



Publication

91-42

LESO-PB

Heliodon automatisé destiné à la conception de systèmes d'éclairage naturel

Scartezzini Jean-Louis
Michel Laurent
Rhyner Roger
Roecker Christian

CISBAT'91 - Lausanne



Octobre 1991

HELIODON AUTOMATISE DESTINE A LA CONCEPTION DE SYSTEMES D'ECLAIRAGE NATUREL

SCARTEZZINI J.-L., MICHEL L., RHYNER R. et ROECKER C.
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment LESO-PB
1015 LAUSANNE

RESUME

L'élaboration d'outils de conception et de dimensionnement en éclairage naturel est une condition 'sine qua non' à la diffusion de cette approche dans la pratique architecturale.

Un simulateur de lumière directe (héliodon automatisé) a été mis sur pied, dans cette optique, à l'EPFL. Cet équipement permet de visualiser les ambiances lumineuses associées à des systèmes d'éclairage naturel et de mesurer les facteurs de lumière du jour directe dans des conditions expérimentales appropriées.

Une description détaillée de ce simulateur est donnée dans cette communication. La présentation des premières applications de ce dernier à l'étude de systèmes prismatiques complète cette description.

ABSTRACT

Daylighting building design offers real opportunities to achieve a part of the electricity savings potential of Switzerland. Design tools, however, are necessary to reach this goal in the practice.

A sun simulator was built to allow the study of the direct sunlight contribution to the lighting of buildings. It is made principally of an automated heliodon and a calibrated light source, installed in a carefully designed black chamber. By this way, visualizations of daylighted architectural spaces, as well as monitoring of direct daylight factors can be achieved in optimal experimental conditions.

A description of this equipment, as well as a first application of the latter to the study of prismatic devices, are given in this paper.

1. INTRODUCTION

L'utilisation de systèmes d'éclairage naturel, associés à des dispositifs d'éclairage artificiel et de régulation performants, permet d'économiser une part substantielle d'énergie électrique dans les bâtiments [1]. Cette approche, plus que toute autre mesure d'économie d'énergie, a toutefois une influence prépondérante sur leur aspect architectural [2, 3]. En conséquence l'élaboration d'outils, accessibles en particulier aux architectes et permettant de concevoir et de dimensionner de tels systèmes, s'avère indispensable.

Un ensemble d'outils expérimentaux, composé principalement de simulateurs de lumière directe (héliodon automatisé) et diffuse (ciel artificiel) est actuellement en cours de construction à l'EPFL. La description du premier d'entre eux, mis sur pied dans le cadre du programme LUMEN [4] et opérationnel depuis le début de l'année, fait l'objet de cette communication.

2. DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

Le simulateur de lumière directe permet l'étude de la contribution de la lumière naturelle provenant directement du soleil à l'éclairage des locaux. Cette composante, généralement bien supérieure à celle associée à la lumière naturelle provenant de la voûte céleste (lumière diffuse), est responsable, en particulier, de la plupart des situations critiques sur le plan du confort visuel (éblouissement, éclairage excessif). De cette dernière dépend donc plus particulièrement l'acceptabilité d'un dispositif d'éclairage naturel dans la pratique.

Le simulateur, mis au point à l'EPFL, permet d'effectuer les opérations suivantes :

- mesure de facteurs de lumière du jour directe à l'intérieur de maquettes [5];
- évaluation d'indicateurs de confort visuel dans des situations d'éclairage particulières [6];
- visualisation des ambiances lumineuses perçues à l'intérieur de locaux.

La figure 1 donne un aperçu de ce simulateur. Celui-ci est constitué des composants principaux suivants :

- une chambre d'obscurcissement;
- une source de lumière artificielle;
- un support mécanique orientable et automatisé;
- un dispositif de commande et de mesure.

Une brève description de ces composants est donnée ci-après.

