



COMPUTER DESIGN AND VISUALIZATION TOOL FOR DAYLIGHTING SYSTEMS

OUTIL INFORMATIQUE DE CONCEPTION ET DE VISUALISATION DE SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE NATUREL

Rapport annuel 2010

Auteur(s)	Prof. Dr J.-L. Scartezzini, Dr J. Kämpf, C. Basurto
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	154 393
Durée prévue du projet (de - à)	1 ^{er} janvier 2010 – 31 décembre 2011

RÉSUMÉ

Les systèmes complexes de fenêtres, composés principalement de **dispositifs de protection solaire et de déviateurs de lumière naturelle**, contribuent de manière significative à réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments (réduction des charges thermiques et des besoins en électricité). Des équipements scientifiques, mis sur pied à cet effet (goniophotomètre bidirectionnel à imagerie numérique), permettent de caractériser les **propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse (Bidirectional Transmission Density Function)** de ces systèmes. L'utilisation de ces données expérimentales par les praticiens est encore insuffisante, en particulier auprès des architectes et des éclairagistes. La mise sur pied d'un outil informatique, permettant de **concevoir et visualiser des systèmes complexes de fenêtres** en cours de fonctionnement, doit contribuer à faciliter leur mise en œuvre dans la pratique.

Le projet vise à tirer profit d'un goniophotomètre bidirectionnel à imagerie numérique, récemment mis sur pied à l'EPFL. Il s'appuie sur une étroite collaboration avec des partenaires académiques (MIT/USA, NUS/Singapore, Fraunhofer/Allemagne) et industriels (Relux Informatik, Baumann-Hüppe, etc.) et doit permettre de:

- Mesurer les **propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse** de dispositifs de protection solaire (stores à lamelles, etc.) et de déviateurs de lumière naturelle (SITECO Prism, 3M SOLF™ film, Laser Cut Panel, etc.);
- Elaborer un outil informatique simplifié de **visualisation de systèmes complexes de fenêtres intégrés en façade**;
- Elaborer un algorithme informatique détaillé de **dimensionnement de systèmes complexes de fenêtres intégrés en façade**.

Des règles pratiques, en vue de la mise en œuvre de systèmes complexes de fenêtres dans les bâtiments, seront élaborées à l'usage des praticiens.

Buts du projet

Les systèmes complexes de fenêtres, constitués principalement de **dispositifs de protection solaire et de déviateurs de lumière naturelle**, contribuent de manière significative à réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments administratifs et tertiaires (réduction des charges thermiques et des besoins en électricité) (Sca97).

Leur mise en œuvre par les acteurs de la construction (architectes, éclairagistes, fabricants industriels, etc.) n'est pas sans difficulté, dans la mesure où ils sont appelés :

- À être intégrés avec des installations d'éclairage artificiel efficaces en vue d'atteindre une utilisation rationnelle de l'énergie (combinaison d'éclairages naturel et artificiel);
- À satisfaire des contraintes ergonomiques toujours plus sévères (présence d'écrans de visualisation aux postes de travail) (Suv99).

De nouveaux équipements scientifiques (goniophotomètre bidirectionnel à imagerie numérique) ont été récemment mis sur pied en vue de caractériser précisément les **propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse de systèmes complexes de fenêtres (Bidirectional Transmission Density Function)** de ces systèmes.

Les grandeurs caractéristiques obtenues grâce à cet équipement scientifique – désignées par BTDF – indiquent dans quelle mesure et en quelle quantité, le flux de lumière naturelle reçu par un **système complexe de fenêtres** est dirigé vers l'intérieur d'un local, participant ainsi à son éclairage naturel. La Figure 1 représente les caractéristiques BTDF d'un dispositif de protection solaire (stores à lamelles, Baumann-Hüppe AG), visualisé à l'aide d'un diagramme polaire : une fraction significative du flux de lumière naturelle (angle d'incidence de 60°) est dévié en direction du plafond.

