



AUTHOR(S):

TITLE:

YEAR:

Publisher citation:

OpenAIR citation:

Publisher copyright statement:

This is the _____ version of an article originally published by _____
in _____
(ISSN _____; eISSN _____).

OpenAIR takedown statement:

Section 6 of the "Repository policy for OpenAIR @ RGU" (available from <http://www.rgu.ac.uk/staff-and-current-students/library/library-policies/repository-policies>) provides guidance on the criteria under which RGU will consider withdrawing material from OpenAIR. If you believe that this item is subject to any of these criteria, or for any other reason should not be held on OpenAIR, then please contact openair-help@rgu.ac.uk with the details of the item and the nature of your complaint.

This publication is distributed under a CC _____ license.

Evaluation of the luminous and thermal comfort in a 'transparent' office space with single and double-glazing under a sunny clear sky

Évaluations du confort lumineux et thermique dans un espace de bureau 'transparent' à simple et double vitrage sous un ciel clair ensoleillé.

Toufik Mezerdi^{1✉}, Azeddine Belakehal¹, Amar Bennadji²

1 Laboratoire de Conception et de Modélisation des Formes et des Ambiances Architecturales (LACOMOFA), Université de Biskra, B.P. 145 R.P. 07000, Biskra, Algeria.

2 Scott Sutherland School of Architecture and Built Environment, Robert Gordon University, Garthdee Road, Aberdeen, AB10 7QB, Scotland, UK.

Received 17 February 2017

Published online: 17 May 2018

Keywords

Transparency

office work

hot and arid climate

double glazing

luminance

energy consumption

Abstract: The main objective of this study is to evaluate the light and thermal comfort in a 'transparent' office. This last term designates a working space whose outer wall is entirely glazed by a simple transparent glazing in a first case, and a transparent double glazing in a second case, in the context of arid environments with a hot and dry climate and therefore under the sky Bright sunny. Various solar protections are used for the case of simple glazing and the best performing among them is maintained for office simulations with double-glazing. The study was carried out using an experimental approach. Thus, computer simulations using ECOTECT and RADIANCE softwares were carried out for transparent desk models in order to evaluate: i) illuminance on the worktop ii) luminance in the field Visual, (iii) indoor air temperatures, (iv) and annual energy consumption. It was carried out for south-facing offices at a location with a latitude of 34.48° North and a longitude of 5.73° East. The evaluation of the results obtained is based on recommended reference values for the various simulated indicators. Based on the results obtained from natural light and thermal performance in a single-glazed transparent office, the cases tested were classified according to their degrees of performance in order to choose the optimal orientation for the case of south orientation. In this respect, one notes essentially the performance of the office whose facade is a curtain wall double transparent windows oriented South equipped with a system 'Light shelf'.

© 2017 The authors. Published by the Faculty of Sciences & Technology, University of Biskra. This is an open access article under the CC BY license.

Résumé : Le principal objectif de cette étude est d'évaluer le confort lumineux et thermique dans un bureau 'transparent'. Ce dernier terme désigne un espace de travail dont la paroi extérieure est entièrement vitrée par un simple vitrage transparent dans un premier cas, et un double vitrage transparent dans un deuxième cas, dans le contexte des milieux arides à climat chaud et sec et donc sous ciel clair ensoleillé. Des protections solaires diverses sont utilisées pour le cas du vitrage simple et la plus performante parmi elle est maintenue pour les simulations du bureau avec le double vitrage. L'étude a été effectuée en empruntant une approche expérimentale. Ainsi des simulations informatiques à l'aide des logiciels 'ECOTECT', et 'RADIANCE' ont été réalisées pour les modèles de bureau transparent en vue d'évaluer : i) l'éclairage sur le plan de travail ii) la luminance dans le champ visuel, iii) les températures de l'air intérieur, iv) et la consommation énergétique annuelle. Elles ont été effectuées pour des bureaux orientés Sud en un lieu à une latitude de 34,48° Nord et une longitude de 5,73°Est. L'évaluation des résultats obtenus est basée sur des valeurs référentielles recommandées pour les différents indicateurs simulés. En s'appuyant sur les résultats obtenus des performances en éclairage naturel et thermique dans un bureau transparent avec simple vitrage, nous avons classifié les cas testés selon leurs degrés de performances pour en choisir la configuration optimale et ce pour le cas de l'orientation Sud. A cet égard, on note essentiellement la performance du bureau dont la façade est un mur rideau double vitrage transparente orienté Sud équipé d'un système 'Light shelf'.

Mots clés : Transparence, climat chaud et aride, double vitrage, simple vitrage, bureau, luminance, éclairage, température, consommation d'énergie.

