

LE FUTUR de l'EVALUATION de l'ECLAIRAGE NATUREL des LOCAUX

Par Elpida VANGELOGLOU et Helle Foldbjerg Rasmussen

Traduit de l'Anglais par Christian FELDMANN - REHVA Fellow - Comité International de l'AICVF

Les exigences de la réglementation dans le Bâtiment et les pratiques traditionnelles de calcul de l'éclairage naturel d'un local sont souvent dépassées et décalées par rapport aux besoins et aux progrès d'une conception moderne des bâtiments. De nouveaux outils sont maintenant disponibles. Ils fournissent des résultats d'une grande précision tout en restant très simple d'utilisation.

Ces nouveaux outils rendent la conception des bâtiments « durables » plus aisée comme le montre l'exemple proposé dans cet article dans lequel sont examinées les conditions d'éclairage naturel dans un local équipé de protections solaires

L'incontournable évolution du secteur du Bâtiment vers des techniques intégrant le concept de développement durable conduit à s'intéresser à de nouvelles techniques d'évaluation de l'éclairage naturel des locaux

Une meilleure utilisation de la lumière naturelle conduit à des bâtiments présentant de meilleures performances énergétiques et de meilleures qualités d'ambiance intérieures

Cependant l'estimation des conditions d'éclairage recourt souvent à de vieilles méthodes, les pratiques n'ayant encore été pénétrées, dans la plupart des pays, par les résultats récents de la recherche dans ce domaine.

Réglementation et normes

Le Facteur de lumière du jour (FLJ) est la méthode la plus largement utilisée pour établir la conformité d'un projet avec les exigences de la réglementation et pour quantifier les critères (« crédits ») des méthodes d'évaluation de la performance environnementale telles que BREEAM, DGNB, etc.

A titre d'exemple, dans le règlement de construction danois de 2015, l'exigence pour l'obtention d'un éclairage naturel jugé suffisant est un Facteur de lumière du jour de 2% mesuré sur un plan de travail.

Par ailleurs, cette exigence n'a pas de sens lorsqu'elle se trouve appliquée par exemple aux Emirats Arabes Unis, région dans laquelle on ne rencontre pratiquement jamais un « ciel couvert » au sens des normes CIE (Commission Internationale de l'Eclairage).

Pourquoi la méthode du Facteur de Lumière du Jour est-elle dépassée ?

Bien que la méthode du Facteur de lumière du Jour soit facile à comprendre et à appliquer, elle fait prendre au concepteur le risque de concevoir un bâtiment très inconfortable avec des conditions d'éclairage coûteuses en énergie. Cela tient au fait que le Facteur de lumière du jour ne prend pas en compte le lieu d'implantation du bâtiment, l'orientation des façades et les différents états du ciel.

De plus il ne fournit aucune indication sur le confort visuel, notamment l'éblouissement, et ne tient pas compte de l'ombrage apporté par les protections solaires. Ce dernier point est d'une importance croissante dans les bâtiments à basse consommation et peut impacter de façon notable sur les performances attendues d'un bâtiment.

Plusieurs exemples montrent une utilisation des protections solaires pendant plus de 80 % du temps d'occupation (dans les bâtiments de bureaux) en été pour maintenir des conditions de confort satisfaisantes. Or le Facteur de Lumière du Jour ne prend en compte un état moyen de la couverture nuageuse qui ne correspond, en réalité, qu'à 20% de ce temps d'occupation.

Les nouvelles méthodes : Evaluation de l'éclairage naturel en fonction des données climatiques.

En fait plusieurs études [1,2,3] traitant de ce sujet précis montrent que le recours à des données climatologiques annuelles, ou même à de simples mesures d'éclairage, apporte plus de précision et d'information que l'utilisation du Facteur de lumière du jour. Cette approche nouvelle pourrait remplacer efficacement ce dernier dans l'expression des exigences réglementaires ou dans les prescriptions d'un cahier des charges.

L'approche basée sur les données climatiques prend en compte les conditions variables de la couverture nuageuse et de l'ensoleillement de la même façon qu'est prise en compte la température et l'ensoleillement en matière de simulation thermique des bâtiments.

La supériorité de cette approche est donc évidente par rapport à l'utilisation du FLJ qui n'est qu'une simple valeur numérique ne prenant pas en compte l'orientation, établie pour un ciel uniformément couvert, et n'a donc pas de pertinence pour les régions dont le ciel est le plus souvent dégagé.

