

Apport de l'éclairage naturel par tube solaire dans une pièce aveugle

[Supply of natural lighting by solar tube in a blind room]

Sibiath O. G. Osseni^{1,2}, Didier Berléo M. Apovo¹, Zoukifirou Sambo Mama¹, Alida Kpoviessi¹, and Aristide C. Houngan²

¹Laboratory of Applied Energetic and Mechanic (LEMA), Polytechnic School of Abomey-Calavi (EPAC), University of Abomey-Calavi - UAC), 01 POB: 2009 Cotonou, Benin

²Laboratory of Sciences, Engineering and Mathematics, National School of Energy and Process Engineering, National University of Sciences, Technologies, Engineering and Mathematics of Abomey, Abomey, POB 486 Abomey, Sogbo-Aliho, Benin

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Visual comfort refers to the lighting conditions to ensure optimal clarity inside a building (office, classrooms, homes, etc.). Good natural lighting helps create a comfortable indoor atmosphere and also reduces the building's energy consumption. However, modern architecture focuses on the aesthetic aspect of lighting in the building to the detriment of its energy performance. The objective of this study is to propose a skylight system in a so-called «blind» room in order to reduce daytime energy consumption. For this, a bibliographic study was carried out on the concepts of lighting and visual comfort in order to retain solar tubes for their ease of implementation. The lighting, both indoor and outdoor, is simulated with and without skylights in the DIALux evo 10.1 software. The simulation results of this study revealed that the building could have better visual comfort and sufficient illumination, equivalent to at least 300 lux, according to the NF EN 12464-1 standard, with daylight by integrating a solar tube. A prototype skylight was made of cardboard and validated the simulation results giving an average illumination of 490 lux for a FLJ = 1.13%. We then note a reduction in energy consumption of 108 kWh/year corresponding to a financial saving of 21,600 FCFA/year and 77.76 kgCO₂eq avoided each year, for this room only.

KEYWORDS: natural lighting, visual comfort, solar tube, digital simulation, energy consumption.

RESUME: Le confort visuel fait référence aux conditions d'éclairage pour assurer une clarté optimale à l'intérieur d'un bâtiment (bureau, salles de classe, maisons,...). Un bon éclairage naturel permet de créer une atmosphère intérieure confortable et de réduire également la consommation énergétique du bâtiment. Cependant, l'architecture moderne se focalise sur l'aspect esthétique de l'éclairage dans le bâtiment au détriment de sa performance énergétique. L'objectif de la présente étude est de proposer un système de puits de lumière dans une salle dite « aveugle » afin de réduire la consommation d'énergie diurne. Pour cela, une étude bibliographique a été faite sur les notions d'éclairage et de confort visuel afin de retenir les tubes solaires pour leur facilité de mise en œuvre. L'éclairage, intérieur comme extérieur, est simulé avec et sans puits de lumière dans le logiciel de DIALux evo 10.1. Les résultats de simulation de cette étude ont révélé que le bâtiment pourrait présenter un meilleur confort visuel et un éclairage suffisant, équivalent à 300 lux au minimum, selon la norme NF EN 12464-1, avec la lumière du jour par l'intégration d'un tube solaire. Un prototype de puits de lumière a été réalisé en carton et a permis de valider les résultats de simulation donnant un éclairage moyen de 490 lux pour un FLJ = 1,13%. On note alors une réduction de la consommation énergétique de 108 kWh/an correspondant à une économie financière de 21 600 FCFA/an et 77,76 kgCO₂eq évité chaque année, pour ce local seul.

MOTS-CLEFS: éclairage naturel, confort visuel, tube solaire, simulation numérique, consommation énergétique.