1. Introduction

La fenêtre a un impact important sur la consommation d'énergie et le confort dans les bâtiments, en particulier pour le chauffage, le refroidissement et l'utilisation de l'énergie pour l'éclairage. Selon le Département américain de l'énergie, 32% des charges de refroidissement et 22% de la charge de chauffage proviennent de l'impact des fenêtres (DOE 2007). Pour le contexte algérien, (APRUE 2016) indique que les secteurs tertiaires et résidentiels,

au niveau national, consomment plus du tiers (respectivement 10% et 30%) de l'énergie tout en soulignant une variation selon les zones climatiques du pays. Par ailleurs, il a été démontré que la conception et le choix des fenêtres peuvent aider à réduire le gain de chaleur solaire et les pertes thermiques (Carmody et al. 2004). Cependant, la situation n'est pas aussi simple pour le cas de certains espaces et certaines régions. En effet, les bureaux 'transparents', ou à mur rideau, occasionnent d'autres problèmes particulièrement dans les régions à ciel clair ensoleillé. Pourtant,

✉ Corresponding author. E-mail address: toufik.mezerdi@univ-biskra.dz

le nombre de ce genre d'édifices ne cesse d'augmenter dans des régions similaires (figure 1).

Effectivement, les grandes surfaces vitrées tout en offrant un plus large contact visuel avec l'environnement extérieur, laissent pénétrer à flot la lumière naturelle et le soleil. Malheureusement, cela s'accompagne de situations inconfortables comme la surchauffe et l'éblouissement (figure2) (North 1991 ; Suk 2014; O'Neil 2015).

Etant cela, qu'en serait-il avec la combinaison de protections solaires externes et le double vitrage qui a priori devraient limiter de façon conséquente l'impact négatif de l'ensoleillement sur l'environnement lumineux et thermique intérieur dans une région à climat chaud et sec et ciel clair ensoleillé ? Sachant que le double vitrage a déjà montré ses preuves sur le plan de l'isolation thermique (Bandinelli 2009; Kim 2011; El Ahmar et Fioravanti 2015).

Une étude expérimentale a été menée en vue de répondre à ces questionnements en focalisant le cas des immeubles de bureaux. Un logiciel de simulation approprié pour le contexte de l'étude (régions sous ciel clair ensoleillé) a été utilisé à cette fin. Les résultats issus de cette expérimentale sont présentés selon leurs performances en matière d'éclairage naturel, confort thermique et économie d'énergie. Les dispositifs choisis pour atteindre ces performances sont le double vitrage associé au Light-shelf. Ils ont été sélectionnés à partir d'études antérieures où ils ont été considérés séparément.

2. Méthodologie

L'approche adoptée pour la présente étude est expérimentale incluant un modèle et un protocole de simulation. Cette dernière est de type informatique menée au moyen de deux logiciels appropriés. Le contexte climatique est celui de la ville de Biskra en Algérie.



Fig. 1. Vues extérieure et intérieure d'un bâtiment transparent à Biskra.



Fig. 2. Effet d'éblouissement dû au rayonnement solaire direct du bureau orienté Est (à droite), Sud (à gauche) à Biskra.

2.1. Les outils de la simulation

2.1.1. Logiciel radiance (2.0 beta) pour l'éclairage naturel

Radiance est un logiciel de création d'images réalistes sur le plan de la lumière naturelle. La très grande qualité et la précision de ses résultats en fait un des références dans le monde. Le rendu d'images réalistes avec un niveau de précision et de similitude très fort entre les résultats d'une simulation numérique de l'éclairage et la réalité particulièrement pour le cas des régions où le ciel clair est dominant (Mardaljevic 1995) et même pour le cas de la ville de Biskra (Mezerdi 2012). Cet outil peut être aussi rattaché à d'autres logiciels de simulation comme Ecotect (figure 3).

2.1.2. Logiciel Ecotect (v5.50) pour la thermique

Ecotect (V5.50) est un logiciel de simulation complet de conception depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail qui associe un modèleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût relevant de la consommation énergétique. Ecotect offre un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse .C'est un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. Il a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design.

2.2. Contexte

La ville de Biskra, située à la latitude 34° N, est un des plus importants établissements humains du nord-est du Sahara. Du point de vue thermique, Biskra a un climat chaud, semi-aride et sec accusant des variations diurnes et nocturnes ainsi que saisonnières des températures (Capderou 1995). Le ciel de Biskra est clair ensoleillé pendant 82% de la longueur de l'année. Dans un tel contexte climatique, des études antérieures ont montré que pour un bâtiment l'orientation optimale serait celle Sud (Chavez 1989 ; ASHRAE Standards 1992). (figure 4). C'est la raison pour laquelle les simulations seront limitées au cas de cette orientation Sud. Par ailleurs, il est à préciser que pour cette étude, nous considérons un immeuble de bureau situé en banlieue, sans bâtiment en face, avec un sol de nature minérale à facteur de réflexion négligeable. Etant cela, les composantes directes et réfléchi du ciel (ciel clair ensoleillé) sont prises en compte sans la composante réfléchi extérieure.