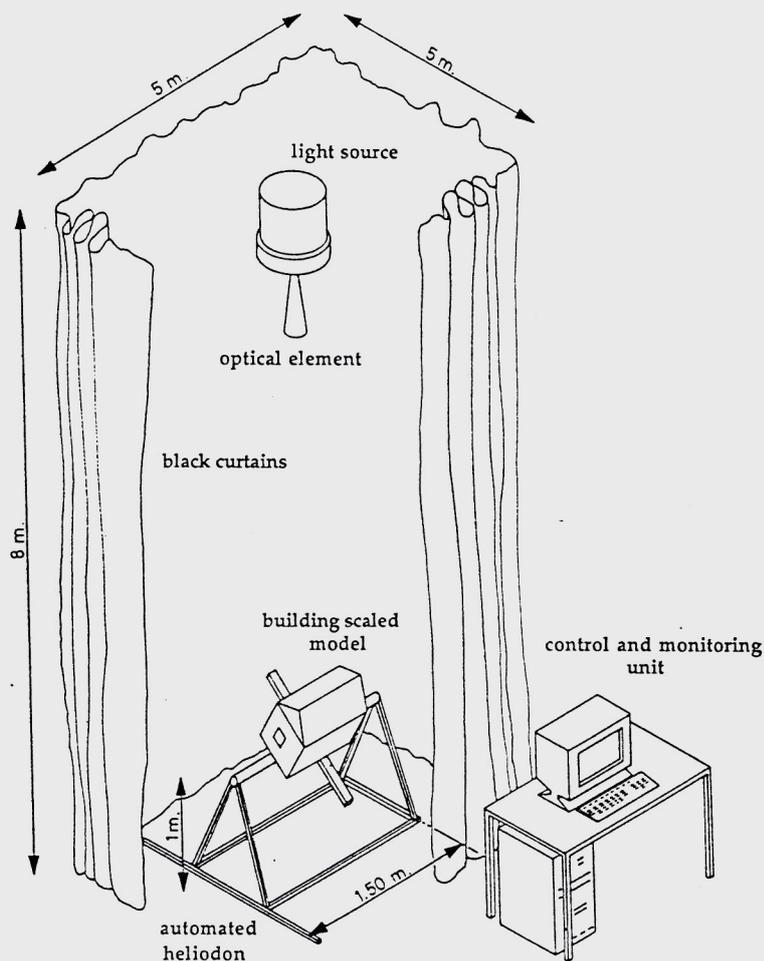


Figure 1 : Représentation schématique du simulateur de lumière directe (principaux composants).

2.1 Chambre d'obscurcissement

Afin de disposer des conditions d'expérimentation appropriées, une chambre d'obscurcissement a été réalisée dans le Laboratoire d'Expérimentation Architecturale (LEA) de l'EPFL. Celle-ci a été conçue de façon à :

- reproduire les conditions d'éclairement d'une source ponctuelle (distance suffisante entre source et maquettes);
- limiter la pénétration de lumière parasite (cause d'incertitude expérimentale);
- minimiser les réflexions internes sur le sol et les parois (cause d'incertitude expérimentale).

Les caractéristiques de la chambre reflètent ces préoccupations. Ces dernières peuvent être résumées comme suit :

- dimensions : 5 m x 5 m x 8 m
- parois : tissu épais de couleur noire ($\rho = 2.7 \%$)
- sol : moquette de laine noire ($\rho = 1.4 \%$)

La quantité de lumière parasite est ainsi inférieure à 0.25 Lux (même par temps clair); l'incertitude expérimentale totale est inférieure à 15 %.

2.2 Source de lumière artificielle

La source de lumière artificielle a été choisie de façon à reproduire les principales propriétés photométriques de la lumière directe (spectre, source ponctuelle, éclairement uniforme).

Il s'agit d'une lampe à arc court (OSRAM Metallogen HMI), d'une puissance de 2.5 kW, dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- efficacité lumineuse élevée ($\phi = 240'000$ Lm, $\eta = 96$ Lm/W);
- spectre proche de celui de la lumière du jour ($T_c = 5600$ K);
- rendu des couleurs élevé ($R_a \geq 90$).

