

Évaluation post-occupationnelle de la qualité de l'éclairage dans les salles de classes. Post-Occupancy Evaluation of Lighting Quality in Classrooms

FERCHA Nessma^{*1}, BENBOUAZIZ Akila², ALKAMA Djamel³

¹ Laboratoire Enfant, ville et Environnement, Université Batna 1 , ALGERIE
Email : nessma.fercha@ univ-batna.dz

² Laboratoire Enfant, ville et Environnement, Université Batna 1 , ALGERIE
Email : akila.benbouaziz@univ-batna.dz

³ Laboratoire Enfant, ville et Environnement, Université guelma , ALGERIE
Email : dj.alkama@gmail.com

Date de réception. : 27 /07/2021

Date d'acceptation : 25/11/2021

Résumé: L'éclairage naturel est un élément sensoriel et visuel, il constitue un défi majeur pour les concepteurs des écoles et porte intérêt envers la catégorie d'enfant scolarisés en phase de construction corporelle considéré comme fragile. Sachant que l'éclairage dans les salles de classe affecte la lecture, l'écriture, la participation aux tâches pédagogiques, la perception, l'expérience et le comportement dans l'espace, et apporte à l'enfant un sentiment de bien-être et de confort. Par conséquent, il lui préserve sa sante psychologique et physique, en d'autres termes, il lui fournit un environnement visuel confortable qui dépend principalement de la quantité et de la qualité de la lumière naturelle permise dans les salles de classe avec un contrôle rigoureux de l'éblouissement,

L'objectif de cet article est d'évaluer l'éclairage naturel dans les salles de classe choisis comme échantillon typique, en adoptant l'approche d'évaluation post-occupationnelle associée à la technique du questionnaire. Dans le cadre de recherche, l'évaluation post-occupationnelle est centrée sur les paramètres statiques d'éclairage, en analysant l'effet et l'apport des orientations par rapport aux configurations des fenêtres pour évaluer, par la suite, leurs effets sur les performances de la lumière du jour dans les salles de classe, afin d'apporter des solutions appropriées aux problèmes soulevés.

Les résultats obtenus montrent que l'orientation et la configuration des ouvertures des salles de classe affectent l'éclairage naturel à l'intérieur de ces espaces, cela a été observé durant le mouvement du soleil le long de la journée. Les résultats ont montré aussi que certaines orientations sont plus performantes que d'autres, alors qu'il est possible d'améliorer le niveau d'éclairage pour les espaces non conforme et éliminer l'éblouissement grâce aux traitements architecturaux.

Mots clés : salle de classe; confort visuel; lumière naturelle; orientation; évaluation post-occupationnelle.

Abstract: Daylighting is a sensory and visual element, it is a major challenge for school designers and is of interest to the category of school children in the phase of body construction considered fragile. Knowing that lighting in classrooms affects reading, writing, participation in educational tasks, perception, experience and behavior in space, and brings to the child a sense of well-being and comfort. Therefore, it preserves his psychological and physical health, in other words, it provides a comfortable visual environment that depends mainly on the quantity and quality of natural light allowed in the classroom with a strict control of glare,

The main objective of this paper is to assess the daylighting in classrooms chosen as a typical sample, adopting the post-occupancy evaluation approach associated with the questionnaire technique. In the research framework, the post-occupancy evaluation is focused on the static lighting parameters, analyzing the effect and contribution of the orientations in relation to the

* Auteur correspondant

window configurations to evaluate, subsequently, their effects on the daylight performance in the classrooms, in order to provide appropriate solutions to the problems raised.

The results obtained show that the orientation and configuration of classroom openings affect the daylighting inside these spaces; this was observed during the movement of the sun throughout the day. The results also showed that some orientations perform better than others, while it is possible to improve the level of illumination for non-conforming spaces and eliminate glare through architectural treatments.

Keywords: classroom; visual comfort; natural light; orientation; post-occupancy evaluation.

Introduction:

L'établissement scolaire est le lieu où se déroule le processus éducatif, il constitue l'environnement physique dans lequel l'élève et l'instituteur interagissent. Cependant, des études ont prouvé que l'environnement d'apprentissage confortable, d'un point de vue physiologique, améliore nettement, la performance scolaire, le bien-être et la psychologie des usagers. C'est pourquoi ils doivent faire l'objet d'une attention particulière, d'où notre intérêt à ce sujet.

L'importance de l'environnement scolaire réside, en grande partie, dans la quantité et la qualité de la lumière naturelle des salles de classe. En fait, la lumière dans la salle de classe a toujours été l'objet de nombreuses études en raison de sa grande importance dans ce type d'espace, où l'éclairage ne devrait pas être trop lumineux n'est très faible, mais plutôt dans la norme du confort visuel pour assurer un bon déroulement de l'activité d'apprentissage, favorisant l'épanouissement de leurs personnalités (Francesco, N., 2018). Ces recherches ont montré que la lumière naturelle peut avoir un impact sur l'humeur, les performances et le bien-être des enfants.

Aujourd'hui, l'être humain est plus exposé à la lumière artificielle que la lumière naturelle (Irnawaty, Iet al,2020), alors que dans certains bâtiments, en remédier aux défaillances de la lumière naturelle pour être comblée par un éclairage artificiel, cela, revient aux problèmes issus de la conception des espaces et leurs orientations. Cependant, l'éclairage naturel ne peut être utilisé de manière optimale, que s'il y a suffisamment de rayons solaires, ce qui nécessite en parallèle, une connaissance profonde des orientations du bâtiment. Dans ce cas, les ouvertures et les fenêtres sont l'unique source de la lumière naturelle. Cette dernière offre une double fonction, elle procure d'un côté, un environnement intérieur agréable, de l'autre, elle est le catalyseur de la productivité dans ces espaces (Setiati, T W et al. 2021).