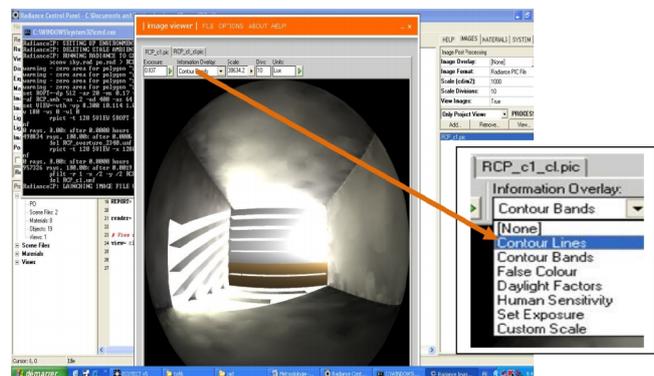


Fig. 3. Image fiche-eye, rendu en gris par le logiciel Ecotect/Radiance.

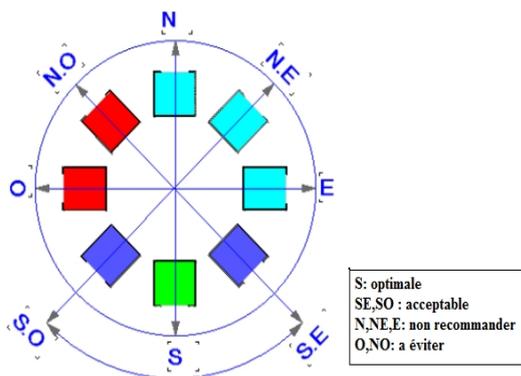


Fig. 4. Recommandations d'orientations des ouvertures sous un ciel clair ensoleillé relativement à l'éclairage naturel (Chavez 1989).

2.3. Modèle du bureau à simuler

2.3.1. Configuration du bureau

La taille et la géométrie de notre modèle de bureau ont été définies après examen personnel des configurations des bureaux dans les établissements publics dans la ville de Biskra et aussi en se basant sur les recherches antérieures utilisant des modèles de bureaux pour des simulations en éclairage naturel et thermique (Bodart 2002; Aarts et al 2009). Pris ensemble, les résultats indiquent que la surface du bureau est de 7 m² à 32 m² et d'une hauteur variant de 2m50 à 4m.

En une première étape, la hauteur sous-plafond choisie pour les espaces de bureau pour notre modèle à simuler est de 3m50. Ensuite, le modèle intègre également un mur rideau (simple et double vitrage) de même hauteur que l'espace du bureau. Troisièmement, la profondeur de ce dernier est calculée selon la règle empirique énonçant que celle-ci est équivalente à une fois et demi, voire deux fois la hauteur sous-plafond du bureau (Baker et al. 2013). Cependant, et dans l'objectif d'évaluer la performance des protections solaires, telle que le light shelf, en matière d'accroissement des niveaux d'éclairément dans des zones profondes du bureau, il a été décidée d'augmenter la profondeur de ce dernier. Il est finalement question d'un bureau de 5m de large, de 8m de profondeur et de 3.5m hauteur sous-plafond (figure 5).

2.3.2 Les protections solaires

Les protections solaires à intégrer au niveau du modèle doivent être appropriées pour l'orientation Sud (Olgyay 1963); orientation fixée pour cette étude. Donc, les protections choisies

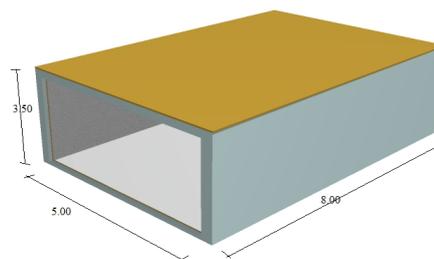


Fig. 5. Modèle du bureau à simuler.

sont horizontales et de trois types : i) l'auvent 'unique', ii) l'auvent 'subdivisé', et iii) 'le light-shelf'. Nous avons également utilisé les données météorologiques relatives à la ville de Biskra (latitude 34,48 N) et son diagramme solaire pour dimensionner les protections solaire appropriées pour l'orientation sud (figure 6). Ces protections extérieures fixes ont été dimensionnées de sorte à ce qu'elles permettent une admission du soleil pendant la période où il n'engendre pas d'effets thermiques indésirables.

2.3.3 VITRAGE

Deux situations du mur rideau seront simulées, simple et double vitrage transparent. Pour le dimensionnement de ce dernier, une revue de la littérature a été menée (Poirazis 2006; Hamza 2008; Alibaba et al. 2011). Il en ressort que l'épaisseur du double vitrage varie de 5 cm à 200 cm. Pour le cas de notre modèle, l'épaisseur retenue pour le mur rideau à double vitrage transparent est de 5 cm.