Le principal élément du système optique est composé d'un projecteur de cinéma (SIRIO Quartz Color Spotlight), muni d'un réflecteur hyperbolique et d'une lentille de Fresnel frontale, permettant de modifier l'angle d'ouverture du faisceau lumineux ($8.3^\circ - 74^\circ$). Le projecteur est fixé à une hauteur de 8.1 m au-dessus du sol (voir figure 1), de façon à approcher au mieux des conditions d'éclairement d'une source ponctuelle.

Un élément optique supplémentaire a été disposé sous le projecteur dans le but d'améliorer l'uniformité de l'éclairement sur le plan de travail (héliodon automatisé). Deux géométries de base ont été considérées (cône et disque réflecteurs), alors que 48 configurations optiques différentes étaient investiguées (diamètre du cône et du disque, longueur du cône, distance jusqu'au projecteur, ouverture du faisceau) dans le but d'obtenir simultanément, sur le plan de travail, un éclairement élevé et uniforme.

La figure 2 illustre la répartition optimale obtenue. L'éclairement moyen sur le plan de travail (disque de 1.5 m de diamètre) est de 2700 Lx; l'uniformité du faisceau est de 3.4 %.

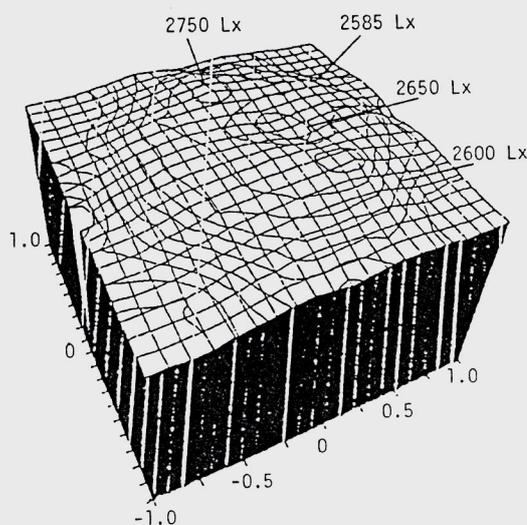


Figure 2 : Répartition optimale de l'éclairement mesurée sur le plan de travail (distance source-plan : 8.1 m; disque de 1.5 m de diamètre).

2.3 Héliodon automatisé

L'héliodon est un dispositif mécanique, capable de reproduire les mouvements relatifs du soleil (simulé par la source artificielle) pour un observateur placé sur le plan de travail (voir figure 3). Six configurations différentes ont été considérées en ce qui concerne cet appareil. La configuration définitive, illustrée à la figure 3, a été adoptée sur la base des critères suivants :

- absence d'ombres portées par l'héliodon sur la maquette;
- simplification de la construction mécanique;
- continuité du mouvement,
- déplacement minimal du centre de la maquette;
- distance maximale entre source et plan de travail;
- limitation de poids.

L'héliodon possède deux axes mobiles et motorisés (moteurs CC). Ceux-ci sont munis d'"harmonic drives" de façon à assurer un mouvement continu et sans vibrations, ainsi qu'un couple maximum. Les principales caractéristiques techniques de cet appareil sont les suivantes :

- précision de positionnement : $< 1^\circ$
- vitesse de déplacement : 0 à 12 tours/minute
- dimensions maximales des maquettes : 1.0 x 1.0 x 0.6 m
- poids maximal des maquettes : 25 kg.

L'héliodon a été revêtu d'une peinture noire matte, afin de limiter les réflexions parasites.