En Algérie, la construction des bâtiments scolaires est reproductive des modèles typiques, où la problématique de l'éclairage naturel à l'intérieur et son amélioration n'est pas repensée, et son impact sur le bien-être et le confort des élèves n'est pas considéré ni mesurer. Alors qu'à l'école, les enfants passent la majeure partie de la journée enfermée dans les salles de classe, le problème s'aggrave durant la période hivernale, quand le besoin en lumière est sensiblement ressenti. Dans ce sens, la notion de confort visuel et la gestion de la lumière dans les espaces scolaires sont d'une importance primordiale, et l'accès à la lumière de jour dans les salles de classe devrait constituer une priorité. D'où l'importance d'évaluer l'environnement lumineux au sein de ces espaces, car il existe de nombreux facteurs et variables qui affectent la qualité de l'éclairage dans les salles de classe, dont notre intérêt se porte à l'orientation et à la configuration des ouvertures et des fenêtres des salles de classe, alors qu'à l'intérieur, le niveau de confort est aussi revu ainsi que les paramètres en relations. De ce fait, la question qui se pose est :

Après l'usage des salles de classe, comment les usagers de ces espaces (élève et instituteur) qualifient-ils le niveau d'éclairage ? Sa quantité et sa qualité répondent-ils aux normes ?

L'objectif principal de la recherche est d'évaluer l'éclairage naturel dans les salles de classe, ce qui nécessite de revoir leurs orientations, la distribution et l'intensité des niveaux d'éclairage et l'effet de la qualité des surfaces et leurs coefficients de réflectivité, dans le but d'apporter des éléments de réponses au problème de l'éclairage dans les salles de classe déjà en usage.

1. La méthodologie de recherche

Afin d'atteindre l'objectif fixé, nous avons procédé à ce que l'on appelle l'évaluation post-occupation. (POE), L'approche POE repose essentiellement sur un ensemble de méthodes (Benbouaziz, A., &All .2014); Dans le cadre de cette recherche, l'évaluation poste occupationnelle sera abordée de point de vue qualitative, basée sur l'usage d'un outil de recherche à savoir : l'enquête par questionnaire adressé aux usagers des salles de classes repartie entre élèves et enseignants, ceci dans le but de recueillir des appréciations sur des conditions d'éclairages notamment naturel, et pour tenter de comprendre l'impact de certains choix de conception architecturale sur l'éclairage des salles de classe.

Cette opération s'est déroulée à différents moments de la journée (de 9.00 h jusqu'à 14.30h), là où les salles de classe étaient occupées par les élèves, et cela pendant la période hivernale (le 13 décembre 2020) en temps nuageux et pluvieux (ciel couvert).

2. État de l'art

La qualité et la quantité de la lumière dans les établissements scolaires sont d'une grande importance, elle doit assurer une bonne vision, facilitée le déroulement des activités scolaires apporter une satisfaction esthétique, mais aussi satisfaire les besoins psychologiques et physiologiques de l'enfant (Déoux, S.2010).Notamment la lumière naturelle, dont sa source principale est d'abord le soleil puis vient de la voûte céleste. Depuis, L'éclairage naturel est introduit à l'intérieur des bâtiments grâce à son orientation. En fait, fournir un éclairage approprié à l'intérieur des salles de classe est l'une des principales considérations dans la conception des bâtiments scolaires.(Acosta I, et al,2015). L'orientation du bâtiment, en termes d'ouvertures et de fenêtres, est un facteur important qui affecte la qualité de l'éclairage naturel dans les bâtiments, son implantation et sa situation, ainsi que la forme et la hauteur des bâtiments environnants par rapport à la course du soleil en hiver et en été, doivent être pris en compte, afin de déterminer les zones ombragées et ensoleillées. (Phillips D,2004) .

Des études antérieures ont montré que les effets de l'orientation sur les ambiances internes des bâtiments, sont déterminés par une combinaison de nombreux facteurs liés à la conception et à la construction des bâtiments (Givoni, b.1978). Également, l'orientation de la façade détermine sa capacité à répondre aux conditions climatiques, non seulement pendant la journée, selon l'heure de la journée, mais aussi tout au long de l'année, selon les saisons. La quantité de rayonnement indirect tombant sur une surface est presque indépendante de l'orientation vers l'extérieur tandis que le rayonnement direct dépend fortement de l'orientation (Olgyay, V., 1973).

Mazria (Mazria, E., 1981) a déduit que :

- Les façades orientées vers le Nord reçoivent beaucoup de lumière indirecte et un environnement agréable. la surcharge lumineuse directe et les problèmes d'éblouissement sont tous réduits.
- Les bâtiments avec un axe principal orienté Est et Ouest ont plus de potentiel d'éclairage naturel.

Les recherches du groupe de travail ICEB (ICEB., 2014) montrent que la variance des distributions de la luminance sur la voûte céleste, signifie que l'orientation et l'inclinaison des ouvertures de taille identique, auront un effet sur le flux lumineux naturel. En général afin de maximiser les avantages de l'éclairage naturel à l'intérieur, les bâtiments peuvent être situés et orientés de manière à profiter de la trajectoire du soleil au cours de la journée, ainsi que les variations saisonnières.

Un autre paramètre a considéré dans l'éclairage des espaces internes est la configuration des ouvertures, cette dernière peut modifier l'intensité et la répartition de la lumière du jour dans l'espace (Baker N, Steemers K. 2014) (Mahdavinejad M, et al.2012), les ouvertures sert à capter, transmettre et distribuer la lumière naturelle de manière différente selon leur orientation, leurs dimensions, leur emplacement.(Déoux, S.2010).dans ce sens, la conception des ouvertures devient beaucoup plus complexe dans les climats à ciel clair et ensoleillé. La configuration des fenêtres est traitée dans plus de détails comme le présume Mazria, E., (1981) détaillé dans ce qui suit :

- Orientation des ouvertures

Pour les latitudes tempérées, on peut distinguer cinq orientations principales qui prennent en compte les déséquilibres de température entre le matin et l'après-midi. À savoir :

- Orientation Nord : Elle est considérée comme l'orientation la moins exposée au soleil, qui ne reçoit des rayons solaires qu'aux premières et dernières heures de la journée, en certains jours d'été, jugés produire d'importantes réflexions.
- Orientation Sud : Contrairement à l'orientation Nord, elle reçoit la lumière du soleil presque toute la journée en été et à toute heure de la journée.
- Orientation Est : elle n'est exposée au soleil que la moitié de la journée, du lever du soleil à midi en été comme en hiver.
- Orientation Ouest : Les façades dans cette orientation nécessitent un soin particulier dans la conception, car elles sont exposées au soleil en deuxième partie de la journée et les rayons solaires sont également inclinés.
- Fenêtre en toiture et Les lanterneaux : Les lanterneaux fournissent trois fois plus de lumière que pour les fenêtres verticales. Ils peuvent également fournir une répartition beaucoup plus uniforme de la lumière, en particulier dans les grandes structures. Ils peuvent aider à fournir de la lumière naturelle avec des qualités appropriées à l'utilisation du bâtiment. (Hee W, et al. 2015). Là où le vitrage vertical existe, une zone efficace pour l'éclairage naturel ne sera pas à moins de 6 m du mur contenant la fenêtre.