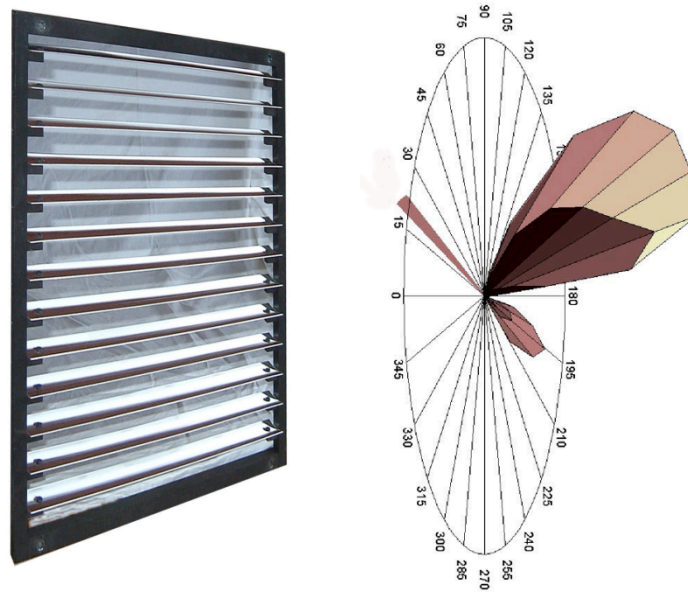


Figure 1 : Caractéristiques photométriques BTDF d'un dispositif de protection solaire mesurées à l'aide d'un goniophotomètre bidirectionnel à imagerie numérique

L'utilisation de ces caractéristiques photométriques dans la pratique est malheureusement encore insuffisante, en particulier auprès des architectes et des éclairagistes. Ces dernières sont toutefois comparables aux caractéristiques photométriques des sources et luminaires artificiels – désignées par solides photométriques – qui sont généralement présentes dans les catalogues de produits et facilitent leur choix.

La mise sur pied d'outils informatiques, permettant de **visualiser des systèmes complexes de fenêtres**, lors de la conception des bâtiments, doit contribuer à faciliter leur mise en œuvre dans la pratique (SLG93) (Sca97). Compte tenu de la complexité du processus de projection architecturale, deux outils de conception et de dimensionnement différents sont envisagés dans le cadre de ce projet :

- Un outil informatique simplifié de **visualisation de systèmes complexes de fenêtres** en fonction de la course du soleil (composante directe);
- Un algorithme informatique détaillé de **dimensionnement de systèmes complexes de fenêtres** intégrés en façade (méthode du lancer de rayons).

L'expérience acquise par le LESO-PB/EPFL, tant dans le domaine expérimental que dans le domaine de la simulation numérique en éclairage naturel et artificiel (And01) (Sca94), sera mise à profit dans ce projet.

Travaux effectués et résultats acquis

Le projet de recherche a été initié au début de l'année 2010. Son déroulement est conforme au plan de travail prévu, décrit dans la requête initiale. Les trois différentes étapes de réalisation du projet (Work-Packages) ont ainsi été progressivement abordées, conformément au calendrier initial :

- WP1 : Mesure des caractéristiques bidirectionnelles de transmission lumineuse de systèmes complexes de fenêtres ;
- WP2 : Elaboration d'un outil informatique simplifié de visualisation de systèmes complexes de fenêtres ;
- WP3 : Elaboration d'un algorithme informatique détaillé de dimensionnement de systèmes complexes de fenêtres.

Mesure des propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse (WP1)

La première étape de réalisation (WP1) a été entièrement achevée. Une **série d'échantillons de systèmes complexes de fenêtres** a été élaborée sur la base de produits industriels. Les propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse des échantillons (données BTDF) ont été caractérisées à l'aide d'un goniophotomètre bidirectionnel à imagerie numérique, conformément à un protocole international (IEA21) (cf. Figure 2). Les données BTDF ont été consignées dans des fichiers informatiques sur la base d'un format défini dans ce même cadre (Sca10). Un rapport de synthèse a été remis à cette occasion à l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN).