1 INTRODUCTION

Le changement climatique est un phénomène auquel tous les pays sont confrontés [1]. Ceci est dû majoritairement à l'utilisation abusive des énergies fossiles [2]. En Afrique, près de 530 millions d'habitants dépendent de sources d'énergies polluantes et peu efficaces (bois, charbon, gaz) pour la cuisson, le chauffage et l'éclairage [3]. La demande en énergie devrait s'accroître considérablement avec l'urbanisation et pourrait, par exemple, être multipliée par cinq d'ici 2030 et par douze d'ici 2050 dans les pays de la Communauté Economique des Etats d'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) [4]. Le secteur de l'énergie représente 75 % des émissions mondiales de CO₂, dont 41 % pour l'électricité [5]. Par ailleurs, l'éclairage représente 19 % de la consommation électrique mondiale et environ 6 % des émissions de gaz à effet de serre [6]. L'éclairage est aujourd'hui une partie importante de la consommation électrique, car le poids des systèmes d'éclairage est observé sur la dépense énergétique dans les lieux où les gens passent habituellement leur temps [7]. Il a été aussi démontré qu'une réduction de l'ordre de 30 à 70% de cette consommation est possible grâce à la combinaison de l'éclairage naturel et artificiel. De ce fait, des mesures se prennent pour favoriser l'adoption de l'éclairage naturel dans le bâtiment. Cependant, de par leurs configurations, certaines pièces ou salles ne peuvent pas profiter de l'éclairage naturel et se trouvent alimentées à plein temps par l'éclairage artificiel (lampes électriques). Il s'agit en réalité de pièce dite « aveugle ». Il est donc d'une grande nécessité de proposer un système permettant à ces types de salles de bénéficier de la lumière naturelle afin de réduire la consommation énergétique observée. Ainsi, différents systèmes d'éclairage naturel sont disponibles (tableau 1) [8] et les puits de lumière, de par leur efficacité, ont été retenus pour cette étude. Un système de puits de lumière consiste en une ouverture horizontale ou inclinée dans le toit d'un bâtiment. Il est conçu pour capter la lumière du soleil lorsqu'il est au zénith, permettant à la lumière du jour de pénétrer dans les bâtiments. On distingue différents types de puits de lumière. Les puits de lumière avec laser Cut panels [9] dont la performance dépend de l'espacement de laser Cut panels, de l'angle d'inclinaison de la pyramide ou du triangle, de la profondeur du puits de lumière, de l'heure, du jour, de la saison et des conditions du ciel (figure 1.a). Ce dispositif peut fournir un éclairage qui atteint 1200 lux sous un ciel clair, alors que sous des conditions de ciel couvert, l'éclairage intérieur est compris entre 250 lux et 600 lux.

Tableau 1. Dispositifs d'éclairage naturel

Types d'éclairages naturels	Dispositif d'éclairages	Avantages	Limites
Eclairage latéral	Etagères	Réduction d'éblouissement et contraste Distribution plus uniforme de lumière	Non adapté aux pièces exposées au nord
	Vitrages prismatiques	Amélioration significative du confort thermique	Effet vitrage prismatique négligeable en ciel couvert
	Plafond anidolique	Augmentation du facteur de lumière du jour Meilleur éclairage à ciel couvert	Eblouissement en ciel dégagé
Eclairage zénithal direct	Verrière	Appréciable en cas d'obstacles extérieurs élevés	Apport solaire important Difficulté de nettoyage
	Dôme	Meilleur facteur de lumière du jour	Eblouissement important Gains de chaleur très importants
	Tabatière	Luminance élevée Eclairage intérieur uniforme	Problèmes d'étanchéité Difficulté de nettoyage
Eclairage au zénithal indirect	Toitures en dents de scie	Eclairage suffisant et homogène Limitation des apports solaires	Rayon solaire direct
	Les lanterneaux	Absence d'effet directionnel de la lumière du jour Distribution des FLJ symétrique	Inclinaison du vitrage
	L'Atrium	Diminution du risque d'éblouissement	Eclairage dépendant de la réflexion des matériaux
	Fibres optiques	Distance parcourue non sensible sur la luminosité	Onéreux
	Puit de lumière	Eclairage obtenu même dans les profondeurs Pas d'éblouissement et de surchauffe.	Coudes et longues distances diminuent l'éclairage

Son rendement sera maximisé lorsqu'on inverse la position de la pyramide ou du triangle en orientant le sommet vers le bas [10]. Les puits de lumière avec élément optique holographique (EOH) sont installés sur les toits plats ou en pentes et qui peuvent fournir un niveau d'éclairage uniforme dans un espace à condition que sa surface vitrée ne soit pas supérieure à 5 % ou 6 % de la surface totale du toit. Ils sont constitués d'un ensemble d'éléments holographiques placés entre deux plaques de verre conçus pour réorienter directement la lumière du soleil incidente dans une plage angulaire relativement étroite et normale à la surface et la faire pénétrer à travers les puits jusqu'au bas à l'intérieur (figure 1.b). La performance de ce système diffère selon le type de ciel (clair ou couvert). Le gain