- Dimensionnement des ouvertures latérales

C'est la méthode et la technique la plus courante pour introduire plus de lumière du jour dans un espace, mais l'inconvénient de cette méthode réside dans le fait que les espaces éclairés latéralement notamment dans les salles de classe, le niveau de lumière du jour n'est pas uniforme, et diminue à mesure que nous nous éloignons de la fenêtre. Dans ce cas, Baker, N., (2014) suppose que la surface vitrée nécessaire pour fournir de la lumière du jour cible, dépend principalement de :

- La transmittance lumineuse du vitrage
- La taille et la forme du local
- La réflectance des surfaces intérieures

- La forme de l'ouverture

Une forme d'ouverture optimisée peut augmenter la qualité de l'éclairage naturel en réduisant les effets de contrastes et d'ombres (Bouvier, M. 1981).

- La position de la fenêtre

La position des ouvertures sur la façade a un impact sur la répartition de la lumière naturelle dans un local. L'intensité et la répartition de la lumière du jour s'améliorent avec la position des vitrages élevées

- Ratio fenêtre/mur (WWR)

La distribution de la lumière du jour est également affectée par les dimensions des d'ouvertures. Une étude faite pour évaluer La quantité de lumière du jour dans des pièces exposées au nord et au sud à Turin, au Nord-Ouest de l'Italie, avec différentes tailles de fenêtres, concluant que 40 % WWR est suffisant pour garantir un éclairage naturel « utile » (Cammarano S, et al. 2015).

- Type de vitrage (la transmission du vitrage)

Le type des vitres a un impact direct sur la performance énergétique et les niveaux de lumière du jour des bâtiments (Cammarano S, et al., 2015). En fait certaine type de vitrage ont un comportement déférent à chaque longueur d'onde du spectre solaire.

2.1. les paramètres de la lumière naturelle

Il existe de nombreux paramètres permettant de mesurer la lumière naturelle à intérieur, qui peuvent être classée en deux groupes principaux : les paramètres statiques (paramètres basés sur le temps et les données climatiques: inclut le facteur de lumière du jour, garantir la vue vers l'extérieur et éviter la lumière directe du soleil, uniformité et éclairage (Bennett S. 2009) (Phillips D. 2004) et les paramètres dynamiques Incluant : L'autonomie lumineuse, autonomie lumineuse continue (cAD), indice de lumière du jour utile (UDI), l'autonomie spatiale à la lumière du jour (sDA) et l'exposition annuelle au soleil (ASE) (Reinhart CF .et al .2006)) et (Cammarano S, et al .2015), Puisque cette étude est basée sur l'évaluation des mesures fixes, spécifiquement, sur le

facteur de lumière du jour, l'uniformité et l'éclairage dans cette étude, seront discutés dans ce qui suit.

- **Facteur de lumière du jour (FLJ):** représente le rapport entre l'éclairement intérieur sur un plan de travail et le sol (hors éclairage artificiel) à l'éclairement naturel extérieur par temps couvert. (Hee W, et al .2015) C'est la mesure la plus simple et la plus courante de la lumière du jour permise à travers une fenêtre, car elle exprime l'éclairage potentiel dans une pièce dans la pire situation possible dans des conditions de ciel nuageux, Les conditions d'éclairement d'un ciel couvert est défini par la commission internationale de l'éclairage (CIE). Les paramètres influençant cette valeur sont la taille et les propriétés du vitrage, la couleur des surfaces intérieurs, les éventuels masques.(Zomorodian Z.S, et.2016). le FLJ est principalement utilisé dans la conception des bâtiments pour évaluer la lumière du jour sur un plan de travail horizontal. Par cette méthode, un concepteur planifie la taille, la forme, la position, le type de vitrage des ouvertures et éventuellement dispositif d'ombrage de type fixe, qui assurera une lumière du jour adéquate pendant les jours nuageux. Tandis que le Facteur de lumière du jour minimum et moyen pour les salles de classe a été défini à 2% et 5%, respectivement (Jaewook Lee et al .2019).
- **luminance :** est la quantité de lumière reçue sur une surface par unité de surface, mesurée en lux. Othman et al, (2008) et Balocco et al, (2008) ont recommandé des valeurs moyennes de 750, 500, 500 et 300-600 lux pour les tâches en classe, y compris la lecture et l'écriture respectivement.
- **Uniformité :** qui est définie comme le rapport entre le minimum et le moyen niveau d'éclairement dans une pièce (M. B. S., 2015). De nombreuses normes d'éclairage nécessitent un rapport d'uniformité de 0,8 (minimum/moyen) ou 0,7 (minimum/maximum), il représente une métrique uniquement utilisée, liée plus au confort visuel, d'un intérêt visuel dans une pièce plutôt qu'à tout autre type d'études de performance d'éclairage naturel (Nocera, F.; et al 2018).

2.2. La lumière naturelle un critère de confort visuel

Grâce à la lumière, nous pouvons recevoir des informations visuelles sur l'environnement dans lequel nous sommes entourés. Notamment la lumière naturelle où la lumière du jour est considérée comme la meilleure. Où il est considéré comme Une stratégie de développement efficace et durable pour augmenter le confort visuel. Ce dernier est un indicateur important pour la satisfaction des occupants et de leur performance.(Ivana ,T et al,2018).

On entend par confort visuel l'état mental dans lequel le système visuel remplit sa fonction de manière optimale.il est une sensation subjective liée à la quantité, à la qualité et la distribution de l'éclairage naturel dans un espace ; Il peut également être un éclairage artificiel satisfaisant comme un complément à l'éclairage naturel, Le confort visuel est atteint lorsque nous pouvons voir les choses clairement et sans aucune fatigue.(Daniel F,2006) un éclairage adapté est ici un élément essentiel.

