ont ainsi été atteints :

- Analyse et publication des résultats des questionnaires électroniques ;
- Description et comparaison des outils de conception et dimensionnement en rénovation énergétique d'éclairage ;
- Développement d'une méthode simplifiée d'évaluation des performances énergétiques de bâtiments en vue de leur rénovation en éclairage ;
- Description et comparaison d'indicateurs de performance énergétiques en lumière naturelle par le biais d'une mise en œuvre sur des études de cas ;



- Sélection de programmes avancés de simulation de performance lumineuse de systèmes complexes de vitrage par le biais d'une mise en œuvre sur des études de cas.

Les résultats acquis dans le cadre de l'**IEA-SHC Task 50 SubTask C**, ont été consignés dans une série de **IEA SHC T50 Technical Reports**, qui font actuellement l'objet de publications ⁽¹⁴⁻¹⁷⁾ ; ils seront accompagnés du **Website Lighting Retrofit Advisor** dédié à cet effet, qui sera prochainement mis en ligne.

8. Perspectives futures

Les activités de recherche, menées à bien dans le cadre de l'**IEA-SHC Task 50 Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings**, ont permis d'atteindre d'importants d'objectifs constituant une base solide pour de futurs travaux. Ces derniers devraient permettre de poursuivre la collaboration nationale sur les thèmes abordés dans le cadre de l'IEA-SHC Task 50. C'est le cas, en particulier, des travaux prévus au sein de :

- SCCER FEEB&D *Future Energy Efficient Building and Districts (Phase II 2017-2020)* – Dynamic and EC Glazings (Poursuite des activités sur les vitrages microstructurés / SubTask B) ;
- SCCER FEEB&D *Future Energy Efficient Building and Districts (Phase II 2017-2020)* – Automated 'Eyesight' Venetian Blinds (Poursuite des activités de modélisation et de simulation de systèmes complexes de fenêtres / SubTask C) ;
- SCCER FEEB&D *Future Energy Efficient Building and Districts (Phase II 2017-2020)* – High Dynamic Range Vision Sensing Technology (Valorisation des activités portant sur la gestion dynamiques des stores et de l'éclairage / SubTask D).

Des projets pilotes et de démonstration s'appuyant sur ces mêmes travaux de recherche sont prévus dans le cadre de la réalisation d'une unité expérimentale de la plateforme d'innovation technologique NEST de l'EMPA à Dübendorf (2017-2020). D'autres activités sont prévues sur le plan international dans le cadre de l'**IEA-SHC Task Definition Phase Integrated Solutions for Daylight and Electric Lighting**, initiée au cours de l'automne 2016.