thermique peut fortement être produit dans les climats chauds. Parmi les inconvénients de ce système, le coût élevé de production à cause de la complexité du processus de fabrication. De plus, si la surface du puits de lumière est importante, le risque d'éblouissement ou de surchauffe peut fortement se produire surtout à la mi-journée. En outre, les éléments optiques holographiques nécessitent un nettoyage et une maintenance permanente afin de garder leur transparence et leur performance [10]. Les tubes solaires (figure 1.c) sont des dispositifs dont le fonctionnement consiste principalement à apporter la lumière directe du soleil dans des pièces qui ne possèdent pas d'ouverture sur l'extérieur ou en complément d'une ouverture existante, comme il permet d'éclairer des espaces ayant une grande profondeur sans produire de surchauffe en été [11]. Ce système est un dispositif linéaire qui canalise la lumière au centre d'un bâtiment [12]. Il permet également de réduire considérablement la consommation énergétique pendant le jour. Il est constitué de trois composants: un dôme, un conduit lumineux et un diffuseur. Le dôme est un collecteur extérieur en forme de coupole claire lumineuse, fabriqué en polycarbonate propre qui élimine tous les rayons ultraviolets indésirables et empêche la pénétration de la poussière et de la pluie. Le collecteur doit être installé au niveau du toit afin de collecter et capter le maximum de lumière du soleil. Le conduit de lumière se présente sous forme d'un tube recouvert d'un film réfléchissant qui agit comme un élément de transport léger qui guide la lumière dans le bâtiment par réflexion. Le tube doit avoir des surfaces internes hautement réfléchissantes et l'utilisation d'un film prismatique optique ou d'une feuille d'aluminium de haute réflectance, d'environ 95 à 99 %, augmente considérablement son rendement [13]. Le diffuseur prend la forme d'un dôme en polycarbonate blanc monté sur le plafond de la pièce à éclairer, il peut être plat, convexe ou concave. Il est fait d'un matériau transparent et sa transparence varie pour répondre aux besoins de l'éclairage. Son rôle consiste à diffuser la lumière réfléchie depuis le tube afin de la répartir à l'intérieur. L'enquête menée par Marwae et al [14] sur treize bâtiments a révélé que les tubes solaires pourraient fournir 25 % à 50 % d'éclairage nécessaire sur un plan de travail et la performance maximale de ce système est obtenue dans des conditions de ciel dégagé (clair); l'éclairage atteint 1200 lux contre un éclairage de 57 lux seulement sous un ciel couvert.