De nombreuses études antérieures ont expliqué que le confort visuel est directement affecté par la source et le type de la lumière, le niveau et la répartition de la lumière dans l'espace. la lumière contribue à créer un environnement sain, confortable et productif (Anahita D et al, 2021).en effet Lumière naturel à l'intérieur des bâtiments influence fortement le confort visuel des occupants ainsi que leur état psychophysiologique, améliorer leurs performances cognitives et visuelles. En revanche, lorsque l'éclairage est trop faible ou trop fort, mal réparti dans l'espace ou que le spectre lumineux n'est pas adapté à la sensibilité oculaire ou à la vision des couleurs, il provoque une sensation d'inconfort visuelle, provoquant une fatigue, voire des troubles visuels, ce qui conduit à une diminution des performances visuelles (DAICH S.2012).

En général, Un environnement lumineux est jugé comme inconfortable, lorsqu'il ne répond pas à des critères et recommandations basés sur des quantités et paramètres lumineuses, satisfaisant, ou la satisfaction visuelle reste une impression totalement subjective déterminée par les préférences individuelles. (Davoodi, A.2020).

3. La technique du questionnaire, objectifs et types de questions :

Le questionnaire est défini comme un moyen de collecte de données et des informations sous forme de réponses aux questions posées, ces réponses sont par la suite analysées. La forme du

questionnaire choisi a pris deux formes : l'une auto-administrée destinée aux enseignants, il consiste à donner à chaque informateur un formulaire de question à remplir, l'autre, interview destinée aux élèves, qui consiste à poser verbalement les questions et à noter les réponses, cela a nécessité plus de temps et d'implication de notre part, pour donner des explications supplémentaires aux élèves interviewés et pour avoir des réponses à l'ensemble des questions. (Maurice Angers, 1997, p. 148). Un outil est considéré par les chercheurs comme une technique importante et efficace pour expliquer certains phénomènes.

Le choix du questionnaire permet de collecter des informations pour une évaluation qualitative de la perception, la satisfaction, les préférences et le comportement de deux usagers de l'école primaire : élèves et enseignants, tout en prenant en compte le niveau cognitif de chacun d'eux. Pour ce faire, la langue arabe est choisie pour le questionnaire distribué, et cela, pour une meilleure compréhension des questions de la part des usagers.

3.1. Choix des types de questions

Afin d'atteindre notre objectif et de réussir notre enquête, nous avons opté pour différents types de questions notamment, des questions fermées soit dichotomique ou à réponses multiples, afin de pouvoir gérer les réponses, en orientant les interrogée vers les objectifs que vise cette recherche. À ce niveau, quelques questions fermées à choix multiples, avec des réponses ouvertes et courtes, sont permises.

Nous avons aussi opté pour des questions fermées à échelle, avec l'objectif d'évaluer la performance de l'école ou le niveau de satisfaction d'une personne par rapport à certains critères en suggérant une échelle allant du mauvais, bon et très bon.

3.2. Le choix d'échantillon

Sachant que l'échantillon choisi est divisé en deux types ; probabiliste et non probabiliste. Dans le cadre de cette enquête, nous avons opté pour un échantillonnage non-probabiliste, dans l'ordre typique, qui est un échantillonnage par sélection d'éléments exemplaires, et non par tirage au sort ; basé sur une sélection réfléchie d'individus selon des règles précises (les meilleurs éléments pouvant réellement contribuer à la réussite de l'étude).

De ce fait, pour notre cas, le choix s'est fait sur un échantillon de 79 personnes répartir entre élèves et enseignants, la totalité des élèves choisis est (71 élèves) inscrit en 5^{ème} année et qui occupent les deux salles de classe concernées par l'étude.

Pour Borg & al (1989), l'échantillon dans les études descriptives d'une communauté d'une centaine d'individus devrait être de 20%. Sur cette base, l'échantillon a été sélectionné comme suite : 20% d'individus ont été sélectionnés sur le total de (394), dans notre cas, l'échantillon est réparti comme suit :

- 71 élèves
- 08 enseignants.

Le tableau 03 montre la répartition de l'échantillon de base selon les variables de genre.

Tableau. 01 : la répartition de l'échantillon de base par variable de genre

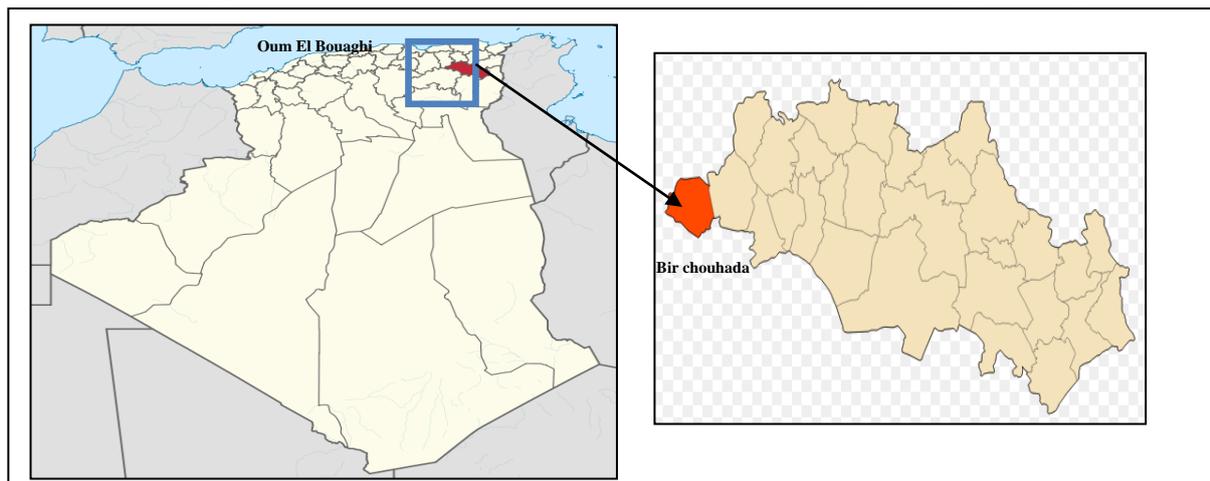
Genre	Répétition	Pourcentage
Femme	47	59.49%
Homme	32	40.51%
Totale	79	100%

Source : Autrice, 2020.