9. Références

- [1] IDA Energie, **Stand und Perspektiven Energieforschung**, Arbeitsgruppe Forschung, SBF Bern (2011).
- [2] IEA-SHC Task 50, **Workplan IEA-SHC Task 50**, Status October 2012, Fraunhofer IBP, Stuttgart/Germany (2012). <http://task50.iea-shc.org>
- [3] IEA-SHC Task 50, **Annex IEA-SHC Task 50**, Status November 2012, Fraunhofer IBP, Stuttgart/Germany (2012). <http://task50.iea-shc.org>
- [4] J. Kämpf and J.-L. Scartezzini, **Geronimo : Visualisation of the Impact of Complex Fenestration Systems (CFS) based on the Radiance Imaging Software**, LESO-PB/EPFL (2012). <http://leso.epfl.ch/cms/lang/fr/pid/75134>
- [5] A. Schüler, **Projet OFEN : MICRO3D - Optimisation de l'utilisation de la lumière du jour par fabrication de microstructures 3D encapsulées**, LESO-PB/EPFL (2013).
- [6] A. Kostro, **Microstructured Glazing for Daylighting, Glare Protection, Seasonal Thermal Control and Clear View**, PhD Thesis N°6465, LESO-PB/EPFL, 2015.
- [7] IEA-SHC Task 50, **1st Experts Meeting – Minutes of SubTask C**, Lund (Sweden), 20. – 22. March 2013.
- [8] IEA-SHC Task 50, **2nd Experts Meeting – Minutes of SubTask C**, Copenhagen (Denmark), 23. – 25. September 2013.
- [9] IEA-SHC Task 50, **3rd Experts Meeting – Minutes of SubTask C**, Innsbruck (Austria), 10. – 12. March 2014.
- [10] IEA-SHC Task 50, **4th Experts Meeting – Minutes of SubTask C**, Fukuoka (Japan), 29. September – 1. October 2014.
- [11] IEA-SHC Task 50, **5th Experts Meeting – Minutes of SubTask C**, Hurtigruten (Norway), 16. – 18. March 2015.
- [12] IEA-SHC Task 50, **6th Experts Meeting – Minutes of SubTask C**, Brasilia (Brasil), 28. – 30. September 2015.
- [13] B. Paule, J. Kämpf and M.-C. Dubois, **Lighting Retrofit in current Practice : Results from Survey of IEA Task 50**, Proceedings of CISBAT 2015 International Conference, pp. 277-282, EPFL Campus, September 8.-10. 2015.
- [14] J. Kämpf, B. Paule et al, **Lighting Retrofit in current Practice – Evaluation of an International Survey**, IEA-SHC Task 50 - Technical Report C1, EPFL Lausanne, April 2016. http://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical%20Report_T50_C1_final.pdf
- [15] J. Kämpf, B. Paule et al, **Methods and Tools for Lighting Retrofits – State of the Art Review**, IEA-SHC Task 50 - Technical Report C2, EPFL Lausanne, April 2016. http://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical_Report_T50_C2_final.pdf
- [16] J. Kämpf, B. Paule et al, **Energy Audit and Inspection Procedure**, IEA-SHC Task 50 - Technical Report C4, EPFL Lausanne, April 2016. http://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical_Report_T50_C4_final.pdf
- [17] J. Kämpf, B. Paule et al, **Advanced and Future Simulation Tools**, IEA-SHC Task 50 - Technical Report C5, EPFL Lausanne, April 2016. http://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical_Report_T50_C5_final.pdf



10. Annexes



Lighting retrofit in current practice

Evaluation of an international survey

April 2016

Jérôme KAEMPF, Bernard PAULE, Magali BODART, Bruno BUENO, Stanislas DARULA, Arnaud DENEYER, David GEISLER-MORODER, Niko GENTILE, Anna HOIER, Kjeld JOHNSSEN, Yasuko KOGA, Cláudia NAVES, DAVID AMORIM, Eino TETRI

IEA SHC Task 50: Advanced Lighting Solutions for Retro- fitting Buildings

DAYLIGHTING - ELECTRIC LIGHTING -
LIGHTING CONTROLS

Task Information

Duration

January 2013 - December 2015

Website

<http://task50.iea-shc.org/>

E-Mail

task50.info@iea-shc.org

BACKGROUND AND OBJECTIVES OF THE TASK

Lighting accounts for approximately 19 % (□3000 TWh) of the global electricity consumption. Without essential changes in policies, markets and practical implementations it is expected to continuously grow despite significant and rapid technical improvements, like solid-state lighting, new facade systems and light management techniques. With a small volume of new buildings, major lighting energy savings can only be realized by retrofitting the existing building stock. Compared to existing installations, the majority of new solutions allow a significant increase in efficiency - easily by a factor of three or more - going along with highly interesting payback times. However, lighting refurbishments are still lagging behind compared to what is economically and technically possible and feasible.

With the activities in Task 50, we aim at improving the lighting refurbishment process in non-residential buildings in order to unleash energy saving potentials while at the same time improving lighting quality.

The overall objective is to accelerate retrofitting of daylighting and electric lighting solutions in the non-domestic sector using cost effective, best-practice approaches, which can be used on a wide range of typical existing buildings.