2.4. Protocole expérimental

La simulation se déroule en deux étapes successives. La première est double, thermique et lumineuse, associant contexte ; espace bureau et protections solaires externes. Dans cette première simulation thermique, seul l'effet de l'ombre portée par la protection solaire externe est étudié. La seconde introduira le type de vitrage et étudiera les températures de l'air interne et la consommation énergétique annuelle. Ainsi, la même configuration de l'espace bureau est simulée d'abord avec chacune des trois protections solaires externes. Ensuite, la protection la plus performante parmi ces dernières sera simulée pour le cas du double vitrage.

Le choix des périodes a été fait en fonction des objectifs de la recherche, en l'occurrence le confort thermique et visuel. A cet effet, la simulation a considéré les journées des solstices et l'équinoxe du printemps (21 Décembre, 21 Juin et le 21mars) à 10h, 12h, 14h, et 16h.

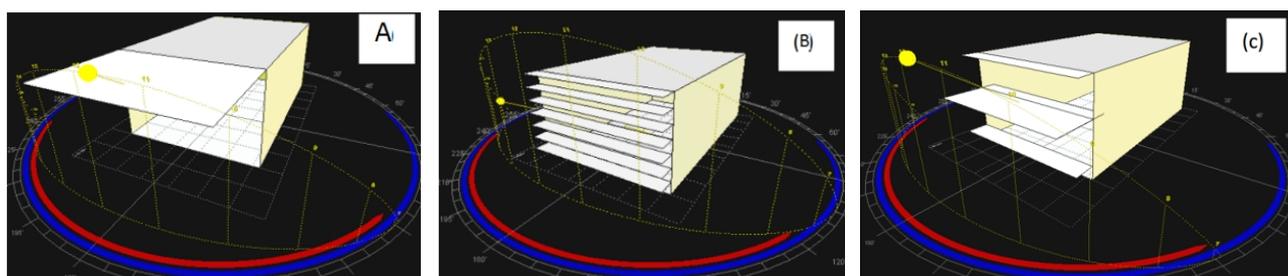


Fig 6 : Modèle de bureau équipé d'un (a) Auvent unique, (b) Auvent subdivisé, (c) Light shelf.

La définition des indicateurs relatifs aux environnements thermiques et lumineux a été élaborée en se basant sur de pertinentes recherches similaires antérieures et les possibilités offertes par les logiciels de simulation. Il en ressort les indicateurs suivants : i) environnement lumineux : l'éclairement sur le plan de travail et la luminance dans le champ visuel, et ii) environnement thermique : la température de air intérieur et la consommation annuelle de l'énergie.

3. Résultats et discussion

3.1 Protection la plus performante du point de vue éclairage naturel

Les résultats des simulations obtenues pour le modèle équipé d'un mur rideau à vitrage simple transparent (figure 7 et 8) accusent des différences notoires entre les trois cas de protection solaire étudiés (tableau 1).

Les conditions d'éclairage naturel sur le plan de travail pour les trois types de protections (l'auvent 'unique', l'auvent 'subdivisé' et le light-shelf) démontrent une meilleure performance pour un bureau transparent naturellement éclairé. Toutes les valeurs d'éclairement minimal sont supérieures ou égale à 350 lux au cours de l'année (figure 9).

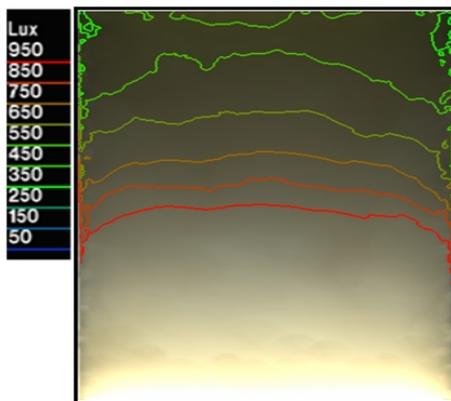


Fig 7 : Résultats de simulation des éclairagements sur le plan de travail du bureau orienté Sud en vitrage simple équipé d'une protection, light-shelf, le 21 Decembre à 12h.