4. Présentation du cas d'étude

L'échantillon d'école choisi pour l'investigation est situé dans la commune de Bir Chouhada à Oum El Bouaghi, située au sud-ouest de la wilaya d'Oum El Bouaghi, dont les coordonnées géographiques sont : 35° 53' 39" Nord, 6° 17' 24" Est voir fig.1.

Fig. 1 : Situation de la commune de bir chouhada par rapport Algérie.



Source : (<http://www.algerie-monde.com/wilayas/oum-el-bouaghi>, 2012).

4.1. Étude climatique de la zone d'étude

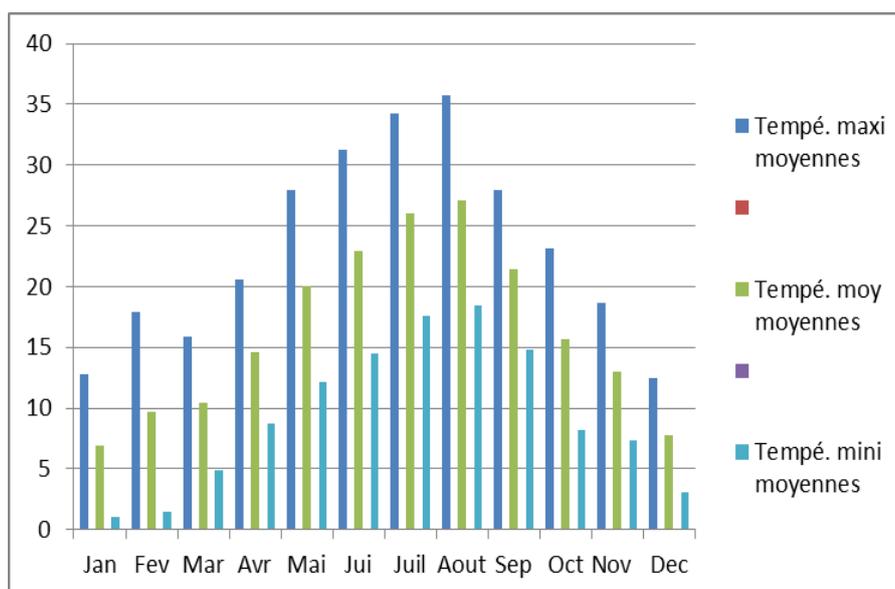
3.1.1. La variation de la température

L'école choisie pour cette analyse se situe dans la commune de Bir Chouhada, ce contexte se caractérise par un climat méditerranéen ; avec un été chaud, ce que montre les données climatiques de la ville d'Oum El Bouaghi 2020, traitées par Excel on obtient le diagramme (voir Fig. 2).

L'interprétation de ces données climatiques montre une température moyenne annuelle de 16.30°C, une température moyenne minimale de 9.04 °C en janvier, tandis que la moyenne maximale est de 23.20°C, atteinte au mois d'Août, le mois le plus chaud. La courbe des températures est en augmentation régulière jusqu'au mois d'Août, elle atteint la température maximale. D'après l'étude climatique de la ville pendant 10 ans (2010-2020) d'après la station météorologique d'Oum el Bouaghi; on peut déduire que la ville connaît 02 périodes :

- Une période chaude et sèche, qui s'étale du mois de Mai au mois de septembre ;
- Une période, plus longue, qui s'étale du mois d'octobre au mois de mars, les deux mois avril et mai sont considérés maniables.

Fig. 2 : Diagramme de variation des températures de la ville d'Oum El Bouaghi.

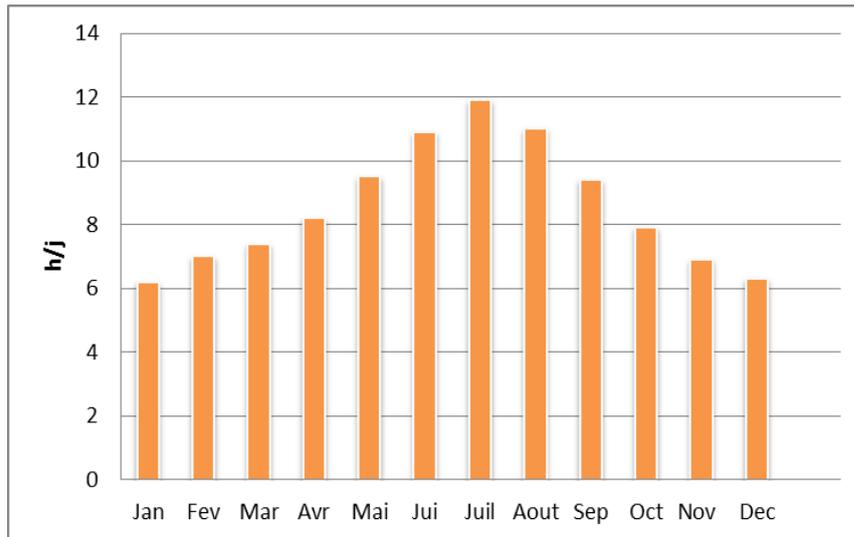


Source : (la station météorologique avec Autrice,2021)

4.1.2. Taux d'ensoleillement et éclairage

Le taux d'éclairage est caractérisé par un niveau élevé en été, donc une forte luminosité, vu que le ciel est dégagé durant cette période chaude, et les rayons solaires sont directs, alors qu'il diminue beaucoup en hiver, vu que l'éclairage vient du voute céleste en raison de l'atmosphère nuageuse pendant cette période. Tout au long de l'année, le plus grand pourcentage d'ensoleillement est en août et en juillet, d'une moyenne de 12 heures par jour, tandis que les jours nuageux et partiellement nuageux, l'ensoleillement est importants au cours des mois de janvier, février, mars, novembre et décembre, avec une moyenne de 6 heures par jour (voir fig. 3), ce qui représente la majeure partie du temps de pratique de l'activité scolaire.

