



HAL
open science

Évaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride

Safa Daich, Mohamed Yacine Saadi, Nourddine Zemmouri, Eugenio Morello, Barbara E.A. Piga, Ahmed Motie Daiche

► **To cite this version:**

Safa Daich, Mohamed Yacine Saadi, Nourddine Zemmouri, Eugenio Morello, Barbara E.A. Piga, et al.. Évaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride. Ambiances, tomorrow. Proceedings of 3rd International Congress on Ambiances. Septembre 2016, Volos, Greece, Sep 2016, Volos, Grèce. p. 219 - 226. hal-01414221

HAL Id: hal-01414221

<https://hal.science/hal-01414221v1>

Submitted on 13 Dec 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Évaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride

Safa DAICH¹, Mohamed Yacine SAADI², Nouredine ZEMMOURI³, Eugenio MORELLO⁴, Barbara E A PIGA⁵, Ahmed Motie DAICHE⁶

1. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, daichsafa@gmail.com
2. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, saadiarchitecture@gmail.com
3. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, pr.zemmouri@gmail.com
4. École polytechnique de Milan, Italie, eugenio.morello@polimi.it
5. École polytechnique de Milan, Italie, barbara.piga@polimi.it
6. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, motie-d@hotmail.fr

Abstract. *The system presented in this study, called Anidolic integrated ceiling (AIC) is one of the advanced Day lighting systems used to capture, channel and distribute day lighting to the interior space. The present paper gives a quantitative and qualitative evaluation of anidolic integrated ceiling. This device was designed with regard of luminous climate of the city of Biskra (Algeria), installed in the north façade and their luminous performance is assessed experimentally by using scale model, for a 12m deep room. The results of this experimental analysis have shown that the Anidolic Integrated Ceiling offers a great potential for increasing the illuminance level in deep-plan building under hot and dry regions (intermediate sky conditions). In addition, the spherical image shown that the integration of this system provides a good ambiances result by uniform luminance distribution throughout the room which produces a visual satisfaction compared to the reference model.*

Keywords: *anidolic integrated ceiling, hot and dry climate, visual comfort, ambiances, spherical image, test model*

Introduction

Maintenir des conditions confortables pour les usagers d'un espace est une préoccupation des concepteurs. Il est bien connu que l'éclairage naturel intérieur influence énormément la performance et la productivité humaine. Il a été suggéré que l'utilisation de la lumière naturelle dans les bâtiments peut augmenter la productivité des occupants (Edwards et Tortellini, 2002). De plus, une bonne conception d'éclairage demande non seulement de fournir une quantité suffisante de lumière, mais aussi une distribution plus uniforme et bien répartie dans l'ensemble du local (Veitch et Newsham, 1998). Dans les bâtiments de grande

profondeur, le contraste entre la fenêtre lumineuse et le fond de l'espace est également susceptible de créer le phénomène d'éblouissement (Wittkopf et al, 2006). Les travailleurs près de la fenêtre seront obligés d'utiliser des stores pour se protéger de la lumière directe, ce qui rend l'éclairage électrique nécessaire. La stratégie d'éclairage adoptée dans les climats chauds s'appuie sur le contrôle de la pénétration du rayonnement solaire direct (Wittkopf, 2007). La ville de Biskra, qui est notre cas d'étude, est située dans le sud-est algérien (latitude : 34,48, longitude : 5,44 N) et possède un gisement solaire très important excédant 2190 kw/h/m²/an, selon la NASA. Le microclimat de la ville est caractérisé par un ciel ensoleillé, avec peu de précipitations et des températures élevées, supérieure à 30 ° c pendant près de la moitié de l'année. Elle se caractérise également par un ciel intermédiaire avec une couverture nuageuse qui avoisine les 40 % (Daich et al, 2015). De plus, cette ville a un très haut niveau d'éclairement horizontal extérieur surtout pendant l'été qui atteint 83 000 lux pendant le mois de mai (Daich, 2011). Trouver une solution optimale permettant de créer une ambiance lumineuse intérieure satisfaisante tout en veillant à se protéger des rayons indésirables nécessite le recours aux systèmes d'éclairage naturel. L'utilisation du plafond anidolique intégré est une excellente stratégie d'éclairage naturel adéquate aux régions à climat chaud permettant d'augmenter la transmission de la lumière du jour à l'intérieur d'un local tout en contrôlant la composante directe du soleil, d'assurer l'uniformité de la distribution lumineuse et de réduire l'éblouissement pour maintenir le confort des occupants. De plus, Wittkopf et al (2006) et Courret et al (1998), dans une étude comparative (sans et avec plafond anidolique), ont prouvé en outre que l'appréciation personnelle de l'ambiance lumineuse intérieure est plus élevée. Cette sensation est causée par une homogénéité de la distribution et de la bonne répartition de la luminance dans toute la pièce où le plafond anidolique est installé ainsi qu'une satisfaction visuelle des utilisateurs par rapport au modèle de référence. L'objectif de cette recherche est de modéliser un système de plafond anidolique adéquat aux conditions climatiques et lumineuses de la ville de Biskra et d'évaluer ensuite sa performance en termes de qualité lumineuse intérieure.