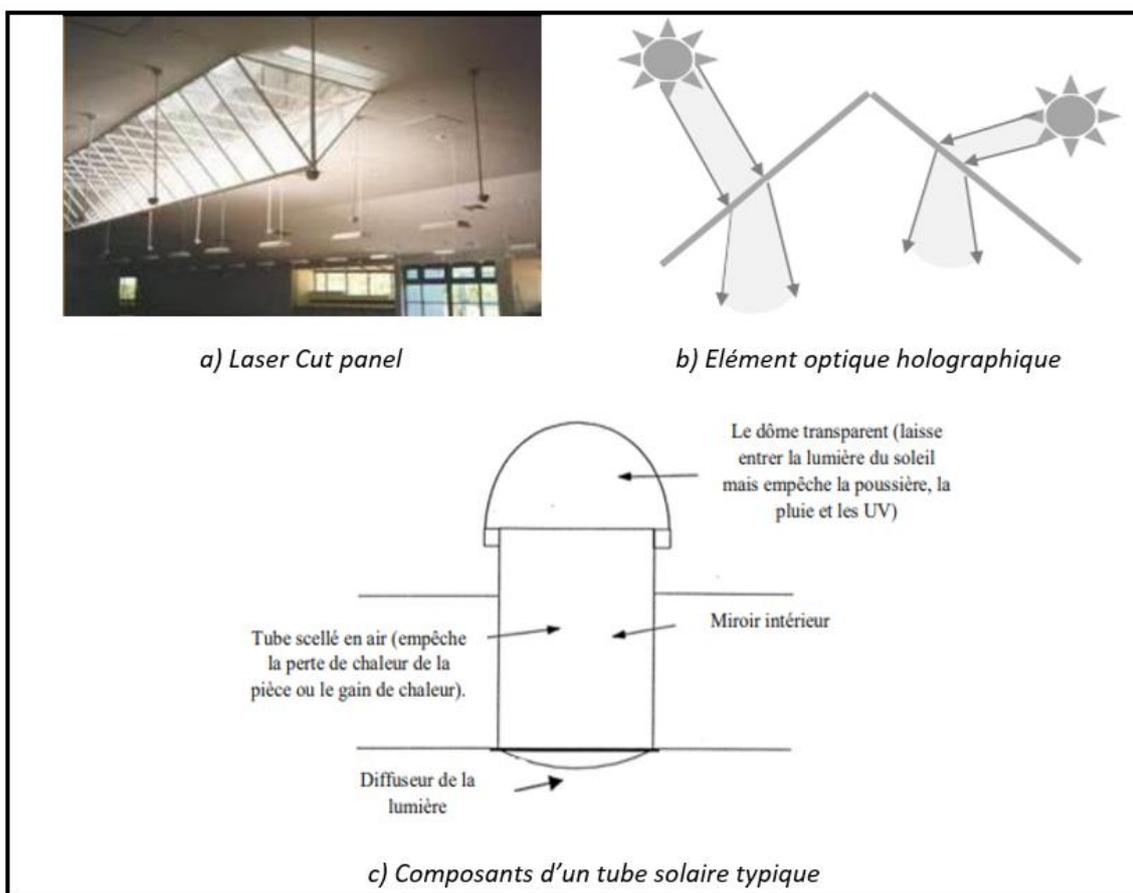


Fig. 1. Systèmes de puits solaire

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIEL

Dans le cadre de la présente étude, le logiciel de simulation DIALux evo a été retenu et a permis de modéliser les différentes caractéristiques du bâtiment (géométrie, composition des parois, ventilation...). Un luxmètre de marque TES, de portée 200000 lux et

de résolution 0,1 a permis de relever les niveaux d'éclairage dans la pièce mise en étude et un télémètre laser a permis d'effectuer les mesures des dimensions à l'intérieur de celle-ci. Les caractéristiques dimensionnelles de la pièce étudiée se présentent sur la figure 2. Sur cette figure, longueur $a = 5,35 \text{ m}$, largeur $b = 3,13 \text{ m}$, hauteur $H = 3 \text{ m}$, hauteur du plan de travail $e = 0,85 \text{ m}$, hauteur de pose de luminaire: $lp = 0 \text{ m}$, hauteur utile h ($h = H - lp - e$).

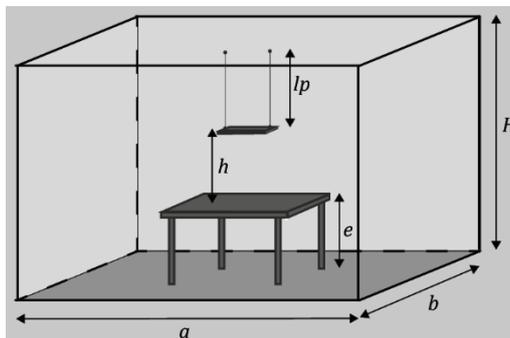


Fig. 2. Représentation du local étudié

Ainsi, un prototype de bâtiment de dimensions 30 cm x 30 cm x 30 cm, intégrant un système de puits solaire a été réalisé à partir de matériaux existants localement (fig.3). Il est utile de connaître les niveaux d'éclairage recommandés suivant l'ergonomie de travail. Pour cela, nous avons utilisé la norme européenne EN 12464-1 qui donne les prescriptions pour les systèmes d'éclairage pour la plupart des lieux de travail intérieurs et leurs zones associées en termes de quantité et de qualité de l'éclairage.



Fig. 3. Prototype réalisé

2.2 MÉTHODE

Dans le cadre de cette étude, nous avons dans un premier temps identifié la salle apte à servir de base pour les simulations. Des mesures d'éclairage ont été ensuite faites heure par heure dans le local et comparées à la mesure horaire de l'éclairage extérieur. Après cela, il a été dimensionné un éclairage artificiel convenable avec le logiciel DIALux evo. La pièce est constituée de deux portes et de deux fenêtres vitrées. La composition des parois est définie dans le logiciel. Après avoir modélisé la géométrie du bâtiment et paramétré les autres aspects de la simulation, le mode de sélection lumière permet d'insérer les luminaires grâce à un catalogue de marques auxquels le logiciel est associé. Grâce à l'orientation du terrain, il a été défini une zone d'étude qui est Cotonou (Bénin). Le prototype expérimental a alors été réalisé et ses performances ont été testées.