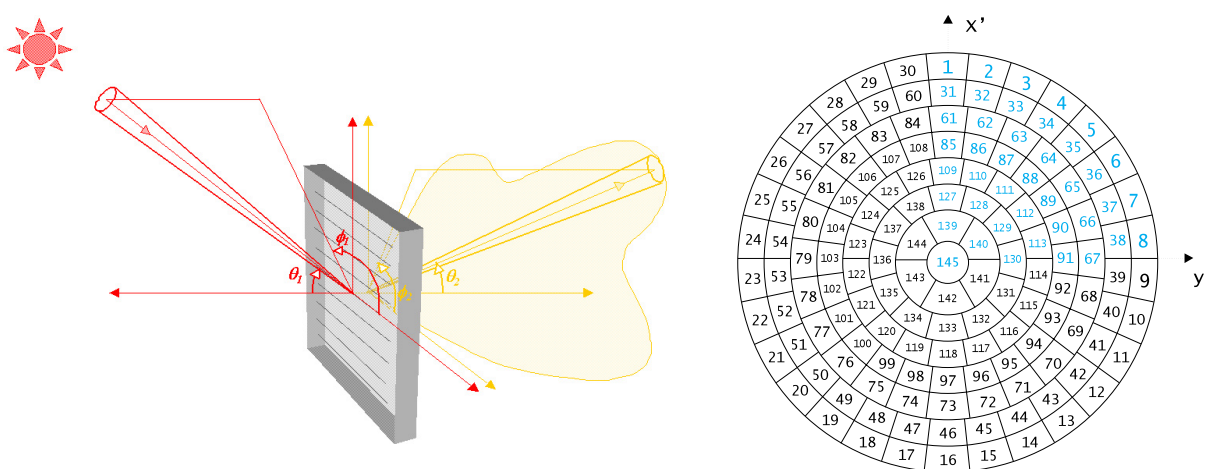


Figure 2 : Directions d'incidence d'éclairage des échantillons lors de mesures BTDF (IEA21)

Elaboration d'un outil informatique simplifié de visualisation (WP2)

Par souci de compatibilité entre les différentes plateformes informatiques (Mac, Linux et Windows), l'outil informatique simplifié de visualisation de systèmes complexes de fenêtres a été réalisé au moyen de la librairie Open Source Qt de Nokia. Cette librairie permet une utilisation aisée de OpenGL, une librairie graphique permettant l'affichage de géométries et de volumes 3D mémorisés sur une carte graphique. La version actuelle de l'interface, qui a été révisée grâce à plusieurs architectes du point de vue de sa facilité d'usage, regroupe la mise en mémoire graphique d'un local de bureau conventionnel, ainsi que son affichage au centre de la fenêtre de l'application. La Figure 3 montre une copie d'écran de l'outil actuel.