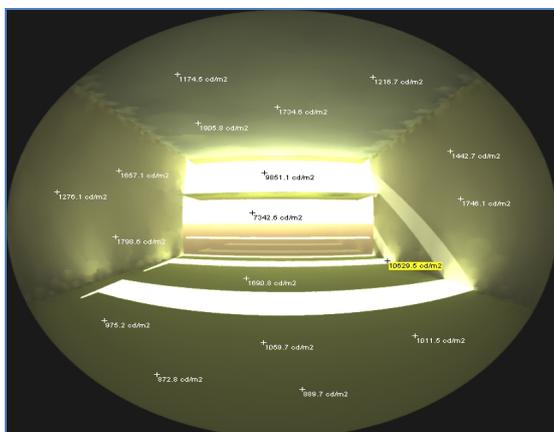


Fig 8 : Résultats de simulation des luminances dans le champ visuel du bureau orienté Sud en vitrage simple équipé d'une protection, light-shelf, le 21 décembre à 12h.

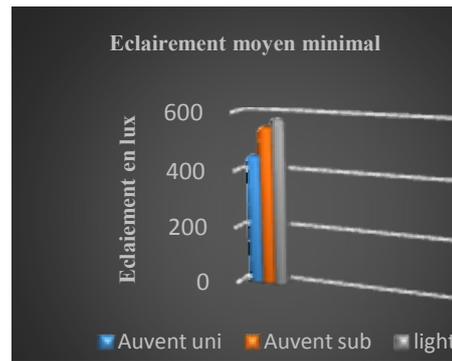


Fig 9 : surface de l'éclairement optimal. Source : Auteur.

Tableau 1. Synthèse des résultats du confort lumineux. Source : Auteur.

	protection	Emin (lux)	E ≥ 350 lux	Ambiance
Décembre	Auvent unique	550	100%	Confortable
	Auvent subdivisé	650	100%	Très confortable
	Light shelf	750	100%	Très confortable
Mars	Auvent unique	450	100%	Inconfortable
	Auvent subdivisé	550	100%	Inconfortable
	Light shelf	550	100%	Moy- confortable
Juin	Auvent unique	350	100%	Confortable
	Auvent subdivisé	450	100%	Inconfortable
	Light shelf	480	100%	Très confortable

Cependant le modèle 'Light-shelf' présente le cas le plus favorable pour l'éclairement moyen minimal avec une valeur de (580lux) au fond du bureau. En comparant cet éclairage moyen à ceux de l'auvent unique (440lux) et l'auvent subdivisé (550lux), il est possible de confirmer le rôle de réflexion de la lumière à l'intérieur du bureau par ce système (figure10). Ces résultats confirment ceux obtenus dans le cadre de travaux antérieurs menés par Wong et al (2004), Franco (2007) et Kikuchi (2013).

Pour le confort au niveau du champ visuel, on remarque que le modèle 'Light shelf' présente les résultats des situations les plus favorables dont l'ambiance qui va de 'confortable au mois de Mars ' à 'très confortable pour le mois de Décembre et Juin. Par contre, les modèles 'Auvent unique' et 'subdivisé' présentent des situations d'inconfort, mois de mars pour l'auvent unique et mois de mars et juin pour l'auvent subdivisé (tableau 2).

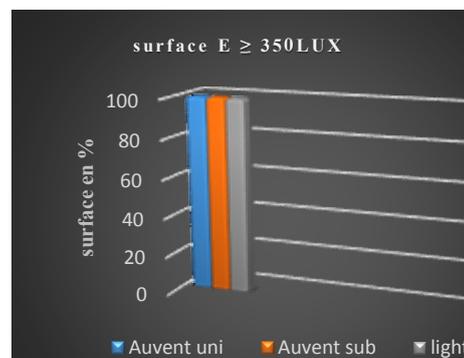


Fig 10 : Valeurs de l'éclairement moyen minimal.

Tableau 2. Synthèse de l’ambiance dans le macro-champ visuel.

Mois	Auvent unique	Auvent subdivisé	Light shelf
21 Décembre	+2	+3	+3
21 Mars	0	0	+1
21 juin	+2	0	+3
Echelle	+4	+3	+7

Echelle : Inconfortable (0), Moy- confortable (+1), Confortable (+2), Très confortable (+3)

En guise de synthèse, il est possible d’attester que les trois types de protections présentent des niveaux d’éclairages optimaux sur le plan de travail, et où le Light shelf’ présente la meilleur valeur minimale moyenne. Ce dernier est donc efficace pour éviter les risques d’éblouissement et de contraste et assure une ambiance lumineuse intérieure confortable.

Il en ressort donc que notre choix sera porté sur le modèle ‘light shelf’, comme protection solaire externe, pour l’étape suivante de la simulation.

3.2 Contribution de la combinaison « Light Shelf » et double vitrage a l’amélioration de l’environnement lumineux

Cette évaluation sera basée sur une comparaison des niveaux d’éclairages sur le plan de travail dans le modèle à simple vitrage et celui à double vitrage transparent, tous les deux équipé d’un système de protection solaire ‘Light shelf’ sous un ciel clair ensoleillé pour la journée du 21 décembre à 12h. Les points sélectionnés pour la comparaison entre les valeurs de l’éclairage sont les points de l’axe central (de p1 à p8) proches de la fenêtre, au milieu et au fond du modèle (figure 12).