This includes the following activities:

- Develop a sound overview of the lighting retrofit market
- Trigger discussion, initiate revision and enhancement of local and national regulations, certifications and loan programs

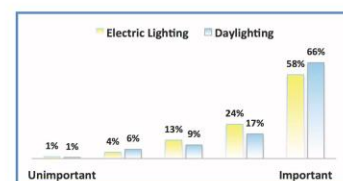
- Increase robustness of daylight and electric lighting retrofit approaches technically, ecologically and economically
- Increase understanding of lighting retrofit processes by providing adequate tools for different stakeholders
- Demonstrate state-of-the-art lighting retrofits
- Develop as a joint activity an electronic interactive source book including design inspirations, design advice, decision tools and design tools

For further information, please visit the webpage of Task 50: <http://task50.iea-shc.org/>

INTERNATIONAL SURVEY ABOUT METHODS AND TOOLS

Surveys and socio□professional studies carried out at national and international levels contribute to better understand the lighting retrofit process. Within the framework of subtask C1 (Analysis of workflow and needs), we initiated the distribution of an online survey dealing with lighting retrofitting in practice.

This survey has been proposed in eleven (11) different languages, (namely Danish, Dutch, English, Finnish, French, German, Italian, Japanese, Portuguese (Brazil), Slovak, Spanish), in order to gather information from the different cultures and countries. Altogether, French, English and German languages represent more than 80% of the 1100 answers collected.



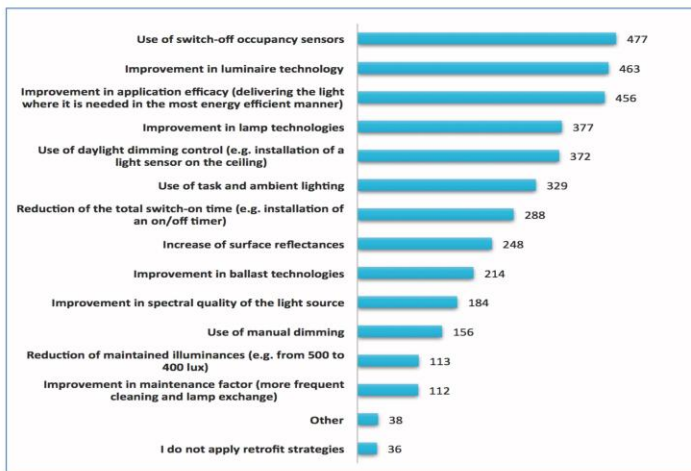


IEA SHC Task 50 - Fact Sheet Subtask C1 Evaluation of an international survey

While the majority of respondents agree to stress the importance of light in the refurbishment process, the outcomes of the survey highlight the following points:

The main retrofit strategies used in current practice focus on the implementation of electric lighting technologies such as:

- Use of switch-off occupancy sensors.
- Improve luminaire technologies.



- Promote task lighting where appropriate.

In the preliminary design stage, the respondents mainly rely on their own experience while in the detailed design phase use computer simulations.

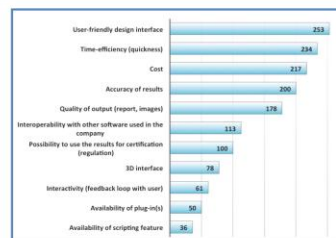
Regarding the existing situation there is hardly ever information on energy consumption due to lighting, and most of time, the available information about the building or infrastructure is limited to 2D documents (no 3D information).

Most of the respondents claim that they use a combined tool for electric and daylighting.

Two simulation tools are dominating the studied market: Dialux and Relux.

The three main factors that most influence the choice of software are as follow:

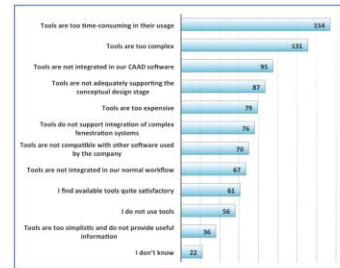
- User-friendly interface.
- Time-efficiency (simulation quickness).
- Cost.



The three most important barriers that are identified are as follow:

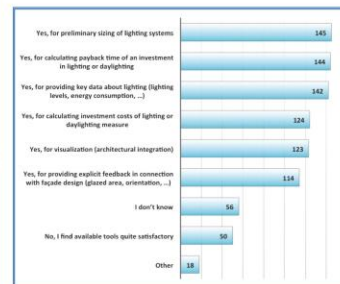
- Tools are too time-consuming in their usage.