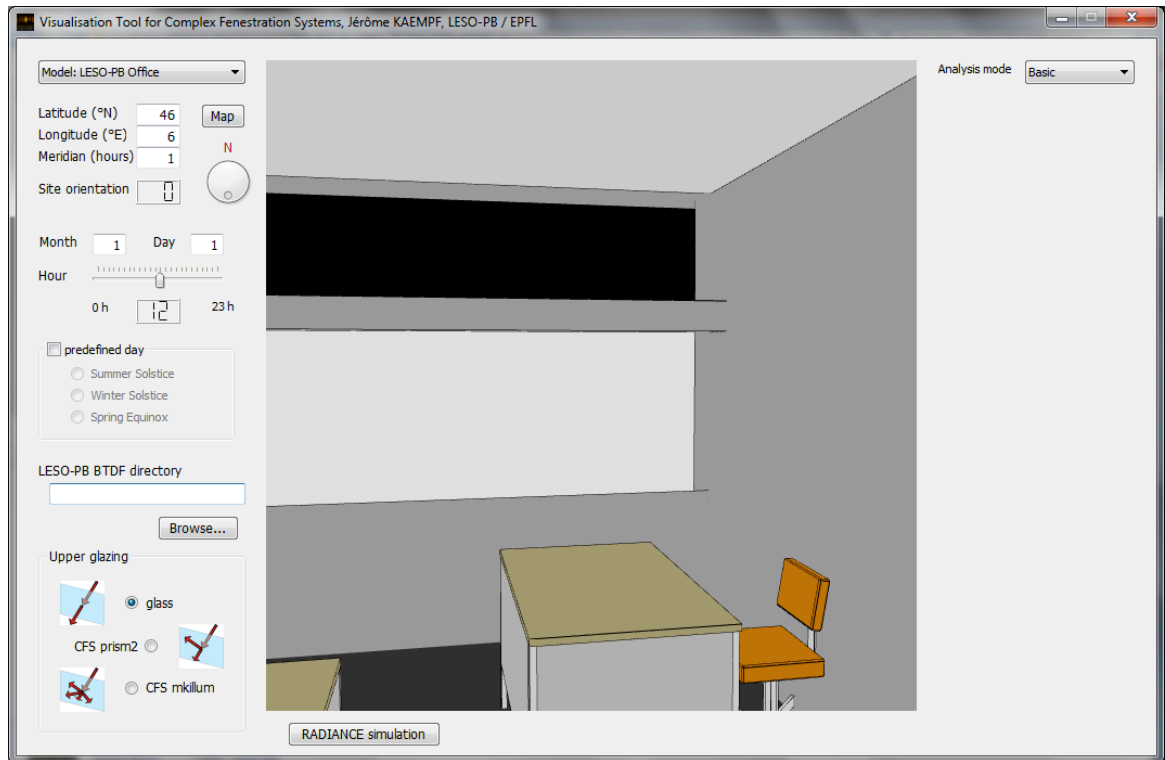


Figure 3 : Interface graphique de l'outil simplifié de visualisation de systèmes complexes de fenêtres (version Windows 7)

L'interaction à l'aide de la souris dans la zone d'affichage du local (un bureau dans notre cas) permet par un simple « clic » de modifier l'axe de vision (direction du regard) et de contrôler le « zoom » à l'aide de la roulette.

Des « boutons » interactifs (cf. Figure 3, gauche) permettent de modifier le lieu géographique du rendu, son orientation, la date et l'heure de la simulation, ainsi que le type de vitrage avancé placé dans la partie supérieure de la fenêtre (en noir sur la Figure 3). Trois options sont possibles :

1. Glass : double vitrage isolant standard (verre transparent, non teinté) ;
2. CFS prism2 : utilisation de la fonction *BTDF2prism2* (Kae04) pour la simulation du local en éclairage naturel. Cette application suppose deux redirections principales de la lumière naturelle au travers du système complexe de fenêtre et représente une simplification considérable de la fonction BTDF ;
3. CFS mkillum : utilisation d'une matrice de transmission (145x145), basée sur le protocole de Tregenza (cf. Figure 2). Cette application considère 145 redirections possibles de la lumière naturelle dans tout l'hémisphère et permet une prise en compte fidèle de la fonction BTDF.

Le rendu final des images de synthèse est réalisé à l'aide du programme Radiance (War98). Il s'agit d'un logiciel Open Source, qui a été validé et maintes fois reconnu pour ses qualités de rendu conforme à la réalité. La version 4.0 a été récemment mise à disposition du public en 2009. Elle inclut la routine *mkillum* qui permet de créer des sources secondaires de lumière dans un local sur la base d'un tracé de rayon arrière (backward ray-tracing). Une amélioration a été apportée à cette routine, en vue de représenter la distribution du flux lumineux au travers d'un système complexe de fenêtres, obtenue par tracé de rayon, au moyen d'une matrice de transmission lumineuse (War09).

Afin de profiter de ces nouveaux développements, les données BTDF, transcrites initialement dans le format défini dans le cadre international (IEA21), doivent être converties dans le format directement utilisable par la procédure *mkillum*. Ce nouveau format se présente sous la forme de fichiers XML, dont la base géométrique est non conventionnelle (cf. Figure 4).

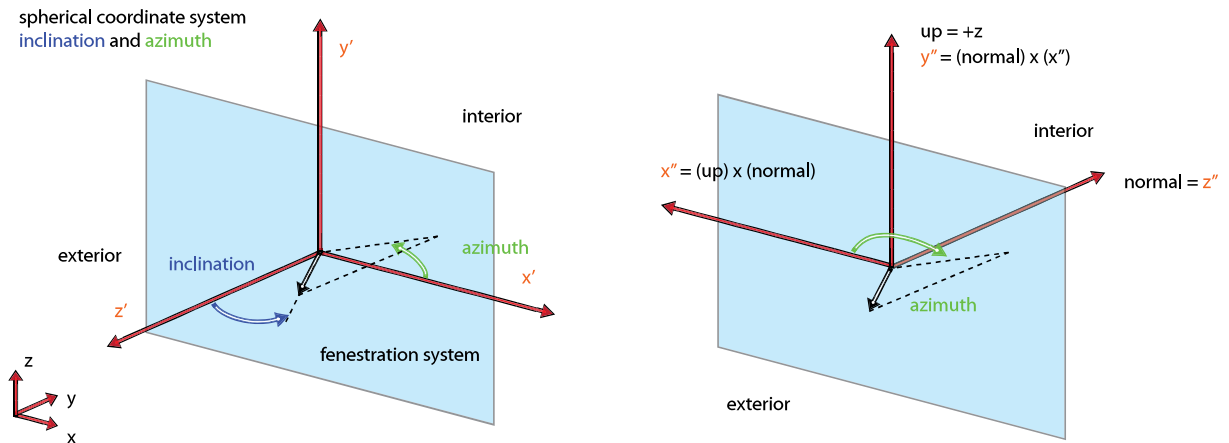


Figure 4 : Bases utilisées pour la simulation de CFS : (x,y,z) - base cartésienne selon Radiance, (x',y',z') - base associée aux données BTDF (IEA21), (x'',y'',z'') - base associée à la routine *mkillum* (« up » = +Z).