Les résultats montrent que les valeurs les plus élevées d’éclairages se situent dans les points près de la fenêtre (figure 12). A partir du point P1 (près de la fenêtre) jusqu’au point P5 (au milieu) les courbes suivent la même allure pour les bureaux équipés d’un ‘simple et double vitrage’. A partir du point P6 jusqu’au point P8, on constate un écart négligeable entre les deux courbes. On remarque aussi que la courbe ‘simple vitrage’ qui présente la valeur maximale dans la zone proche de la fenêtre, présente aussi les valeurs maximale au fond, par rapport à la courbe ‘double vitrage’.

Il est possible d’en déduire que du point de vue éclairage naturel la contribution du double vitrage transparent par rapport au simple transparent n’est pas significative sur le plan de la performance (figure 12).

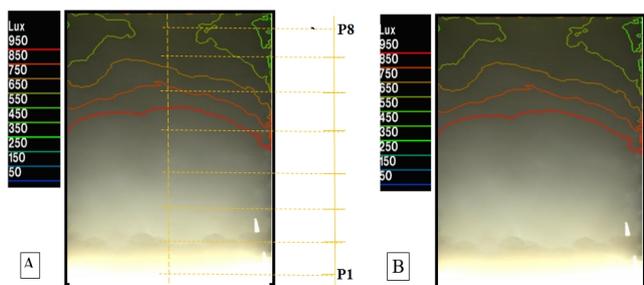


Fig. 11. simulation des niveaux d’éclairages sur le plan de travail du modèle ,(A) simple vitrage et (B) double vitrage transparent équipé d’un système de protection ‘Light shelf’ sous un ciel claire ensoleillé pour la journée du 21 décembre à 12h.

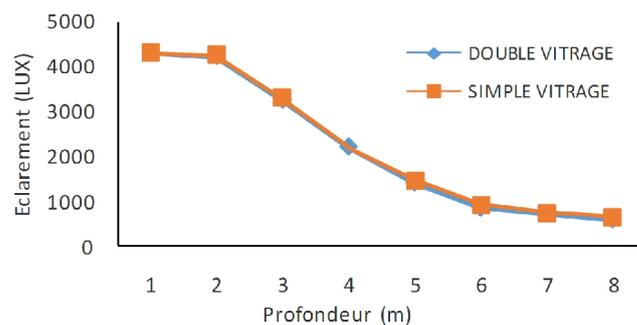


Fig. 12. Courbe des valeurs de l’éclairage, modèle simple et double vitrage.

3.3 Contribution de la combinaison « light shelf » et double vitrage a l’amélioration de l’environnement thermique

Cette évaluation est basée sur une comparaison des températures de l’air intérieures du modèle à simple et double vitrage transparent équipé d’un système de protection ‘Light shelf’ sous un ciel clair ensoleillé (la journée du 21 Juin) et ayant des propriétés thermique bien définies (tableau 3).

Les résultats graphiques de la simulation indiquent que la température extérieure est comprise entre 26,5°C et 39,7 °C. Comme on y remarque aussi que le modèle à double vitrage transparent est un peu plus résistant aux variations des températures extérieures. En effet, lorsque les températures de l’ait intérieures de ce dernier sont comprises entre 32,6 et 36,9 °C, celles du modèle à simple vitrage transparent sont comprises entre 32 et 37,2 °C.

Nous notons également que la température de l’air intérieure dans le modèle à double vitrage est inférieure à la température dans le modèle à simple vitrage pendant la journée (de 9h à 16h) avec une différence de (0,9 °C). Ceci est contraire au cas de la période nocturne, où la température dans le modèle à double vitrage est supérieure à celle du simple vitrage avec une différence de 04 °C (figure 13). Les résultats obtenus sont en concordance avec les travaux de Baldinelli (2009).

3.4. Contribution du « Light Shelf » pour double vitrage a l’amélioration de la consommation énergétique

Cette évaluation est basée sur une comparaison de la consommation énergétique annuelle des modèles à simple et double vitrage transparent aux mêmes propriétés thermiques et conditions environnementales que pour la simulation précédente.

Tableau 3. Caractéristiques du vitrage.