- Tools are too complex to use.
- Tools are not integrated in CAAD software.



The three main improvements that are mentioned to support the integration of electric lighting or daylighting considerations within the retrofit process are as follows:

- Preliminary sizing of lighting system.
- Calculation of pay-back time.
- Providing key figures about energy consumption.



In conclusion, we note that the current tools while deemed globally satisfactory by the respondents, contain potential for improvement. In particular, it would be desirable that the tools can be used in early design stages, which requires great speed and simplicity of use, while enabling to perform global energy analysis and, ideally, also to include economic data.

Pictures: J. Kaempf, B. Paule



Methods and tools for lighting retrofits

State of the art review

April 2016

Jérôme KAEMPF, Bernard PAULE, Magali BODART, Jan de BOER, Bruno BUENO, Marie-Claude DUBOIS, David GEISLER-MORODER, Marina FUSCO, Markus HEG, Michael JORGENSEN, Nicolas ROY, Jan WIEHOLD.

IEA SHC Task 50: Advanced Lighting Solutions for Retro- fitting Buildings

DAYLIGHTING - ELECTRIC LIGHTING -
LIGHTING CONTROLS

Task Information

Duration

January 2013 - December 2015

Website

<http://task50.iea-shc.org/>

E-Mail

task50.info@iea-shc.org

BACKGROUND AND OBJECTIVES OF THE TASK

Lighting accounts for approximately 19 % (3000 TWh) of the global electricity consumption. Without essential changes in policies, markets and practical implementations it is expected to continuously grow despite significant and rapid technical improvements, the solid-state lighting, new facade systems and light management techniques. With a small volume of new buildings, major lighting energy savings can only be realized by retrofitting the existing building stock. Compared to existing installations, the majority of new solutions allow a significant increase in efficiency - easily by a factor of three or more - going along with highly interesting payback times. However, lighting refurbishments are still lagging behind compared to what is economically and technically possible and feasible.

With the activities in Task 50, we aim at improving the lighting refurbishment process in non-residential buildings in order to unleash energy saving potentials while at the same time improving lighting quality.

The overall objective is to accelerate retrofitting of daylighting and electric lighting solutions in the non-domestic sector using cost effective, best-practice approaches, which can be used on a wide range of typical existing buildings.

This includes the following activities:

- Develop a sound overview of the lighting retrofit market
- Trigger discussion, initiate revision and enhancement of local and national regulations, certifications and loan programs

- Increase robustness of daylight and electric lighting retrofit approaches technically, ecologically and economically
- Increase understanding of lighting retrofit processes by providing adequate tools for different stakeholders
- Demonstrate state-of-the-art lighting retrofits
- Develop as a joint activity an electronic interactive source book including design inspirations, design advice, decision tools and design tools

For further information, please visit the webpage of Task 50: <http://task50.iea-shc.org/>

METHODS AND TOOLS FOR LIGHTING RETROFITS: STATE OF THE ART REVIEW

Methods and tools for lighting retrofits of buildings should fulfil the needs of architects and lighting designers, which are focused on "lighting solutions"; it should also fulfil those of building services engineers, which are centered on "problem solving". Both approaches should contribute in an efficient way to:

- Support the users for the description of the lighting retrofit project;
- Allow performance assessments of alternative retrofitting solutions;
- Promote the choice of optimal retrofitting solutions;
- Use the appropriate metrics for lighting, visual comfort and energy performance assessments.

In order to assist the practitioners in the choice of an appropriate method and tool for their specific need, a state-of-the-art review of the existing simplified methods and advanced simulation tools was carried out. The following categories together with the available method and tools for practitioners were identified and described:

IEA SHC Task 50 - Fact Sheet Subtask C2 Evaluation of an international survey

1. Facility management tools (global diagnostic tool including economic aspects):
Epilux[®], Lotse Energieeffiziente Innenbeleuchtung, Optimiser, relight



Figure 1: Screenshots of the LOTSE interface (Facility management)

2. Computer-assisted architectural drawing (CAAD) / Computer-aided design (CAD) tools:
3DSMaxDesign, Autodesk Autocad, Rhinoceros, Sketchup

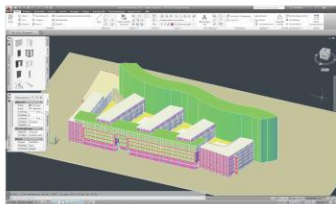


Figure 2: Screenshots of the AUTOCAD interface (CAAD/CAD)

3. Visualization tools:
In their day-to-day practice, architects and designers often need to produce images of their projects, in order to fix their design, convince their clients or to win a competition. These pictures show illuminated scenes (day-time or night-time scenarios) including light sources, colors, textures, shiny surfaces etc., trying to produce photorealistic effects.