De plus elle permet la prise en compte de la présence et de la gestion des protections solaires installées devant les ouvertures d'un bâtiment.

Cette approche, basée sur la prise en compte des données climatiques, conduit à des indicateurs de performance nouveaux tels que, par exemple, le « **Daylight Autonomy (DA)** », Autonomie en éclairage naturel, et le « **Useful Daylight Illuminance (UDI)** », Eclairage naturel de confort.

Cette approche nouvelle et les indicateurs DA et UDI sont déjà appliqués par l'organisme britannique en charge du financement des établissements d'enseignement du second degré (Education Funding Agency) pour l'évaluation des projets dans le cadre d'un programme prioritaire de construction d'écoles (Priority School Building Programme).

Une variante de l'indicateur DA, sDA (Spatial Daylight Autonomy), est utilisée par ailleurs dans un projet du programme LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

L'indicateur Daylight Autonomy (DA) – « Autonomie en éclairage naturel »

Le facteur DA présente l'avantage d'évaluer la contribution de la lumière du jour aux économies d'énergie. Il ne permet cependant pas d'évaluer le confort visuel des occupants car il ne dispose pas des moyens de quantification des durées de sur-éclairage pouvant créer de l'inconfort ou de l'éblouissement. De plus son calcul ignore les valeurs d'éclairage inférieures à un certain seuil pouvant être cependant utile aux usagers.

L'indicateur « Useful Daylight Illuminance » (UDI)- Eclairage naturel de confort

L'indicateur UDI est plus intéressant car il comble les insuffisances du DA. Les seuils haut et bas d'éclairage y sont définis sur la base de nombreux résultats de suivis de terrain et d'enquêtes dans des immeubles de bureaux montrant l'acceptabilité ou la tolérance par les occupants de niveaux d'éclairage compris entre 100 et 2000 lux.

En conséquence UDI fournit une information sur la fréquence d'un éclairage naturel insuffisant impliquant le recours à un éclairage artificiel, sur la fréquence d'un éclairage naturel satisfaisant ou encore sur celle de situations d'éclairage excessif, génératrices d'inconfort.

Au total l'indicateur UDI repose sur une démarche détaillée fournissant des valeurs non conventionnelles d'éclairage en indiquant les situations d'inconfort tout en évaluant les gisements d'économie de l'éclairage artificiel.

Comment calculer ces indicateurs ?

Le Facteur de lumière du jour peut être calculé pour chaque point d'un plan de travail en utilisant les logiciels de calcul d'éclairage. Ceux-ci peuvent être de simples progiciels comme *Velux Daylight Visualizer* ou des outils plus avancés tels que *Radiance* ou *Daysim*.

Le calcul des indicateurs de performance d'éclairage naturel nécessite des logiciels de simulation utilisant des données d'entrée climatiques d'ensoleillement et d'état du ciel – en anglais CBDM – Climate Based Daylight Modelling, tels que *Radiance* ou *Daysim*.

Daysim permet des simulations annuelles avec des fichiers météorologiques détaillés et calcule les coefficients d'éclairage. Les simulations fournissent en sortie les profils d'éclairage et de luminance.

Ces données de sortie, combinées avec un modèle de comportement d'utilisateur, comparées à des valeurs cibles, associées à la prise en compte du fonctionnement des protections solaires et à la commande de l'éclairage artificiel permettent prédire les valeurs des indicateurs de type DA (Daylight Autonomy) ou UDI (Useful Daylight Illuminance) ou de calculer la demande énergétique pour l'éclairage artificiel.

Daysim est compatible avec des logiciels d'application complémentaires 3D tels que *SketchUp* ou *Ecotect* permettant d'introduire les données géométriques d'un bâtiment en vue de simulations plus précises. La prise en compte détaillée de la géométrie et des dimensions du bâtiment impacte évidemment sur les temps de calculs.

Exemple d'utilisation : étude de cas d'un bureau avec des protections solaires

Le Facteur de lumière du jour, l'autonomie en éclairage naturel (DA) et l'éclairage naturel utile (UDI) ont été calculés en utilisant le logiciel **Daysim**.

La simulation porte sur une partie d'un bureau paysager à Copenhague, orienté au sud.