Couches	Propriétés thermique				
	λ (W/mK)	Cp (j/KgK)	ρ (Kg/m ³)	e (m)	
simple	vitrage transparent	1.046	836.8	2300	0.006
	vitrage transparent	1.046	836.8	2300	0.006
Double	vide	5.56	1004	1.3	0.05
	vitrage transparent	1.046	836.8	2300	0.006

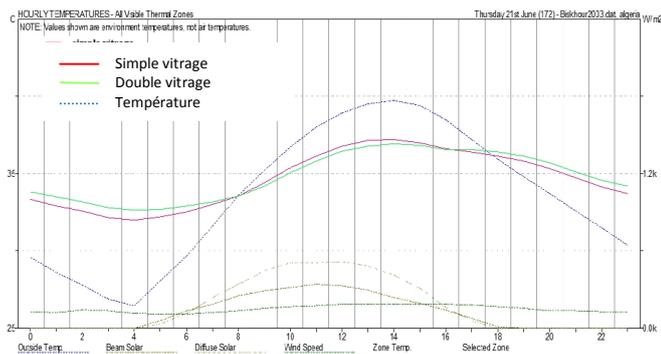


Fig. 13. Résultats de simulations des températures par ECOTECT.

Les apports énergétiques globaux au cours de la période chaude (de la mi- Avril jusqu'à la mi- Octobre) dans le modèle à simple vitrage sont supérieurs à ceux du double vitrage. Dans le modèle simple vitrage, l'apport dépasse 1750 Wh/m2 alors que dans le modèle double vitrage il est inférieur à 1500 Wh/m2 d'où une réduction d'environ 250 Wh/m2. Aussi, les résultats montrent que l'énergie perdue au cours de la période hivernale, est importante 800 WH / m² pour le modèle à simple vitrage en comparaison à celle du double vitrage qui ne dépasse pas les 680 WH / m². Nous notons que la proportion des apports énergétiques du transfert de chaleur par la conductivité thermique (Conduction) dans le modèle à simple vitrage n'est pas nettement supérieure à celle du double vitrage. Dans le premier modèle, le chiffre est de 46,5 %, tandis que dans le second modèle, il est de 45,7%. En ce qui concerne les apports solaires directs, on remarque que la quantité dans le modèle à simple vitrage (15,1 %) est le double de celle du modèle à double vitrage (7,5%) (figures 14 et 15).

En guise de synthèse il est à noter que l'utilisation des fenêtres à double vitrage est plus efficace que l'utilisation des fenêtres à simple vitrage, où la présence d'une couche d'air rend les températures intérieures plus stables et moins vulnérables aux variations de la température extérieure.

En ce qui concerne la consommation d'énergie L'utilisation du double vitrage nuit à la transition directe de l'énergie solaire et réduit le transfert d'énergie par le biais de la conductivité thermique (Conduction) et cela est ce qui conduit à la réduction de la quantité d'énergie acquise au cours de la période estivale, ce qui est nécessaire dans une zone à climat chaud.

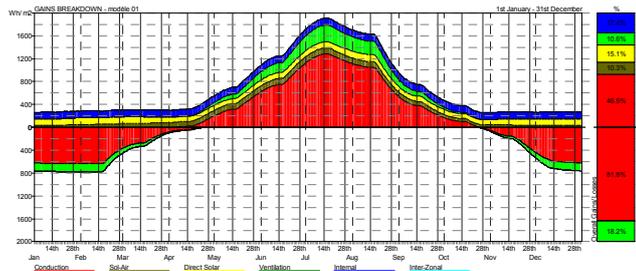


Fig. 14. Simulation de consommation énergétique du modèle simple vitrage.

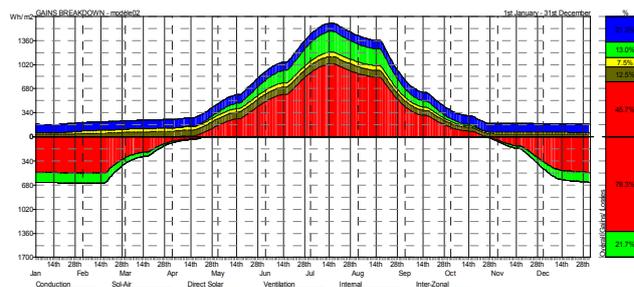


Fig. 15. Simulation de consommation énergétique du modèle double vitrage.

4. Conclusion

Cette expérimentation a eu pour but d'évaluer les performances en matière de confort lumineux et thermique d'un simple et double vitrage dans un espace de bureau transparent équipé d'une protection solaire externe sous un ciel claire ensoleillé. Nous avons choisi l'orientation Sud pour tester trois systèmes de protection appropriés à cette dernière, en l'occurrence celle de type horizontal i) auvent unique, ii) auvent subdivisé et ii) le light shelf dont le but d'en choisir le système le plus performant.

Dans un premier résultat, le bureau équipé d'un mur rideau simple vitrage et d'un système 'Light shelf' présente la meilleure efficacité pour éviter les risques d'éblouissement et de contraste et assure une ambiance intérieur confortable. Pour le confort lumineux les résultats obtenus de la simulation montrent que les deux dispositifs (simple et double vitrage) présentent en général les mêmes valeurs d'éclairément sur le plan de travail avec un petit écart négligeable.