The survey conducted within Subtask C1 showed that some people make confusion between Visualization and Simulation. Although they play an important role as a basis for discussion and can be crucial in order to explain the light in a room, they will in no way replace the result of light calculation programs (ray-tracing and other rendering techniques based on physics principles): the simulation tools.

4. Simulation tools:
Daysim, Dialux, Dialux-Evo, Dial-Lighting, Diva-for-Rhino, Fener, Geronomo, Ies-ve, Lightsolve, Radiance, ReluxPro, Velux Daylight Visualizer

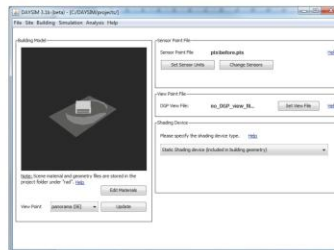


Figure 3: Screenshot of the Daysim interface (Simulation)

A global scheme for the comparison of the features of the described method and tools was further proposed to quickly assess their potentialities using a simple table. Furthermore, the primary results (daylight factor) of the simulation tools on a refurbishment case study were assessed and compared. The case study consists of an existing classroom located in Switzerland that went recently through a lighting retrofit process. General information about the classroom is provided in order to allow its simulation by the lighting experts. Those consist in 2D plans and basic photometric information in order to mimic the real life situation of refurbishment processes for the practitioners. The case-study indicates the position and type of windows and luminaires in the original and the refurbished room in order to simulate daylight and electric lighting.

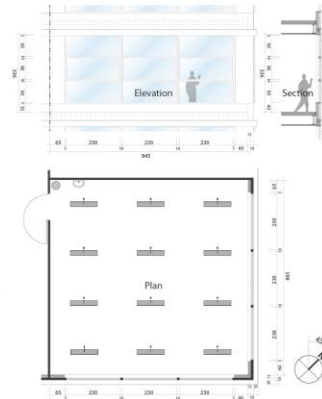


Figure 4: Case study definition for the original room

The dispersion between the results obtained with the different simulation tools is rather large for daylighting, indeed even though the case-study was described with great care and handled by lighting experts. This indicates that the end-users of such tools should not rely at 100 % on the simulation results for daylighting. However, the dispersion on the electric lighting illuminance results exhibits a reasonable accuracy within 10-15%, indicating that electrical consumption calculations based only on electric lighting are more reliable than the ones relying on a combination of daylight and electric light.

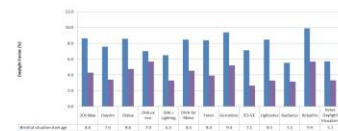


Figure 5: Results for the different simulation tools on the case study (original and refurbished).

Pictures: ©authors



Methods and tools for lighting retrofits

Energy audit and inspection procedures

April 2016

Jérôme KÄMPF, Bernard PAULÉ, Chantal BASURTO, Magali BODART, Jan de BOER, Marie-Claude DUBOIS, David GEISLER-MORODER, Jørgen JOHNSSEN, Michael NØRGENSEN, Jan WIENOLD

IEA SHC Task 50: Advanced Lighting Solutions for Retro- fitting Buildings

DAYLIGHTING – ELECTRIC LIGHTING – LIGHTING CONTROLS

Task Information

Duration

January 2013 – December 2015

Website

<http://task50.iea-shc.org/>

E-Mail

task50.info@iea-shc.org

BACKGROUND AND OBJECTIVES OF THE TASK

Lighting accounts for approximately 19 % (3000 TWh) of the global electricity consumption. Without essential changes in policies, markets and practical implementations it is expected to continuously grow despite significant and rapid technical improvements, the solid-state lighting, new facade systems and light management techniques. With a small volume of new buildings, major lighting energy savings can only be realized by retrofitting the existing building stock. Compared to existing installations, the majority of new solutions allow a significant increase in efficiency – easily by a factor of three or more – going along with highly interesting payback times. However, lighting refurbishments are still lagging behind compared to what is economically and technically possible and feasible.