2.2.1 DETERMINATION DU BESOIN EN ÉCLAIRAGE DE LA SALLE EN ÉTUDE

La méthode utilisée consiste à dimensionner l'éclairage en tenant compte de toutes les caractéristiques du local: dimensions, coefficient de réflexion des parois, position des luminaires, vieillissement des lampes. Ainsi, on suit la base de calcul pour chaque local en spécifiant la zone de calcul, l'éclairage moyen et minimum, la couleur et le coefficient de réflexion des parois, l'indice du local, le facteur de suspension, le facteur de maintenance, les caractéristiques du luminaire et l'utilité du local. On obtient alors le nombre de luminaires en fonction de leurs caractéristiques et leur disposition.

- Facteur de réflexion du local

La codification s'exprime par trois chiffres correspondant en % aux coloris: plafond, murs, plan utile. Les parois vitrées ont un rôle négligeable pour la réflexion et ne sont pas prises en compte.

Tableau 2. Codification des facteurs de réflexion

Coloris	Très clair	Clair	Moyen	Sombre	Nul
Plafond	8	7	5	3	0
Mur	7	5	3	1	0
Plan utile	3	3	1	1	0

Pour cette étude:

- Plafond = blanc clair soit 70 % équivalant à 7
- Murs = clairs soit 50 % équivalant à 5
- Plan utile = clair sombre 10 % équivalant à 1

- Calcul de l'indice K du local

L'indice K du local se déduit des dimensions géométriques, de la hauteur du plan des luminaires et de la hauteur du plan de travail.

$$K = \frac{a \times b}{(a+b) \times h} \quad (1)$$

- Facteur de suspension J

$$J = \frac{lp}{lp+h} \quad (2)$$

- Caractéristiques du luminaire retenu

- Tube Led: 1,20 m
- Flux lumineux: 1440 lm
- Puissance: 18 W

- Détermination de l'utilance Ui

Afin de déterminer l'utilance, il faudrait choisir la classe de la qualité des luminaires en fonction de l'occupation de la salle. En croisant le coefficient de réflexion et l'indice K, on déduit la valeur de l'utilance Ui.

- Facteur de maintenance

On prend un facteur de maintenance correspondant au cas d'utilisation des lampes Tube Led dans un bureau avec peu d'empoussièrement: $fm = 1,25$.

- Flux lumineux à fournir

$$F = \frac{E \times a \times b \times e \times d}{\eta \times Ui} \quad (3)$$

- Nombre de luminaires et disposition

$$N = \frac{F}{f} \quad (4)$$

- Éclairement en fin de vie des lampes

$$E = \frac{f \times n \times \eta \times Ui}{a \times b \times fm} \quad (5)$$

Avec

- f: flux lumineux produit par un appareil
- n: nombre de luminaires
- a: longueur du local en m
- b: largeur du local en m
- Ui: facteur d'utilance
- η : rendement du luminaire
- fm: facteur de maintenance

- Éclairage en début de vie des lampes

$$E' = E \times fm \tag{6}$$

Avec

E: Éclairage en fin de vie des lampes
 fm: facteur de maintenance

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 ECLAIRAGE ARTIFICIEL CONVENABLE

Le tableau 3 présente les résultats issus du dimensionnement de l'éclairage artificiel dans le local retenu.

Tableau 3. Résultats du dimensionnement

Paramètres	Données
Hauteur utile de la zone de calcul h_3	2,15 m
Éclairage moyen ; minimum (lux)	500 ; 300
Couleur et coefficient de réflexion des parois	751
Indice du local	1
Facteur de suspension	0
Facteur de maintenance	1,25
Utilance du local	78%
Flux lumineux à fournir	8474,44 lm
Nombre de luminaires de 18 W	6 lampes
Éclairage en fin de vie des lampes	305,86 lux
Éclairage en début de vie des lampes	382,32 lux

En utilisant l'éclairage exigé par la norme NF EN 12464-1 et d'après les calculs effectués plus haut, il est admis que pour un confort visuel dans la salle retenue, il faudrait implanter six lampes réparties comme sur la figure 3. Or dans le local étudié, il n'y est installé que deux lampes de ce type (pour une même puissance et flux de lampe). Nous pouvons alors conclure que même l'éclairage artificiel actuel du local est non convenable du point de vue des exigences en matière de confort visuel.