Fig .3 : Ensoleillement quotidien moyen Oum el Bouaghi



Source : (la station météorologique avec Autrice,2021)

4.1.3 L'école primaire de «Boutahra Mazouz»

L'école primaire de « Boutahra Mazouz » de Bir Chouhada, est implantée dans un environnement construit, dont l'habitat individuel constitue un grand pourcentage (voir fig. 04). Elle, est construite en 1984, d'une capacité de 386 places pédagogiques, composée de: 11 salles de classe ; Bureau de directeur ; Une cantine ; Des salles d'eaux ; Une cour.

Fig. 04 : L'école primaire Boutahra Mazouz dans son environnement.



Source : (Google Earth,2020) .

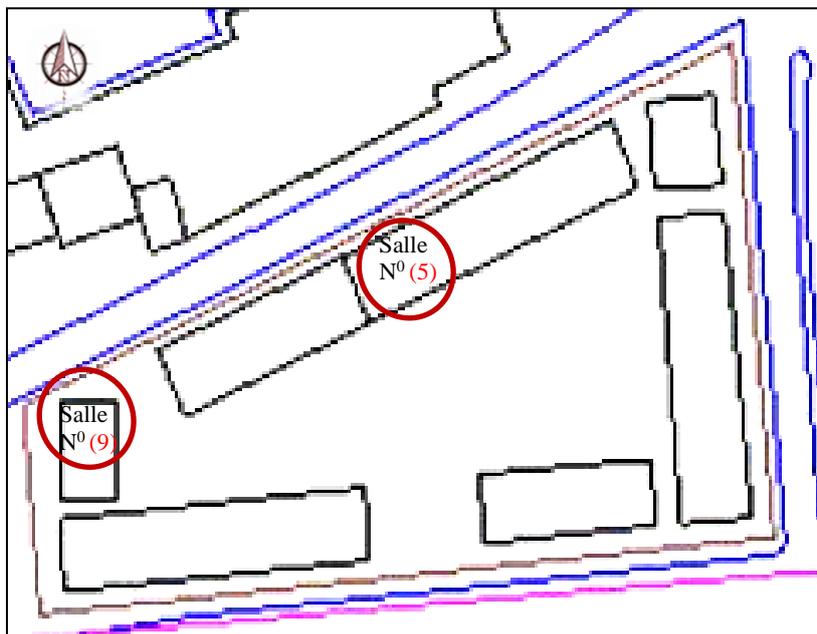
99% des espaces intérieurs (salles de classe) de l'école Boutahra Mazouz sont éclairés par un système d'éclairage bilatéral, l'une des façades donne sur l'espace de récréation (la cour) qui est un espace ouvert (Voir fig. 4). À ce niveau, nous avons choisi Deux salles de classe représentatives et typique, qui sont les salles n°05 et n°09, car elles sont caractérisées par une conception architecturale similaire orientée sur deux directions différentes.

Fig. 05: Type d'éclairage naturel utilisé au niveau de l'université d'Oum el Bouaghi.



Source : (Autrice,2020).

Fig. 06 : schéma d'emplacement des salles de classe choisies



Source : (Autrice,2020)

Les critères choisis pour cette étude, concernant les salles choisies comme échantillon type pour cette étude, ont une influence directe sur la qualité de l'éclairage et sur le confort visuel sont énoncées ci-dessous:

✓ L'orientation des salles de classe : généralement les salles de classe sont orientées vers deux directions, dans notre cas :

1. La salle 05 est orientée vers le NORD-NORD-OUEST et SUD-SUD-EST ;
2. La Salle 09 est orientée vers l'EST et l'OUEST

✓ Les dimensions des ouvertures dans les murs orientés.

4.2. Description de l'échantillon type :

Les deux salles sont d'une forme rectangulaire typique, dont les caractéristiques sont motionnées dans le tableau .1 & 2.

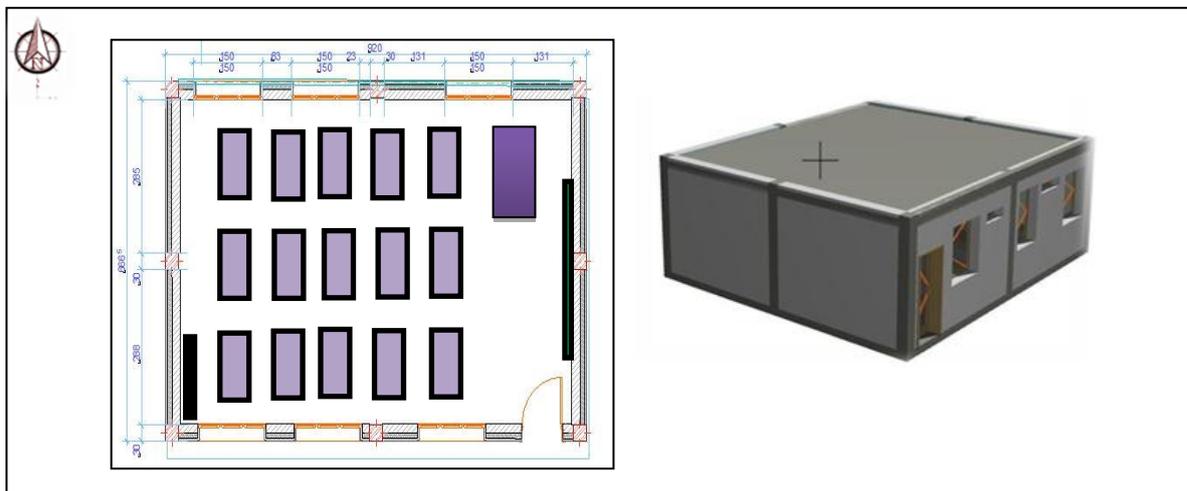
1^{er} échantillon

Tableau .2 : les caractéristiques de la salle 05

	Orientation	Superficie	Nb, des Ouvertures	Dim. Des Ouvertures	Type de Vitrage	Ratio vitrage/Mur
Salle 05	NORD	77.76 m ²	03 fenêtres (sud) 03 fenêtres (nord)	1.40*2.20 m	Simple de 3 mm	25%
	NORD-OUEST et SUD					
	SUD-EST					

Source : (Autrice,2020).