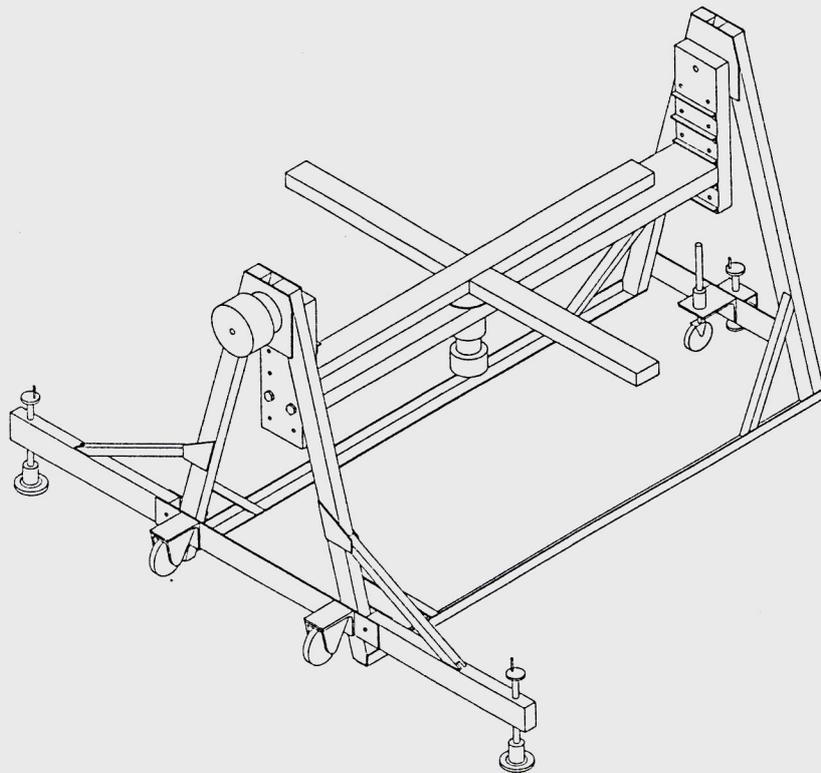


Figure 3 : Représentation schématique de l'héliodon automatisé (la surface de travail est constituée d'une structure en croix, pourvue de rail de fixation, afin de limiter les réflexions parasites).

2.4 Dispositif de commande et de mesure

L'héliodon est piloté par un micro-ordinateur PC/AT 386. Celui-ci lui permet d'effectuer différents types de mouvement, en fonction des besoins de l'opérateur. Ces mouvements sont les suivants :

- déplacements continus;
- déplacements point par point;
- arrêt sur position fixe.

Divers paramètres, définissant les mouvements en question, peuvent être introduits par l'opérateur. Il s'agit des paramètres suivants :

- coordonnées géographiques du lieu (latitude, longitude);
- période de l'année (mois, jour, heure);
- orientation du bâtiment (azimut).

Un interface convivial, faisant appel des représentations graphiques (icônes), permet l'introduction de ces derniers. Celui-ci a été développé à l'intention de concepteurs en éclairage, non familiers avec l'informatique.

Un équipement de visualisation et d'acquisition complète l'héliodon. Celui-ci comprend :

- un endoscope pour applications architecturales (optique sans déformations);
- une caméra vidéo à haute définition;
- un ensemble de photomètres de précision (diamètre sensible de 4 mm).

L'équipement est connecté au micro-ordinateur, ce qui permet d'automatiser la réalisation des mesures photométriques (facteurs de lumière du jour), ainsi que les prises de vue (traitement d'images numériques).

La figure 4 illustre, à titre d'exemple, la répartition de la lumière directe dans un local (3 m x 5 m x 3 m) équipé de verres prismatiques. Cette dernière met en évidence la complexité des phénomènes optiques associés à ces nouveaux dispositifs d'éclairage naturel (plusieurs faisceaux réfractés).