Description du plafond anidolique intégré

Le système de plafond anidolique intégré (PAI) est l'une des technologies d'éclairage naturel qui a été mis en place dans l'objectif de créer un environnement lumineux intérieur satisfaisant en matière de quantité de lumière et de qualité d'éclairage. Ce dispositif a été développé à l'énergie solaire en laboratoire physique du bâtiment (LESO-PB) de l'École Fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse (Courret, 1999). Le plafond anidolique est un système d'éclairage zénithal conçu pour être situé sur une façade verticale au-dessus de la fenêtre pour ne pas empêcher la vue vers l'extérieur. Le système comprend trois principales composantes : un collecteur sur le côté extérieur de la façade, un conduit de lumière miroir rectangulaire et un élément de distribution à l'extrémité du conduit (Linhart et al, 2010). Le collecteur anidolique zénithal est composé d'un miroir parabolique externe, qui rassemble la lumière du zénith du ciel et de deux miroirs paraboliques internes qui redistribuent la lumière collectée. Les courbes de ces miroirs internes sont conçues et positionnées selon le principe de bord-ray de l'optique non-imagerie, qui stipule que les rayons extrêmes qui entrent dans un système devraient être les mêmes rayons extrêmes sortant du

système (Roshan et al, 2013). Le conduit lumineux est intégré dans un plafond suspendu au milieu de la pièce, composé de deux miroirs de forme parabolique jouant le rôle de concentrateurs qui captent le flux lumineux entrant et le redistribuent sur une zone plus large. Les éléments anidoliques sont placés aux deux extrémités du conduit lumineux. Le PAI offre plusieurs avantages et le système fournit une lumière homogène pour les espaces de grandes profondeurs ; il bloque une grande partie de la composante directe qui contribue à l'éblouissement et cette lumière bloquée sera redirigée vers le centre et le fond de la pièce, entraînant sur un plan de travail, un éclairage élevé (Linhart et al, 2009). Il améliore également le confort visuel pour les occupants qui travaillent à côté de la fenêtre. Des recherches antérieures ont démontré l'efficacité de l'AIC pour augmenter le facteur de lumière du jour dans des locaux profonds sous un climat tropical et subtropical Roshan et al, 2013). La capacité de collecter et de redistribuer la lumière diffuse est l'un des plus grands avantages du système anidolique (Kleindienst et Andersen, 2006). Ce dispositif est adapté pour éclairer les pièces avec la lumière diffuse avec des conditions de ciel couvert à cause de sa partie externe qui recueille les rayons de lumière diffuse avec une grande efficacité. Son fonctionnement dépend essentiellement de l'angle d'incidence des rayons lumineux.