L'analyse des différentes bases géométriques, ainsi que leurs transformations mutuelles, permet de réaliser des simulations en éclairage naturel plus précises que celles menées à bien jusqu'alors au moyen de la fonction *BTDF2prism2* (cf. Figure 5).



Figure 5 : Visualisation d'un système complexe de fenêtres de type « Laser Cut Panel », de gauche à droite : fenêtre supérieure munie d'un double vitrage (glass), simulation par CFS prism2 et simulation par CFS mkillum.

Comme on peut le constater, une amélioration significative du réalisme est apportée par l'utilisation de la routine *mkillum*. Cette amélioration de la précision de la simulation numérique est importante : elle permet de reproduire plus fidèlement les données BTDF caractérisées par une grande dispersion spatiale du flux lumineux transmis (cf. Figure 1), ce que la fonction approximative *BTDF2prism2* ne peut offrir (approximation de la BTDF par deux directions principales de transmission).

Elaboration d'un algorithme informatique détaillé de dimensionnement (WP3)

Les discussions avec la société **Relux Informatik AG**, en vue de la prise en compte des données BTDF mesurées au LESO-PB/EPFL dans le logiciel ReluxVision développé par cette dernière, au moyen d'une base de données associée aux systèmes complexes de fenêtres sont en cours.

A l'heure actuelle, ce logiciel permet le placement de sources et de luminaires et leur visualisation dans le bâtiment par simulation numérique. L'implémentation de la procédure *mkillum* dans le logiciel ReluxVision et la création d'une interface graphique appropriée, permettrait de sélectionner et de dimensionner les systèmes de vitrages avancés de façon identique.

Collaboration nationale

Une collaboration avec la société **Relux Informatik AG** a été mise sur pied dans le cadre du projet : elle doit permettre à terme d'assurer la diffusion commerciale des développements informatiques prévus auprès des professionnels de l'éclairage.

Cette entreprise commercialise depuis un certain nombre d'années l'un des logiciels de référence en éclairage en Suisse et en Europe – ReluxSuite (<http://www.relux.biz/>). Ce programme est par ailleurs recommandé par les associations professionnelles de l'éclairage, comme l'Association Suisse pour l'Eclairage (SLG/ASE). Le principal moteur de calcul de ce logiciel n'est autre que le programme Radiance (<http://radsite.lbl.gov/>), dont l'utilisation et le développement spécifiques sont en cours dans le cadre de ce projet.

Plusieurs séances de coordination avec des représentants de la société Relux Informatik AG ont ainsi eu lieu à Lausanne (site EPFL) et à Bâle (site de l'entreprise) au cours de l'année écoulée. Les possibilités d'intégration de l'outil simplifié de visualisation au sein de la ReluxSuite sont ainsi à l'étude. Cela implique toutefois qu'une stratégie de diffusion et de commercialisation puisse être mise sur pied en accord avec des fabricants de stores et de systèmes complexes de fenêtres, à l'instar des fabricants de sources et de luminaires. Il en est de même de l'algorithme informatique détaillé, qui permettrait d'améliorer significativement les performances et les prestations du programme de simulation en éclairage ReluxVision, diffusé avec succès dans la pratique.

Collaboration internationale

Un échange d'informations et de connaissances avec les principales équipes de recherche, actives sur le plan international dans le domaine de la simulation numérique en éclairage naturel, est en cours. Cette collaboration informelle doit permettre de promouvoir l'utilisation des outils informatiques prévus au sein de la communauté scientifique internationale. Les équipes de recherche du **Lawrence Berkeley National Laboratory** (<http://www.lbl.gov/>), de l'**Institut für Sonnenenergie du Fraunhofer Gesellschaft** à Freiburg (<http://www.ise.fhg.de/>) et du **Solar Energy Research Institute of Singapore** de la National University of Singapore (<http://www.seris.sg>) sont les principales concernées à l'heure actuelle.