With the activities in Task 50, we aim at improving the lighting refurbishment process in non-residential buildings in order to unleash energy saving potentials while at the same time improving lighting quality.

The overall objective is to accelerate retrofitting of daylighting and electric lighting solutions in the non-domestic sector using cost effective, best-practice approaches, which can be used on a wide range of typical existing buildings.

This includes the following activities:

- Develop a sound overview of the lighting retrofit market
- Trigger discussion, initiate revision and enhancement of local and national regulations, certifications and loan programs

- Increase robustness of daylight and electric lighting retrofit approaches technically, ecologically and economically
- Increase understanding of lighting retrofit processes by providing adequate tools for different stakeholders
- Demonstrate state-of-the-art lighting retrofits
- Develop as a joint activity an electronic interactive source book including design inspirations, design advice, decision tools and design tools

For further information, please visit the webpage of Task 50: <http://task50.iea-shc.org/>

ENERGY AUDIT AND INSPECTION PROCEDURES

Energy audit procedures should be used in buildings before and after refurbishment to evaluate the benefits of lighting retrofit strategies. Monitoring of the daylight performance of buildings using the appropriate metrics as well as the assessment of lighting power densities and electricity consumption (energy monitoring) should be carried out in a standardized way. Long term as well as short-term procedures shall be considered. Inspection procedures should document the status of a lighting installation considering for instance the maintenance situation, electrical status, lighting quality provided (Ra_{vis}, glare etc.).

The work carried out within this subtask consists in three sections:

The **first section** deals with the description of the different metrics available to evaluate the daylight contribution. Regarding the measurement of **daylight availability**, the following metrics are described:

- Daylight factor,
- CIE Curves,
- ASE-SLD Charts,

IEA SHC Task 50 - Fact Sheet Subtask C4 Energy audit and inspection procedures

- Diffuse Daylight Autonomy.
- Dynamic Daylight Autonomy.
- Useful Daylight Illuminance.
- Continuous Daylight Autonomy.
- Maximum Daylight Autonomy.
- Spatial Daylight Autonomy.
- Annual Sunlight Exposure.
- Relative Luminous Exposure.

Regarding the evaluation of daylight glare, the following metrics are described:

- Daylight glare probability (DGP).
- Daylight glare index (DGI).

For each of the metrics, a short description is given, followed by an example. Then comes a paragraph describing the boundaries of the metric and some references.

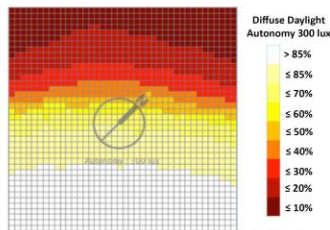
The topic of the second section (Energy monitoring procedures for electric lighting systems) is addressed in detail within the framework of subtask D (Case-studies). This chapter does not intend to report on this work, but simply focuses on the presentation of a "flash" analysis method used in Switzerland and Belgium to assess the lighting status of existing buildings. This simple method, based on a quick tour of the buildings, is used as a kind of checklist. Insofar as it does not include detailed monitoring (only a few punctual illuminance measurements) it does not intend to draw a detailed view of the situation but aims to identify the potential actions for lighting refurbishment.

In the third section (Benchmark on case-study) we display, for the different metrics, the results obtained by the simulation tools described in subtask C-2. The case study corresponds to a refurbished classroom described in subtask C2.

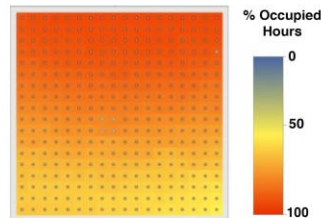
The work under carried out within the framework of this subtask is helpful to better understand the different metrics emerged in recent years.