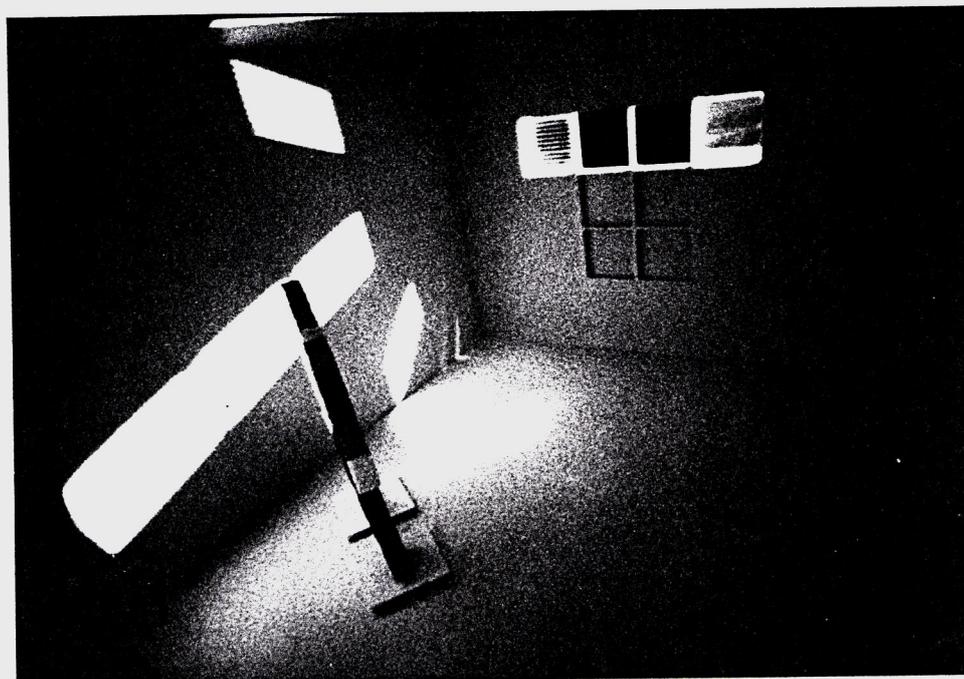


Figure 4 : Visualisation d'un local éclairé par la lumière directe et équipé de verres prismatiques (Latitude 47°N, 21 décembre, 14h.00 TSV). Le personnage présent sur la photographie indique l'échelle humaine.

3. CONCLUSION

Le simulateur de lumière directe constitue le premier outil expérimental de conception et de dimensionnement en éclairage naturel issu du programme LUMEN [4]. Il est constitué d'un héliodon automatisé et d'une source de lumière artificielle appropriée, disposés dans une chambre d'obscurcissement construite à cet effet.

La conception et la réalisation de cet équipement ont été dictés par le souci de minimiser, autant que possible, les sources d'erreur expérimentales. L'erreur relative totale est inférieure à 15 %.

Le simulateur de lumière directe sera amené à être complété par un ciel artificiel (simulateur de lumière diffuse). L'ensemble des outils expérimentaux, destinés aux concepteurs en éclairage naturel et aux architectes, sera alors totalement opérationnel.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cet équipement a été possible grâce au soutien de l'Office Fédéral de l'Energie et de l'EPFL. Les auteurs remercient F. Leresche, P. Loesch et S. Parhofer pour leur précieuse collaboration.

REFERENCES

- [1] Brunner C.U. et al. (1986), "Elektrizität sparen", Programme de recherche national "Energie", FNRS.
- [2] Moore F. (1989), "Concepts and practice of architectural daylighting", Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- [3] Lam W. (1986), "Sunlighting as formgiver for architecture", Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- [4] Programme de recherche interdisciplinaire "LUMEN - Lumière naturelle et énergétique du bâtiment" (1989), EPF-Lausanne et Université de Genève.
- [5] Commission Internationale de l'Eclairage (1970), "Daylight", Publication CIE N° 16 (E-32), Paris.
- [6] "IES Lighting Handbook" (1984), Reference Volume, IESNA, New York, USA.
- [7] "Prise en compte du rayonnement solaire dans l'éclairage naturel des locaux : simulation expérimentale" (1990), Rapport de stage au LESO-PB / EPFL, par S. Parhofer, Ludwig Maximilian Universität, München, RFA.