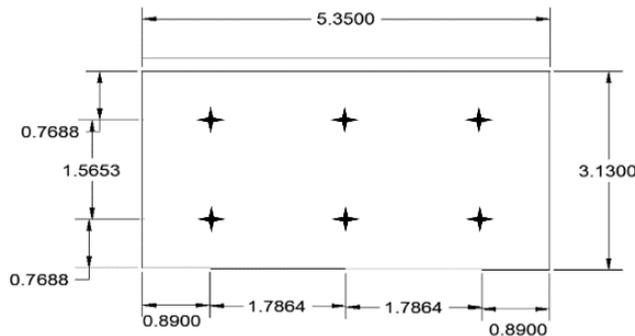


Fig. 4. Schéma d'implantation des luminaires

3.2 EVALUATION DE L'ECLAIRAGE DANS LA SALLE ÉTUDIÉE

La figure 5 présente l'évolution de l'éclairage dans la salle tout au long d'une journée, selon que les lampes soient allumées ou éteintes. Ces valeurs sont ensuite comparées à l'éclairage minimum recommandé.

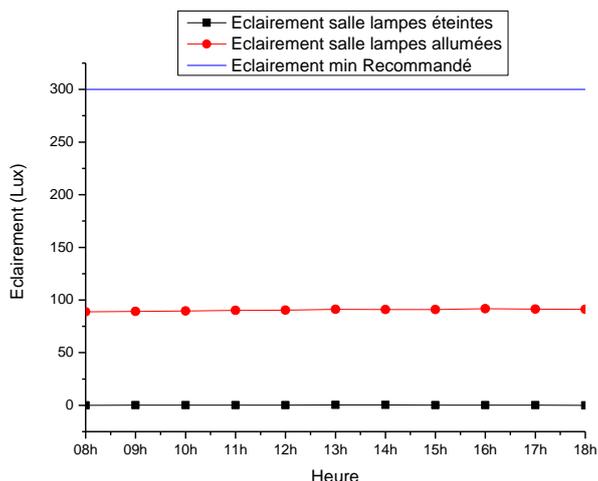


Fig. 5. Prototype réalisé

A l'analyse de la figure 5, on confirme que la salle constitue effectivement une pièce aveugle car quel que soit le moment de la journée, l'éclairage mesuré sans lampe électrique allumée varie entre 0 et 0,3 lux. De plus, l'éclairage artificiel installé est non conforme aux recommandations de la norme NF EN 12464-1 qui est normalement de 300 lux au minimum. Cette situation pourrait dégrader le confort visuel des occupants de cette salle. Néanmoins, l'éclairage naturel extérieur est largement suffisant pour une autonomie complète en lumière de jour. La figure 6 illustre la comparaison entre l'éclairage extérieur mesuré et ceux obtenus par mesure dans la salle.

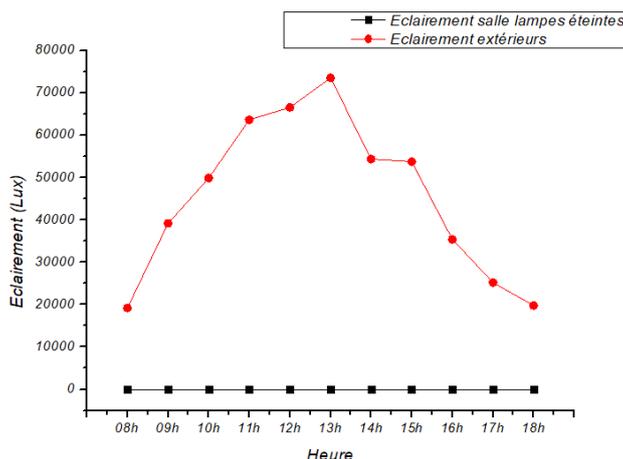


Fig. 6. Comparaison entre l'éclairage extérieur et intérieur (ampoules éteintes)

D'après la figure 6, alors que l'éclairage naturel maximal obtenu dans la salle est de 0,3 lux, à l'extérieur, des valeurs d'éclairage de 73600 lux sont obtenues soit près de 250000 fois l'éclairage obtenu à l'intérieur. Il est alors important de mettre en place un système pour la redirection de la lumière vers la salle étudiée. Dans cette optique, il a été simulé l'éclairage dans le local avec un système de puits de lumière comme présenté sur la figure 6.