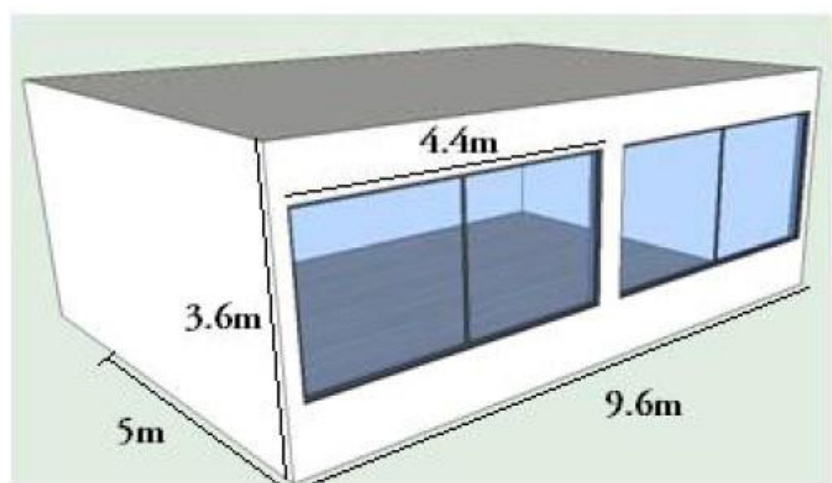


FIGURE 1-Bureau à Copenhague, orienté au sud

Le seul paramètre modifiable était le type de protection solaire.

Cinq expérimentations numériques ont été effectuées :

- Cas de référence : triple vitrage nu (sans protection solaire)
- Stores vénitiens extérieurs (lamelles)
- Vitrage à contrôle solaire (de type Pilkington Suncool 40/22)
- Verre à revêtement micro perforé (type Microshade)
- Stores extérieurs motorisés

La stratégie de commande était basée sur la mesure le flux solaire incident.

Les stores et les lamelles étaient manœuvrés chaque fois qu'un flux solaire de plus de 50 W/m² était détecté par un capteur placé sur la façade.

La commande des stores était basée sur une stratégie de coupure du flux solaire, cela voulant dire que, selon la position du soleil aux différentes périodes de l'année (hiver et été), l'orientation des lamelles ou l'abaissement du store étaient réglés de façon à empêcher la pénétration du rayonnement direct dans le local, tout en autorisant le passage maximum de lumière naturelle.

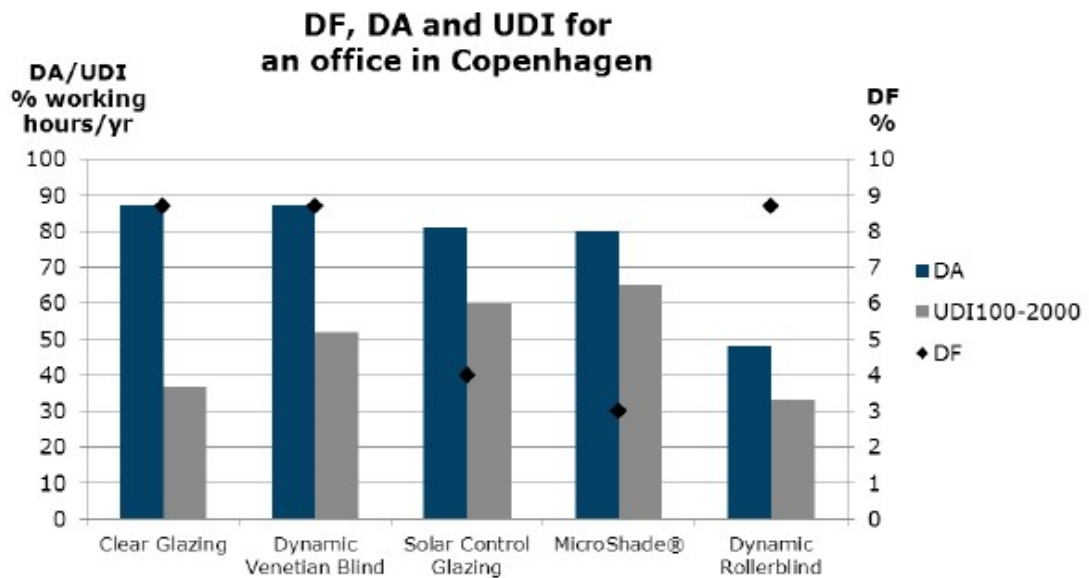


Figure 2 – DF, DA et UDI pour les 5 scénarios. Une valeur seuil de 200 lux a été utilisée pour le DA, alors que des valeurs de 200 et de 1000 lux étaient retenues pour le UDI

L'examen de cette figure montre que les deux protections solaires mobiles extérieures, le store extérieur motorisé et store vénitien, ont un Facteur de lumière du jour (DF) égal à celui du triple vitrage.