Fig.07 : vue en plan et en perspective de la salle N 05 orientée NORD-NORD-OUEST Et SUD-SUD-EST



Source : (Autrice,2020).



Fig. 07 : les Réflexions des rayons solaires sur le tableau et sur le plan de travail dans la matinée.

Source : Autrice.

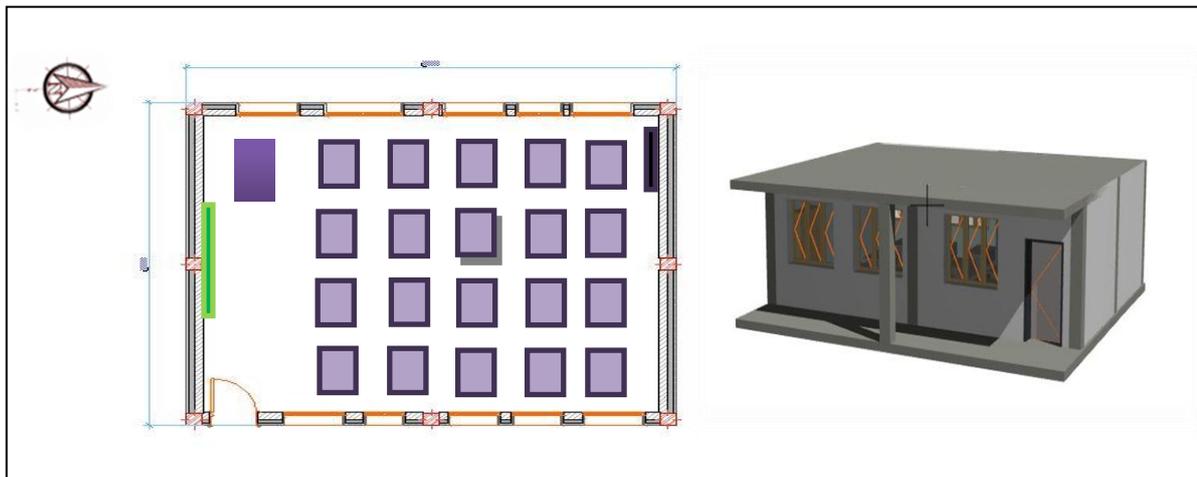
2eme échantillon

Tableau .3 : les caractéristiques de la salle 09

	Orientation	Superficie	Nb, des Ouvertures	Dim. Des Ouvertures	Type de Vitrage	Ratio vitrage/ Mur
Salle 09	EST et OUEST	54m ²	10	6:1.40*1.20 4:0.50*0.25	Simple de 3 mm	28%

Source : (Autrice,2020).

Fig. 08 : vue en plan et en perspective de la salle 09 orientée vers l'EST et l'OUEST.



Source : (Autrice,2020).



Fig. 08 : le niveau d'éclairage en hiver dans la classe orientée vers l'EST et l'OUEST.

Source : Autrice

4.3 Description photométrique d'échantillons d'études

Les échantillons de classe choisis ont des murs peints en

- Beige foncé (facteur de réflexion approximatif=0,25)
- Vert (facteur de réflexion approximatif=0,6)
- Le plafond est peint en blanc (facteur de réflexion approximatif=0,8).

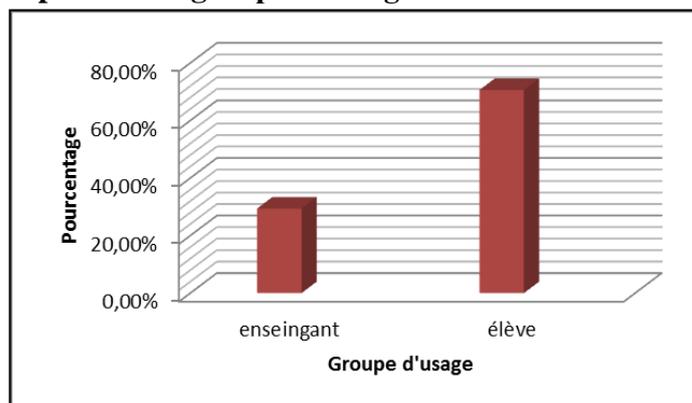
- Le revêtement du sol est exécuté en carrelage de couleur blanc cassé (facteur de réflexion approximatif=0,7).
- Quant au mobilier, il est en bois de couleur marron clair (facteur de réflexion approximatif=0,55).

A) Informations sur l'échantillon

C'est un ensemble de questions générales sur le sexe et le nombre d'utilisateurs, ainsi que la période d'utilisation de ces salles

Le graphe 1 montre un nombre largement supérieur des élèves interviewés, avec 70.6 %, à celui des enseignants avec 29.4 %, vu que les élèves représentent l'utilisateur principal des salles de classe.

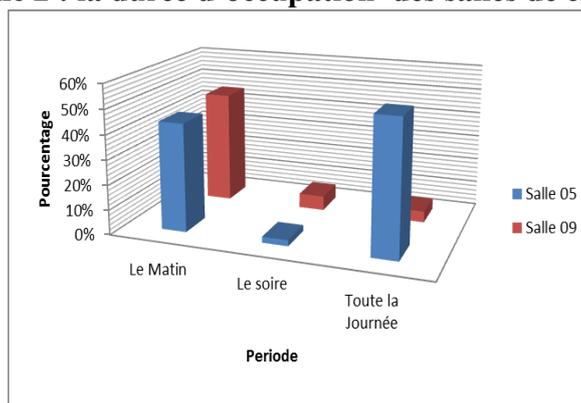
Graphe .1 : les groupes d'utilisateurs des salles de classes.



Source : Autrice.

Le graphe 2 montre que la plupart de temps, les salles 05 et 09 sont occupées toute la journée et présentent respectivement les valeurs suivantes : 53.80 % et 48.50 %. Ces mêmes salles, sont occupées seulement une fois par semaine (chaque mardi matin) avec un pourcentage de 43.8 % pour la salle 05 et un pourcentage de 45.60 % pour la salle 09, et rarement sont occupées le soir (raisons de rattrapage), avec un taux de 2.40 % pour la salle 05 et 5.90 % pour la salle 09.