La méthodologie

L'objectif de ce papier est d'étudier les performances à la fois lumineuses et ambiantales du plafond anidolique afin d'éclairer les espaces ayant une grande profondeur, sous des conditions de ciel typique à Biskra. La méthodologie adoptée consiste, dans un premier lieu, à modéliser et optimiser un système de plafond anidolique spécifique à la ville de Biskra. Ensuite, une simulation informatique a été réalisée afin de vérifier la performance lumineuse de ce dispositif. Dans un deuxième lieu, nous avons opté pour un modèle réduit avec une échelle de $\frac{1}{4}$ de l'espace. Le modèle utilisé a 6 m de largeur, 12 m de longueur et 3,5 m de hauteur. Les coefficients de réflexion des parois sont : plafond : 92 %, sol : 40 %, parois latérales : 60 % et PAI : 96 %. Le modèle réduit a été choisi car il offre l'avantage de correspondre le mieux à des études qualitatives de l'espace intérieur ; pour une étude approfondie de l'aspect qualitatif, nous avons eu recours à l'image numérique HDR afin de tracer des cartes de distribution de la luminance à l'intérieur de l'espace et de l'étudier à l'aide d'un objectif fish-eye avec un angle de 180 ° (SIGMA 4.5mm CIRCULAR FISHEYE).

Les performances lumineuses du dispositif

Performances relatives au confort visuel

Une étude menée par (Roshan et al, 2013) avait montré que, dans des conditions de climat tropical, le PAI présenté dans la figure 2 et décrit comme étant de type 5 est la configuration la plus efficace en termes de diffusion et de répartition la lumière. En outre, (Courret et al, 1998) a montré que la partie la plus importante de l'AIC est la conception du collecteur. Pour cette raison et afin d'identifier le gabarit dimensionnel du système, nous avons utilisé d'une part, les caractéristiques

climatiques et lumineuses de Biskra et d'autre part, les modèles mathématiques donnés par Welford et Winston (1989).

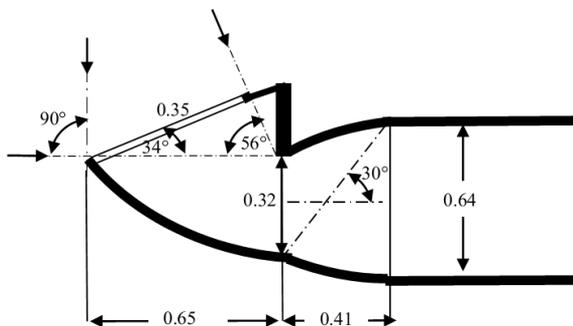


Figure 1. Les dimensions du système de plafond anidolique

Afin d'évaluer l'effet de PAI sur la distribution lumineuse intérieure, on a procédé à deux types de simulation. La première consiste à simuler le modèle de référence (sans PAI), pour la deuxième, on a ajouté le système sur le petit côté. Le plan de travail est situé à 0,9 m au sol et la simulation a eu lieu durant le mois de mai. Les résultats sont présentés dans la figure 2.

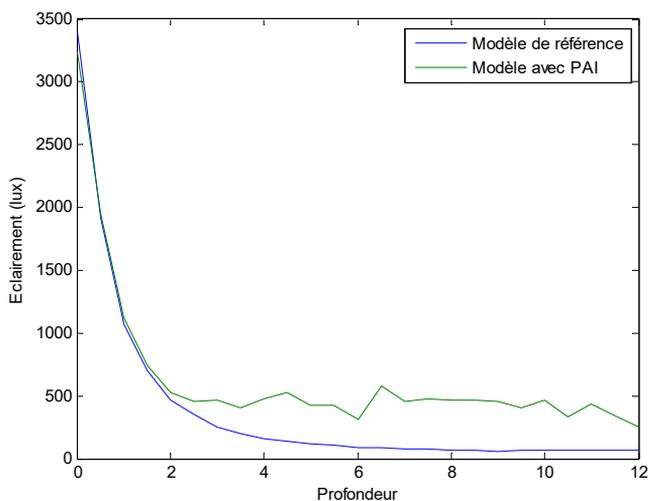


Figure 2. Comparaison du niveau d'éclairage

L'analyse des graphes a montré que le modèle de référence reçoit un éclairage compris entre 7000 lux et 250 lux qui ensuite diminue laissant plus de trois quarts de l'espace avec un éclairage au-dessous de 200 lux. À partir de 3 m de profondeur, il