Ceci peut s'expliquer par le fait que ces protections sont automatiquement manœuvrées quand un rayonnement solaire direct de 50 W/m² atteint le capteur. Le DF ne se trouve donc pas affecté puisque les protections solaires ne sont pas utilisées lorsque le ciel est couvert. Ceci est spécialement évident pour les stores extérieurs qui impactent nettement les indicateurs DA et UDI, mais pas l'indicateur DF.

Cette dernière remarque confirme le fait que cet indicateur n'est pas approprié pour évaluer l'éclairage naturel en cas d'utilisation de protections solaires extérieures.

Il est intéressant de noter que le vitrage à contrôle solaire et le vitrage à revêtement micro-perforé semble abaisser le pourcentage du facteur d'autonomie de lumière naturelle (DA) d'un peu moins de 10 %.

Cela laisse entendre que, bien que la baisse du Daylight Factor (DF) soit de 54% et 66%, respectivement, entre un vitrage nu et un vitrage à contrôle solaire d'une part et un vitrage nu et un vitrage avec un revêtement micro-perforé d'autre part, l'indicateur DA montre tout simplement que ces deux types de vitrages ne réduisent que faiblement le pourcentage annuel d'heures durant lesquelles la pièce est suffisamment éclairée par la lumière naturelle.

UDI est le seul indicateur qui permet de faire une nette différenciation entre les stores vénitiens et le vitrage sans aucune protection, en soulignant l'intérêt la stratégie des lamelles extérieures qui bloquent le rayonnement incident direct et minimisent les niveaux excessifs d'éclairage durant les périodes où ils sont utilisés.

On a coutume de considérer que les protections solaires extérieures motorisées sont le meilleur compromis entre l'éclairage naturel et les dépenses d'énergie car ils maximisent l'utilisation de la lumière naturelle.

Or, dans cet exemple, ce sont les vitrages avec un revêtement micro-perforé et les verres à contrôle solaire qui permettent le plus grand nombre d'heures dans l'année d'utilisation de la lumière naturelle. Pourquoi ?

La raison pour laquelle les vitrages avec un revêtement micro-perforé procurent un éclairage naturel durant un plus grand pourcentage de temps par rapport, par exemple, aux stores vénitiens est due à un éclairage excessif du local avec ces derniers. Le niveau d'éclairage excède en effet 2000 lux pendant 38 % des heures de travail contre seulement 20% avec les vitrages à revêtement micro-perforé. La stratégie de commande des stores à effet de seuil fournit en réalité trop d'éclairage et conduit en fait à fermer les lamelles une grande partie du temps.