Pour les températures intérieures, les résultats indiquent que la fenêtre avec double vitrage est plus efficace que celles à simple vitrage, où la présence d'une couche d'air rend les températures intérieures plus stables et moins vulnérables aux variations de la température extérieure.

En ce qui concerne la consommation d'énergie, l'utilisation du double vitrage nuit à la transition directe de l'énergie solaire et réduit le transfert d'énergie par le biais de la conductivité thermique (Conduction), ce qui conduit à la réduction de la quantité d'énergie acquise au cours de la période estivale, objectif très recherché dans une zone à climat chaud, aride et sec.

En guise de perspective pour cette recherche, il s'agira d'exploiter pleinement le dispositif expérimental en prenant notamment en compte les différentes propriétés physique, thermique du verre, la profondeur et la hauteur de la couche d'air séparent les deux peaux ainsi qu'une technique de ventilation naturelle du vitrage double.

Références

Aarts, M. P. J., S. J. van Velzen, Z. Huijbregts (2009). Ultra high color temperature and visual performance, in proceedings of LUX EUROPA-The 11th European Lighting Conference, 9-11/8/2009, Istanbul (Turkey).

- Alibaba, H. Z., M. B. Ozdeniz (2011) Thermal comfort of multiple-skin facades in warm-climate offices, *Scientific Research and Essays*, 6(19): 4065-4078.
- APRUE (2016) Revue de presse, février 2016, Agence nationale pour la promotion et rationalisation de l'utilisation de l'énergie, APRUE.
- ASHRAE Standards (1992) Thermal Environment conditions for human occupancy. ASHRAE 55-1992, Atlanta, U.S.A.
- Baker, N. V., A. Fanchiotti, K. Steemers (2013) *Daylighting in architecture: a European reference book*. James & James. London (UK).
- Baldinelli, G. (2009) Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system. *Building and Environment* 44(6): 1107–1118.
- Bodart, M. (2002) *Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment selon des critères physiques, écologiques et économiques, pour un meilleur confort visuel et thermique*, Phd thesis, Université catholique de Louvain.
- Capderou, M. (1995) *Atlas solaire de l'Algérie : Modèles théoriques et expérimentaux*. Volume 1, Tomme 1, Office des Publications Universitaires, Alger.
- Carmody, J., S. Selkowitz, E. Lee, D. Arasteh, & T. Willmert, (2004). *Window System for High-Performance Buildings*. 1st ed. New York: W.W. Norton & Company Inc.
- Chavez, J.G. (1989) *The potential of beam core daylighting for reducing the energy consumption of lighting and air conditioning in hot arid regions of Mexico*, Phd thesis, Council for National Academic Awards.
- DOE (2007) *2007 Buildings Energy Data Book*, US Department of Energy, D&R International.
- El Ahmar, S. A. Fioravanti (2015) *Simulating the thermal and daylight performances of a folded porous double façade for an office building in Cairo*. In *Proceedings of the 49th International Conference of the Architectural Science Association (ASA)*.
- Franco, I. (2007) *Efficacy of light shelves: passive, dynamic and automatic devices related to light and thermal behavior*. Presented at *Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings X*.
- Hamza, N. (2008) Double versus single skin facades in hot arid areas, *Energy and buildings*, 40(3): 240-248.
- Kikuchi, T. (2013) Characteristics of Indoor Lighting Environment Using Daylight with a Light Shelf, *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(6): 643.
- Kim, Y.M. (2011) Effects of double skin envelopes on natural ventilation and heating loads in office buildings, *Energy and Buildings*, 43(9): 2118-2126.
- Mardaljevic, J. (1995) Validation of a lighting simulation program under real sky conditions, *Lighting Research and Technology*, 27(4): 181-188.
- Mezerdi, T. (2012) *La transparence dans l'architecture tertiaire des milieux à climat chaud et sec. cas de la ville de Biskra*. Mémoire de magistère, Université de Biskra (2012).
- North, V.N. (1991) *Factors influencing workers' impressions of glare in open offices*, PhD thesis, University of Michigan.
- O'Neil, S. (2015) *Quantifying adaptive behavioral responses to discomfort glare -A comparative analysis of daylit office*, PhD thesis, University of Oregon.
- Olgay, V. (1963) *Design with Climate*, Ed .Princeton University Press, Estados Unidos.
- Poirazis H (2006) *Double skin facades, A Literature Review*. Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.
- Suk, J.Y. (2014) *Absolute Glare and Relative Glare Factors : Predicting and Quantifying Levels of Interior Glare and Exterior Glare Caused by Sunlight and Daylight*, PhD thesis , University of Southern California.
- Wong, N., A.D. Istiadji (2004) Effect of external shading devices on daylighting penetration in residential buildings, *Lighting Research and Technology*, 36(4): 317-330.