est clair que les valeurs d'éclairage du modèle de référence sont très faibles par rapport au modèle équipé de plafond anidolique. L'écart atteint plus de 400 lux après avoir ajouté le PAI. Les résultats montrent aussi que le système modelé augmente de manière significative le niveau d'éclairage surtout au fond du local où les valeurs sont 8 fois plus élevées à 9 m de la fenêtre. Il permet aussi d'atteindre des valeurs d'éclairage comprises entre 300 lux et 500 lux qui s'étalent sur une grande surface du modèle. Dans le but de valider les résultats de la simulation, un modèle de taille réduite a été construit et testé sous un ciel réel. Le modèle a été réalisé à une échelle de 1/4 (figure 3) et a les mêmes caractéristiques géométriques et photométriques du modèle utilisé dans la simulation. Les valeurs d'éclairage ont été prises individuellement à l'aide de luxmètre. Les résultats de l'expérimentation donnent une bonne corrélation avec les résultats obtenus par la simulation (figure 3).

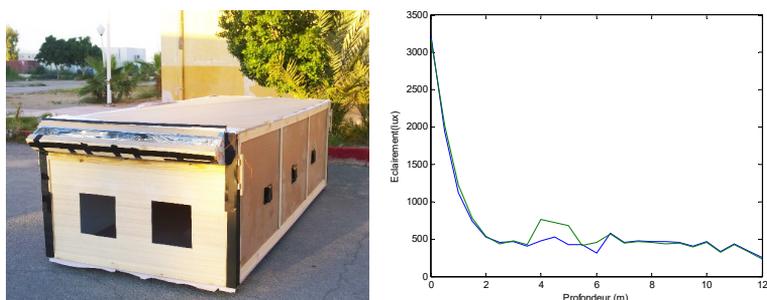


Figure 3. À gauche, le modèle construit ; à droite, la validation expérimentale

Performances relatives aux ambiances lumineuses

L'évaluation de l'ambiance lumineuse intérieure avait été étudiée sur un modèle réduit à l'aide d'une image sphérique sous un ciel réel. Les performances ambiantales ont été évaluées en deux expériences complémentaires. La première expérience avait comme objectif d'étudier la qualité lumineuse qu'apporte le plafond anidolique dans un espace architectural de 12 m de profondeur. Les résultats présentés dans la figure 4 montrent que ce système avait amélioré la qualité lumineuse intérieure d'un local en comparaison avec le modèle de référence. Le modèle équipé de PAI est plus éclairé avec une luminance homogène et bien répartie dans tout le modèle.

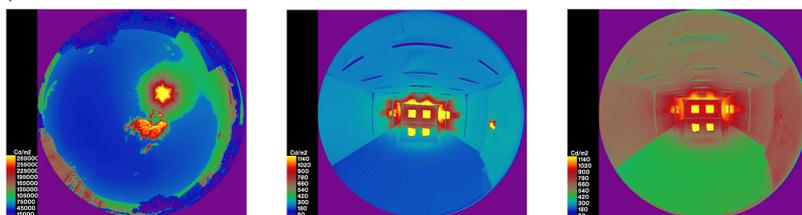


Figure 4. À gauche, la luminance du ciel ; au centre, la luminance du modèle de référence ; à droite, la luminance du modèle équipé de Plafond anidolique intégré (PAI)

La deuxième expérience a été proposée pour évaluer les ambiances lumineuses au cours de la journée. Les photos ont été prises à 10 h, à 12, à 14 et à 16 h.



Figure 5. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 10 h



Figure 6. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 12 h



Figure 7. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 14 h



Figure 8. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 16 h

Il est clair, à partir des figures 5, 6, 7 et 8 que l'atmosphère lumineuse du modèle avec PAI diffère d'une heure à l'autre et dépend essentiellement de la luminance du ciel.