Évaluation de l'année 2010 - Perspectives pour 2011

L'exécution du projet est conforme au plan de travail prévu, annoncé lors de la soumission de la requête à l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN).

Un accent particulier sera placé au cours de l'année prochaine sur **la finalisation de l'outil informatique simplifié de visualisation de systèmes complexes de fenêtres**. Il est prévu d'améliorer l'interface-utilisateurs de l'outil de visualisation du logiciel, en y intégrant des procédures et des fonctions d'analyse de performance en éclairage naturel, telles que :

- l'éclairage sur les surfaces ;
- le facteur de lumière du jour ;
- l'autonomie en éclairage naturel.

Ces fonctions permettront d'évaluer le potentiel d'économie d'électricité lié à l'utilisation intensive de l'éclairage naturel, obtenue grâce à des systèmes avancés de vitrages. Des modes utilisateur « Basique », « Moyen » et « Expert » offriront une gestion différenciée de l'outil informatique.

Une version « Beta » devrait être mise en circulation auprès d'un premier cercle d'utilisateurs en collaboration avec les partenaires industriels du projet (Relux Informatik AG, Association Suisse de l'Eclairage, Centrale Suisse des Fabricants de Fenêtres et Façades, etc.).

De nouveaux types de systèmes avancés de vitrages, tels que les LightLouvers fabriquées aux USA, feront l'objet de mesures BDTF à l'aide du goniophotomètre bidirectionnel. Une base de donnée sera mise sur pied : elle contiendra les fichiers XML nécessaires à la simulation de ces systèmes à l'aide du logiciel Radiance et/ou de ReluxVision, en fonction de l'avancement de la collaboration avec Relux Informatik AG.

L'intégration au logiciel de référence ReluxVision de l'algorithme informatique détaillé de simulation de systèmes complexes sera probablement menée à chef durant l'année 2011. Des efforts importants devront toutefois être consacré par le principal partenaire industriel à l'adaptation des bases de données (données BDTF de stores et de systèmes complexes de fenêtres) et de l'interface-utilisateurs du logiciel. Des dispositions appropriées devront ainsi être prises avec ce dernier (accord de partenariat et/ou financement CTI, etc.) pour assurer cette étape ultérieure, ainsi qu'une éventuelle diffusion commerciale du logiciel (accord de licence).

L'ensemble des objectifs prévus initialement dans le cadre du projet devront toutefois être atteint au cours de l'année à venir.

Références

- (And01) M. Andersen, L. Michel, C. Roecker and J.-L. Scartezzini. Experimental assessment of bi-directional transmission distribution functions using digital imaging techniques, *Energy & Buildings*, Vol. 33, N°5, p. 417-431, 2001.
- (IEA21) International Energy Agency Task 21, *Source Book on Daylighting Systems and Components*, Chap. 8.3: Optical Characteristics of Daylighting Materials, pp. 8.16 - 8.22, Paris, July 2000.
- (Kae04) J. Kaempf, J.-L. Scartezzini, *Integration of BT(R)DF Data into Radiance Lighting Simulation Programme*, Technical Report, CTI Project 4881.1 "Bidirectional Goniophotometer", LESO-PB/EPFL, Lausanne, 2004.
- (Suv99) Caisse Nationale d'Assurance, *Le travail à l'écran de visualisation*, Manuel technique, pp. 107, CNA/SUVA, Luzern, 1999.
- (Sca94) J.-L. Scartezzini, R. Compagnon, G. Ward and B. Paule, *Outils informatiques en éclairage naturel*, pp. 143, Université de Genève/EPFL, Genève/Lausanne, 1994.
- (Sca97) J.-L. Scartezzini et al., *Daylighting design of European buildings*, Technical Report, pp. 225, LESO-PB/EPFL, Lausanne, 1997.
- (Sca10) J.-L. Scartezzini, J. Kaempf and C. Basurto, *WP1: List of BDTF Measurements*, Technical Report, LESO-PB/EPFL, Lausanne, 2010.
- (SLG93) Schweizerische Licht Gesellschaft, *Computer Programme für die Beleuchtungsplanung*, SLG/ASE, Bern, 1993.
- (War98) G. W. Larson and R. Shakespeare. *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization*. Morgan-Kaufmann, San Francisco, 1998.
- (War09) G. Ward, *Radiance 4.0 Improvements*, Radiance Workshop, Harvard University, Graduate School of Design, October 2009.