On constate que l'éclairage obtenu par simulation est suffisant et largement au-dessus des valeurs recommandées. Cela nous amène à conclure que le système proposé est convenable pour les besoins en confort visuel dans ce local. Cependant, pour éviter des risques d'éblouissement, il serait possible d'intégrer des systèmes de dispersion partielle de lumière absorbée par le puits proposé.

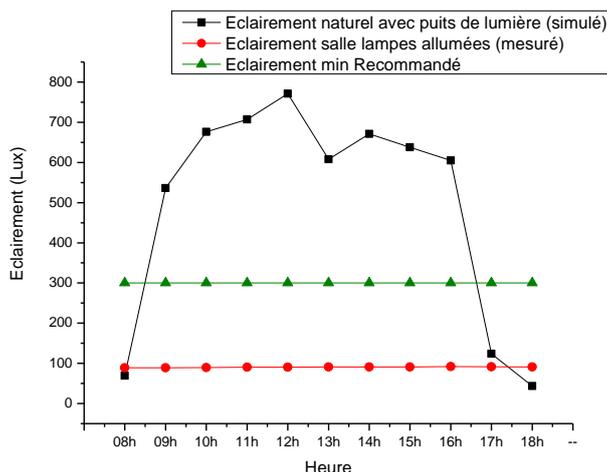


Fig. 7. Comparaison entre puits de lumière simulé et l'éclairage artificiel

3.3 EVALUATION DES PERFORMANCES DU PROTOTYPE REALISE.

Pour une meilleure appropriation expérimentale des systèmes de puits de lumière, le prototype réalisé et instrumenté, donne les résultats présentés sur les courbes de la figure 8:

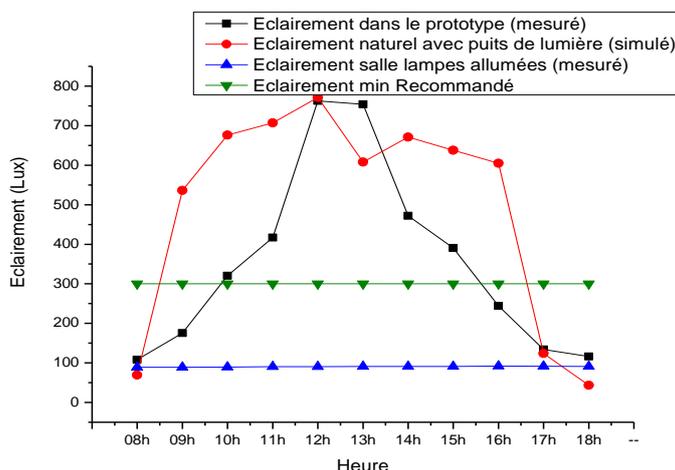


Fig. 8. Résultat des tests du prototype

On note d'une part une concordance entre les valeurs obtenues par simulation et celles mesurées sur le prototype autour de midi. Ceci permet de dire qu'il est vraiment possible d'opter pour ce type de système afin d'améliorer le confort visuel dans le bâtiment en général et les pièces aveugles en particulier.

3.4 ANALYSE DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DU BATIMENT AVANT ET APRES INSTALLATION DU SYSTEME

La situation actuelle de l'éclairage par les lampes électriques (deux lampes à LED de 18 W) n'est pas la situation de référence pour cette salle car ne respectant pas les normes en matière de confort visuel. Pour le confort visuel, il faut six lampes de ce type comme dimensionné.

Les hypothèses de calcul suivantes ont été utilisées et les résultats sont présentés dans le tableau 4:

- La durée d'utilisation du local 5 h / jour et 5 jours / 7 jours (bâtiment scolaire);
- 200 jours par an (suppression des week-ends, des jours de congés et de vacances)
- Coût de revient moyen de l'énergie 200 FCFA/kWh (en tenant compte du prix du kWh brut, de l'entretien, de la TVA et des contributions).
- Contenu CO₂/kWh d'après le mix énergétique du Bénin: 0,72 kgCO₂eq/kWh (Base Carbone, ADEME, 2021)
- La lumière naturelle couvre entièrement les besoins des occupants pendant les horaires d'opération de la salle qui correspondent à la disponibilité de l'éclairage naturel.