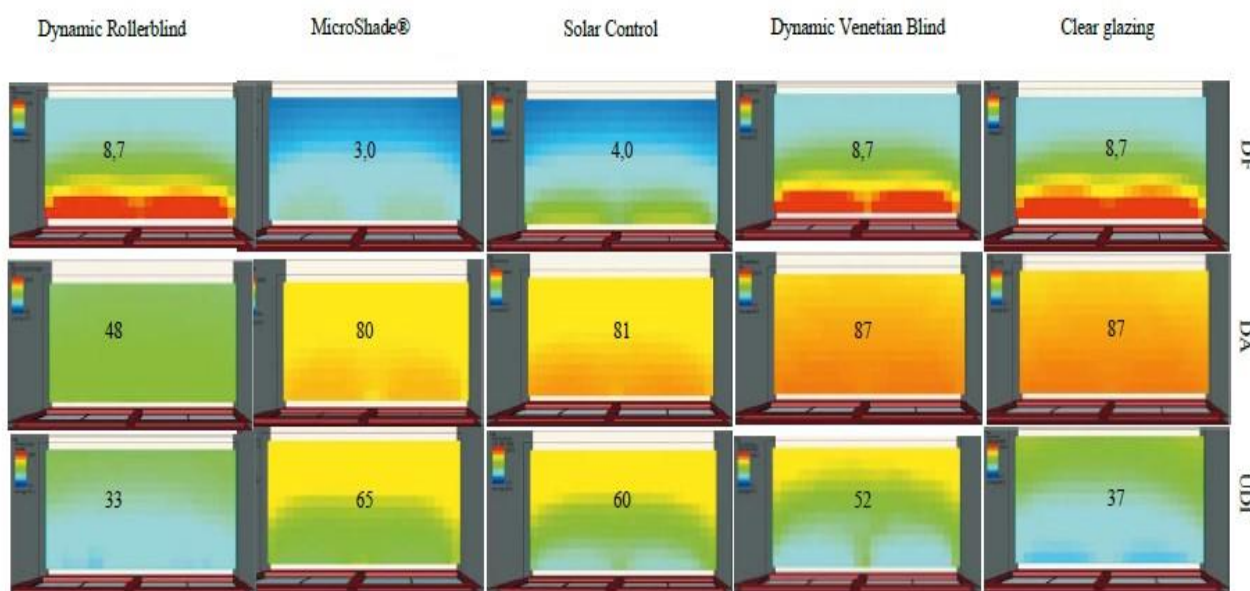


Figure 3. Distribution de DF, DA et UDI dans le bureau

L'examen global des résultats peut conduire aux conclusions suivantes pour chacun des trois indicateurs.

- Facteur de lumière du jour (DF)

Les stores motorisés ont le même effet que le vitrage sans protection tandis que des protections solaires fixes, les verres à contrôle solaire et les verres avec revêtement micro-perforé, permettent les plus bas niveaux d'éclairage dans le local.

- DA (autonomie en éclairage naturel)

Toutes les solutions de protections solaires, à l'exception des stores extérieurs motorisés, procurent des niveaux d'éclairage naturel convenables pour un grand pourcentage des heures de travail annuelles. Le vitrage nu et les stores vénitiens procurent la plus grande quantité d'éclairage naturel.

- UDI (éclairage naturel de confort)

Les verres avec revêtement micro-perforé procurent la plus grande durée d'éclairage naturel dans des conditions confortables pour les occupants, c'est-à-dire un éclairage convenable

sans éblouissement, suivi par les verres à contrôle solaire, les stores vénitiens et les vitrages simples.

Le pourcentage pour les vitrages simples est légèrement supérieur à celui des volets roulants mais pour des raisons opposées ; le vitrage simple est responsable de niveaux d'éclairage excessifs alors que les volets roulants créent une ambiance intérieure plutôt sombre.

Des conclusions similaires peuvent être tirées de l'examen de la figure ci-dessous qui illustre la distribution du facteur d'éclairage naturel, du DA et de l'UDI dans le bureau expérimental pour les 5 scénarios.

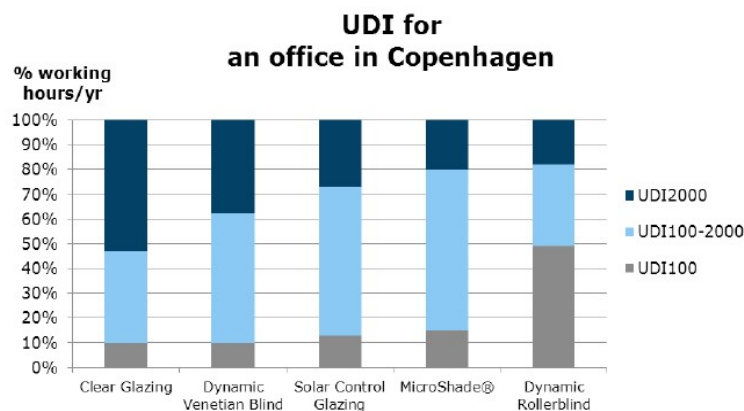


Figure 4. Répartition des niveaux d'éclairage en % de la durée de travail annuelle dans le local pour les 5 scénarios étudiés.

UDI <100 Lux (gris), UDI₁₀₀₋₂₀₀₀ Lux (bleu clair), UDI >2000 Lux (bleu foncé)

Le store extérieur motorisé (Dynamic Roller Blind) est la protection assurant le meilleur environnement sans éblouissement pour les usagers. Cependant l'atténuation lumineuse est si forte que pendant presque 50 % du temps de travail le niveau d'éclairage est inférieur à 100 lux et rend nécessaire l'éclairage artificiel.