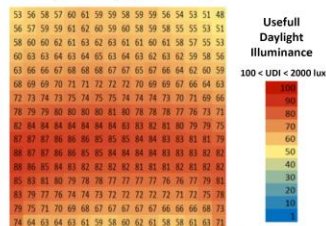
Case-study used for the metrics comparison



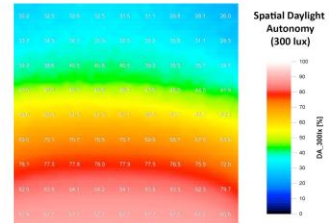
Diffuse Daylight Autonomy (DIAL-Lighting)



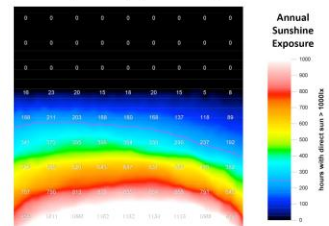
Dynamic Daylight Autonomy (DIAL-Rhino)



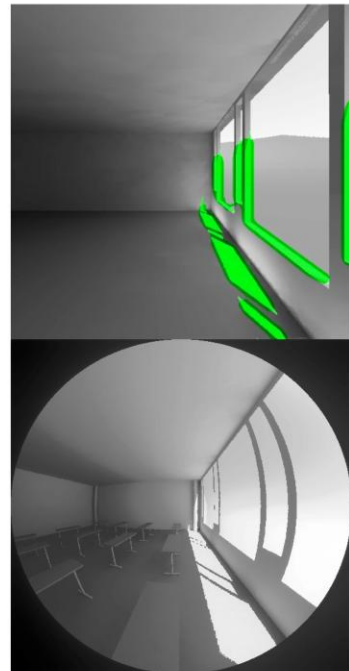
Useful Daylight Illuminance (IES-VE)



Spatial Daylight Autonomy (Radiance)



Annual Sunshine Exposure (Radiance)



Renderings used for Daylight Glare Probability calculation (DIAL-Lighting & Geronimo)

Pictures: J. Kaempf, B. Paute, D. Geisler-Moroder, M.-C. Dubois, M. Jørgensen.



Methods and tools for lighting retrofits

Advanced and future simulation tools

April 2016

Jérôme KAEMPF, Bernard PAULE, Jan de BOER, Eike BUDDE, Bruno BUENO, David GIESLER-MORODER.

IEA SHC Task 50: Advanced Lighting Solutions for Retro- fitting Buildings

DAYLIGHTING - ELECTRIC LIGHTING -
LIGHTING CONTROLS

Task Information

Duration

January 2013 - December 2015

Website

<http://task50.iea-shc.org/>

E-Mail

task50.info@iea-shc.org

BACKGROUND AND OBJECTIVES OF THE TASK

Lighting accounts for approximately 19 % (3000 TWh) of the global electricity consumption. Without essential changes in policies, markets and practical implementations it is expected to continuously grow despite significant and rapid technical improvements, like solid-state lighting, new facade systems and light management techniques. With a small volume of new buildings, major lighting energy savings can only be realized by retrofitting the existing building stock. Compared to existing installations, the majority of new solutions allow a significant increase in efficiency - easily by a factor of three or more - going along with highly interesting payback times. However, lighting refurbishments are still lagging behind compared to what is economically and technically possible and feasible.

With the activities in Task 50, we aim at improving the lighting refurbishment process in non-residential buildings in order to unleash energy saving potentials while at the same time improving lighting quality. The overall objective is to accelerate retrofitting of daylighting and electric lighting solutions in the non-domestic sector using cost effective, best-practice approaches, which can be used on a wide range of typical existing buildings.

This includes the following activities:

- Develop a sound overview of the lighting retrofit market
- Trigger discussion, initiate revision and enhancement of local and national regulations, certifications and loan programs

- Increase robustness of daylight and electric lighting retrofit approaches technically, ecologically and economically
- Increase understanding of lighting retrofit processes by providing adequate tools for different stakeholders
- Demonstrate state-of-the-art lighting retrofits
- Develop as a joint activity an electronic interactive source book including design inspirations, design advice, decision tools and design tools

For further information, please visit the webpage of Task 50: <http://task50.iea-shc.org/>

ADVANCED AND FUTURE SIMULATION TOOLS

Complex fenestration systems, composed principally of solar shadings and daylight redirection devices, can contribute to mitigating the energy consumption of buildings through reduction of thermal load and electric lighting consumption.