Tableau 4. comparatif de la consommation

Consommation énergétique/an pour 6 lampes (kWh)	Emission de GES correspondante (kgCO ₂ eq/an)	Coût d'énergie annuel (F CFA)
108	77,76	21 600

Il faut retenir après analyse de ce tableau que 108 kWh sont économisés par an en optant pour le système de puits de lumière, soit une économie financière directe de 21 600 F CFA. Précisons qu'en dehors des bénéfices financiers et énergétiques, un système de lumière naturelle offre une pureté de lumière et un rendu incomparable. Il permet également une réduction des émissions de gaz à effet de serre inhérents à l'utilisation de l'énergie. Elles sont évaluées à 77,76 kgCO₂eq/an.

4 CONCLUSION

Cette étude avait comme objectif d'améliorer l'éclairage naturel dans un local par un système de puits de lumière. Nous avons pour cela, fait une revue de littérature des différentes notions fondamentales de l'éclairage. Ce qui nous a permis de choisir les tubes solaires comme système d'éclairage naturel optimal pour la salle étudiée, afin d'en faire une modélisation et la simulation. Les différents résultats issus de cette simulation ont été également présentés et discutés. La simulation de l'éclairage dans la salle étudiée avec un puits de lumière installé révèle que la valeur moyenne de l'éclairage dans cette salle est 490 lux. Ce qui est bien conforme aux exigences de la norme NF EN 12464-1 pour les salles de professeurs.

On note une réduction de la consommation énergétique de 108 kWh/an correspondant à une économie financière de 21600 FCFA/an et 77,76 kgCO₂eq évité chaque année, pour ce seul local.

Tout l'intérêt de notre approche est de réduire la consommation de l'énergie électrique. Dans le même temps nous avons contribué au développement durable qui représente un sujet de notre siècle tout en permettant la réduction des gaz à effet de serre engendré par l'utilisation de l'énergie électrique.

REFERENCES

- [1] D. Cunniah, «Changement climatique et travail: l'objectif d'une «transition juste», » Journal international de recherche syndicale, vol. 2, n° 12, pp. 130-357, 2010.
- [2] Bourque, «Les changements climatiques et leurs impacts, » Changements climatiques, vol. 1, n° 12, Septembre 2000.
- [3] AFD et BAFD, «L'énergie en Afrique à l'horizon 2050, » 2009.
- [4] CEREEC, ITC, CASA AFRICA, «Les Énergies Renouvelables en Afrique de l'Ouest. État, expériences et tendances, » 2012.
- [5] Net, Zero, by et 2050, «A Roadmap for the Global Energy Sector, » [En ligne]. Available: iea.li/nzeroadmap.
- [6] E. Gago, T. Muneer, M. Knez et H. Köster, «Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load, » pp. 1-13, 2015.
- [7] S. Ferdinando, G. Iacopo, d. S. Maicol et d. L. V. Andrea, «Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources. A case study carried out in academic buildings, » Applied Energy, vol. 169, pp. 250-266, 2016.
- [8] V.-M. Daniel, Á. F.-B. Antonio et G.-F. Berta, «Natural Lighting Systems Based on Dielectric Prismatic Film, » pp. 156-179, 3 Octobre 2012.
- [9] K. J. a. R. Watkins, «Daylight in building, » 2010.
- [10] M. D. Safa, Modélisation du système anidolique pour un environnement lumineux.
- [11] G. Oakley, S. Riffat et L. Shao, «Daylight performance of lightpipes, » Solar Energy, vol. 69, n° 12, pp. 89-98, 2000.
- [12] D. Carter et M. Al Marwae, «User Attitudes Toward Tubular Daylight Guidance Systems., » Lighting Research and Technology, vol. 41, pp. 71-88, 2009.
- [13] X. Zhang, T. Muneer et J. Kubie, Lighting Research and Technology, vol. 34, pp. 149-169, 2002.
- [14] M. Al Marwae et D. Carter, «A Field Study of Tubular Daylight Guidance Installations, » Lighting Research and Technology, vol. 38, pp. 241-258, 2006.