Conclusions

L'intérêt principal de cette recherche est de développer un plafond anidolique spécifique pour les régions à climat chaud et aride (ville de Biskra) qui répond aux exigences visuelles et ambiantales de ce type de climat. Selon les résultats de la simulation et de l'expérimentation au moyen du modèle réduit, on a confirmé que le plafond anidolique améliore de manière significative les niveaux d'éclairage et d'uniformité de l'éclairage en comparaison avec le modèle de référence. Il est clair aussi que le climat lumineux extérieur, durant la journée, a une influence considérable sur les ambiances lumineuses à l'intérieur de l'espace, mais il a été démontré lors de notre expérience que le plafond anidolique intégré joue le rôle d'un régulateur de la distribution lumineuse. Donc, il est possible de conclure que le plafond anidolique intégré est un excellent moyen qui permet à la fois d'améliorer l'éclairage naturel dans les locaux profonds, d'assurer une uniformité de la distribution des luminances tout en réduisant le contraste et par conséquent, contribuer efficacement à réduire l'utilisation de l'éclairage électrique pendant les périodes diurnes.

Références

- Courret G. (1999), *Systèmes Anidoliques d'Éclairage Naturel*, Doctoral Thesis, 2026, École Polytechnique Fédérale de Lausanne
- Courret. G., Scartezzini. J.L., Francioli. D., Meyer.J.J. (1998), Design and assessment of an anidolic light-duct, *Energy and Buildings*, 28, pp. 79-99
- Daich S. (2011), *Simulation et Optimisation du Système Light Shelf sous des Conditions Climatiques Spécifiques*, Thèse de Magistère, Biskra, Algérie.
- Daich. S., Zemmouri. N., Saadi. M. Y., Eugenio. M., Piga. B. E. A., (2015), Modeling of an anidolique daylight system for a luminous integrated environment, *Advance Building Skins*, Bern, Switzerland, ISBN: 978-3-98120538-1, pp.366-371
- Edwards L., Torcellini P. (2002), *A Literature Review of the Effects of Natural light on Building Occupants*, Golden, Colorado, National Renewable Energy Laboratory, pp. 9-16
- Kleindienst. S., Andersen. M. (2006), Improving Day lighting in Existing Buildings: Characterizing the Effect of Anidolic Systems, *Renewable Energy*
- Linhart. F., Wittkopf. S.K., Munch. M., Scartezzini. J. L. (2009), Recent Research on Anidolic Day lighting Systems: highly Reflective Coating Materials and Chronobiological Properties, Solar Energy and Building Physics Laboratory (LESO-PB)
- Linhart. F., Wittkopf. S. K., Scartezzini. J. L. (2010), Performance of Anidolic Day lighting Systems in Tropical Climates – Parametric Studies for Identification of main Influencing Factors, *Solar Energy*, 84, pp. 1085-1094
- NASA NASA SSE program (<http://www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/>)
- Roshan. M., Kandar. M. Z. B., Nikpur. M., Mohammadi. M.P., Ghasemi. M. (2013), Investigating the performance of Anidolic Day lighting System with respect to

Building Orientation in Tropical Area, *ESTIJ An International Journal of Engineering Science and Technology*, 3 (1), pp. 2250-3498

Veitch J. A., Newsham G. R. (1998), Determinants of lighting quality I: State of the science, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27 (winter), pp. 92-10

Wittkopf S. K. (2007), Daylight Performance of Anidolic Ceiling under different Sky Conditions, *Solar Energy*, 81, pp. 151-161

Wittkopf S. K., Yuniarti E, Soon L. K. (2006), Prediction of Energy Savings with Anidolic Integrated Ceiling across different Daylight Climates, *Energy and Buildings*, 38, pp. 1120-1129

Welford. W. T., Winston. R., (1989), *High Collection Nonimaging Optics*, San Diego: Academic Press

Auteurs

Daich safe, doctorante en architecture à l'université Mohamed khider de Biskra, laboratoire LACOMOFA, Algérie

Saadi mohamed yacine, doctorant en architecture à l'université Mohamed khider de Biskra, laboratoire LACOMOFA, Algérie

Zemmouri Noureddine, professeur à l'université Mohamed khider de Biskra, directeur de laboratoire LACOMOFA, Algérie

Eugenio morello, professeur au laboratoire de simulation urbaine à l'école polytechnique de milan, Italie

Piga e a barabra, docteur en architecture au laboratoire de simulation urbaine à l'école polytechnique de milan, Italie

Daiche ahmed motie, doctorant en architecture à l'université Mohamed khider de Biskra, laboratoire LACOMOFA, Algérie.