Figure 1: Solar protection system with light redirection by Baumann-Hüppe

Bidirectional light transmission properties of such systems (BTDF, Bidirectional Transmission Distribution Function) can be monitored using bidirectional gonioscopes. The emerging standard for data storage and simulation seems to be the Window XML format, which is considered in this study.

IEA SHC Task 50 - Fact Sheet Subtask C1 Evaluation of an international survey

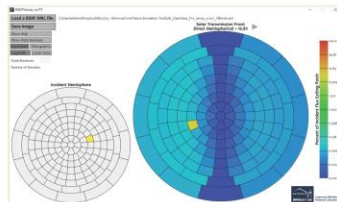


Figure 2: Transmission properties of Venetian blinds displayed in an projection of the hemisphere

Computer simulation programmes for the design and visualisation of complex fenestration systems located on-site (transmission of direct and diffuse daylight components) can facilitate and promote the use of CFS by architects, lighting designers and building practitioners. Advanced simulation tools aiming at daylighting and electric lighting systems within retrofit projects are considered as well as (future) tools under development.

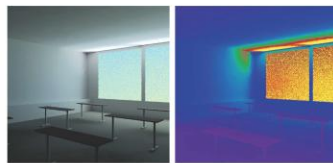


Figure 3: Laser cut panel simulated under a clear sky with Geronimo, human vision (left) and illuminance rendering (right)

The following tools are examined: DIALux evo, Fener, Geronimo, Radiance, Relux-Pro. They are applied to a special case study with 3 windows fully equipped of the following BTDFs in Window XML format:

1. Clear glazing.
2. Clear glazing with diffuse blinds.
3. Clear glazing and vertical venetian blinds.
4. Redirecting CFS: Laser cut panel.

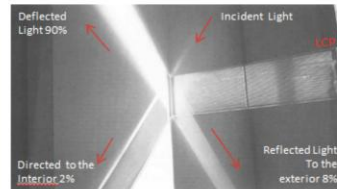


Figure 4: Picture of the deflected, reflected and redirected light components through the Laser cut panel

The tools are compared on a case-study of a school classroom where the windows are fully replaced by the different CFS.

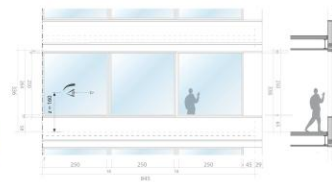


Figure 5: Case study with the glazed area of the South-East facade fully equipped with CFS

Different benchmarking exercises are realized to evaluate the daylight performance:

- Daylight factor values on the workplane (CIE overcast sky).
- Renderings with sunny conditions.
- Annual characteristics (daylight autonomy).

The analysis of the dispersion of the results between the different tools shows that the discrepancies are rather large between the different tools.

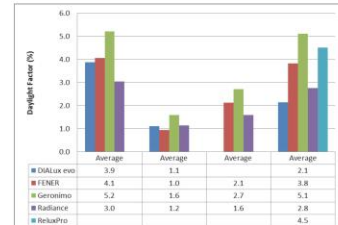


Figure 6: Daylight Factor obtained with the different simulation tools on the 4 CFS

This result may be explained by the diversity within the 3D models employed for the simulations and within the rendering parameters. Indeed, discrepancies were found even between software with similar simulation engines (RADIANCE for example). Due to the multiplicity of the potential error sources (including the ones from the users of the tool), a final conclusion is hard to draw. However, we can note that the quality of the rendering depends on the resolution of the BSDF itself, which, in the cases studied is very coarse.



Figure 7: Daylight distribution for the Laser cut panel rendered with RADIANCE

In its actual state, the simulation tools can give an indication of the light distribution in the room satisfactory enough to get an idea of illuminance profiles.

Pictures: ©Authors.