Le vitrage simple (Clear Glazing) a un effet exactement contraire ; les besoins en éclairage artificiel ne sont nécessaires que pendant 10% du temps de travail (éclairage < 100 lux) mais le niveau d'éclairage est extrêmement élevé, avec de forts risques d'éblouissement, pendant plus de 50% du temps de travail.

Réglementation et normalisation - Etat actuel de la normalisation

Le CEN / TC 169/WG 11 prépare un projet de norme sur l'éclairage naturel dans les bâtiments. Selon « A proposal for a European Standard for Daylight in Buildings » publié par J.Mardaljevic et al (7) la méthode est encore basée sur le Facteur de lumière du jour bien qu'un lien avec les données « climat/situation » ait été introduit

Le CEN /TC 156 / WG 19 a entrepris la révision de la norme EN 15251. L'avant-projet propose une classification basée sur l'aptitude d'un bâtiment à utiliser l'éclairage naturel.

La méthode de classification est empruntée à la norme ISO 10916 :2014 et correspond à la norme allemande DIN V 18599-4 pour le calcul de l'impact de l'utilisation de la lumière naturelle

sur la demande énergétique d'éclairage artificiel. La classification est également basée sur le Facteur de lumière du jour.

Ainsi, bien qu'il soit largement admis par les praticiens que la méthode recourant à ce dernier soit dépassée, il semble qu'il faudra encore longtemps pour le voir abandonné.

Conclusion

La modélisation de l'éclairage naturel basée sur les données météorologiques permet d'analyser les conditions d'éclairage naturel d'un bâtiment en fonction de l'évolution de ces dites données pour le lieu d'implantation du bâtiment tout en montrant les effets des protections solaires.

Ce niveau d'analyse n'est pas possible avec la simple utilisation du Facteur de lumière du jour communément utilisée.

La simulation de l'éclairage naturel permet une évaluation « sur mesure » d'un bâtiment tout en fournissant des informations sur les économies en éclairage artificiel, les conditions d'éclairage des locaux et le confort visuel des occupants.

Le recours à cette modélisation est donc recommandé lors de la conception des bâtiments pour optimiser l'éclairage des locaux par lumière naturelle, pour garantir une bonne qualité de l'ambiance visuelle tout en minimisant le recours à l'éclairage artificiel.

Ces nouveaux outils sont encore mal connus des professionnels et le développement de leur utilisation nécessiterait une évolution des exigences réglementaires et des normes européennes.

ENCADRES :

Le Facteur de Lumière du Jour (DF)

DF is defined as:

$$DF = \frac{E_{inside}}{E_{outside}} \cdot 100\%$$

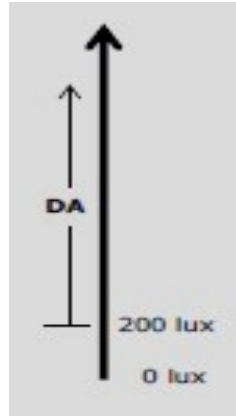
where E stands for illuminance.

DF = $\frac{200}{10,000} \times 100 = 2\%$

Le Facteur de Lumière du Jour (DF) est le rapport de l'éclairage naturel reçu en un point à l'intérieur du local à l'éclairage reçu à l'extérieur dans un site parfaitement dégagé avec un ciel uniformément couvert.

Autonomie d'éclairage naturel (DA - Daylight Autonomy)

Elle est définie comme le pourcentage annuel du temps de travail durant lequel le seuil minimum d'éclairement du plan de travail (souvent 200 lux) peut être assuré par l'éclairage naturel. C'est un indicateur directement lié au potentiel d'économie d'énergie résultant de la non-utilisation de l'éclairage artificiel.



Eclairage naturel utile (UDI- Useful Daylight Illuminance)

L'UDI est défini comme le pourcentage annuel du temps de travail durant lequel l'éclairement naturel atteignant le plan de travail est compris dans un certain intervalle (typiquement 100-2000 lux). En dessous de ce seuil l'éclairage artificiel est nécessaire, au-dessus de 2000 lux l'inconfort apparaît.

Cet indicateur de performance d'éclairage naturel semble, probablement, être celui fournissant l'information la plus pertinente à partir des données climatiques.