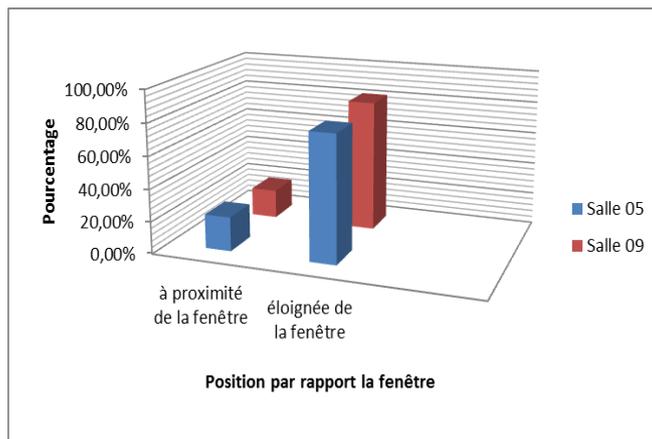
Graphe 2 : la durée d'occupation des salles de classes



Source : Autrice, 2020.

Quant aux préférences des élèves pour le choix des positions dans la salle de classe, m le graphe montre que 3, 82 % des occupants de la classe 09, d'une orientation Est-ouest, préfèrent des places éloignées de la fenêtre, de Même 78.73 % des occupants de la salles 05 orientée Nord-Nord-ouest et Sud-Sud-est, préfèrent des places éloignées pour éviter les rayons solaires directs provenant de la fenêtre qui gêne la vision vers le tableau.

Graphe .3 : le choix des positions par rapport aux fenêtres



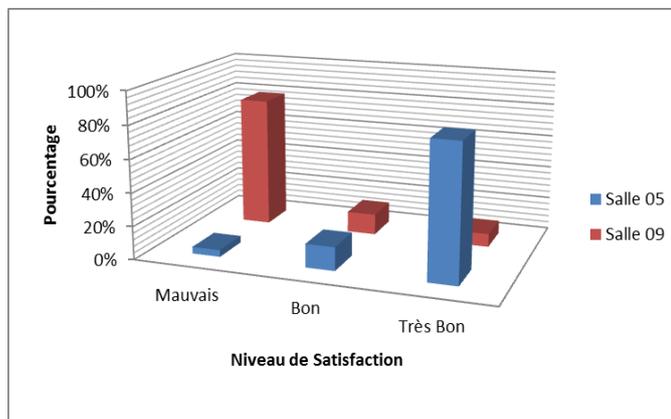
Source : Autrice.

B) Évaluation des conditions d'éclairage naturelle au sein des salles

Ce sont des questions générales et subjectives, visant à déterminer la qualité lumineuse dans les salles de classe, ainsi que le niveau de satisfaction des usagers, car ce dernier est un critère important qui reflète le niveau de bien-être des usagers.

Le graphe 4 montre que la plupart des occupants de la salle 05, orientée Nord-Ouest, Sud –Est, voient que le taux de luminosité en hiver est suffisant avec un pourcentage de 81.68 %, ce qui revient à la grandeur des dimensions des fenêtres, pendant que les usagers de la salle 09, orientée Est-Ouest, voient le contraire, 79.33 % des interviewés confirment que cette salle est relativement sombre en hiver, cela est dû à la dimension réduite des fenêtres donnant sur cette orientation.

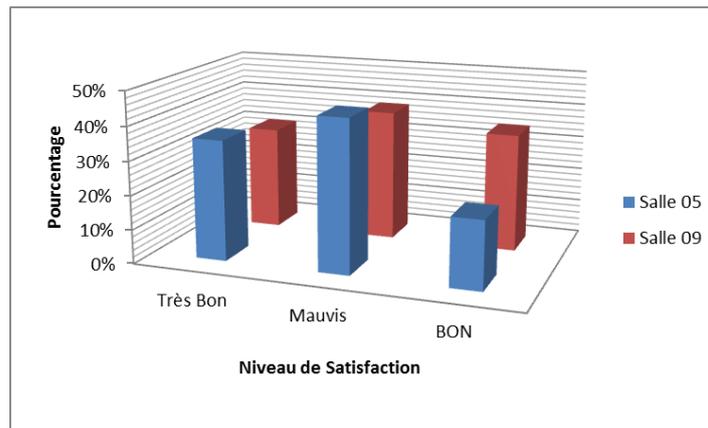
Graphe 4 : le taux de luminosité en hiver.



Source : Autrice

Parlant luminosité, le graphe 5 montre que 44.61 % des usagers de la salle 05 et 38.60 % des usagers de la salle 09 apprécient la présence de l'enseillement direct dans leurs champs de vision, ou les occupants indiquent que l'orientation Ouest et Sud-Ouest sont les deux cotés qui reçoivent plus de soleil.

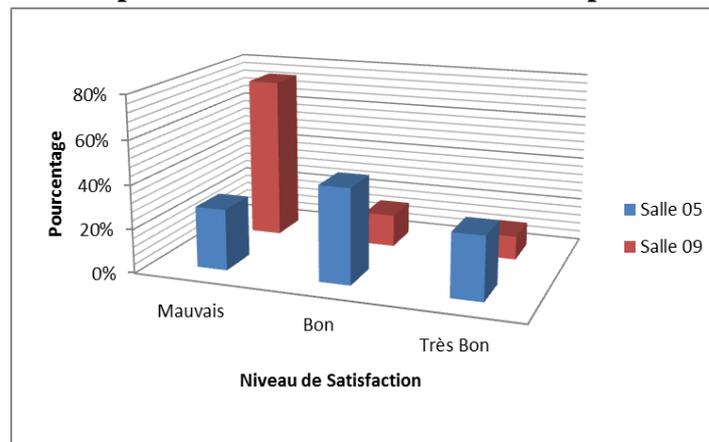
Graphe .5 : le taux de luminosité en hiver.



Source : Autrice

Dans le graphe 6, est indiquée la Présence de la tache solaire sur le plan de travail, à ce niveau de lecture, les occupants de la salle 09 sont les plus gênés par cette présence avec un pourcentage de 74.33 %. Tandis que 43.25 % des occupants de la salle de classe 05 indiquent qu'ils sont parfois gênés par les réflexions.

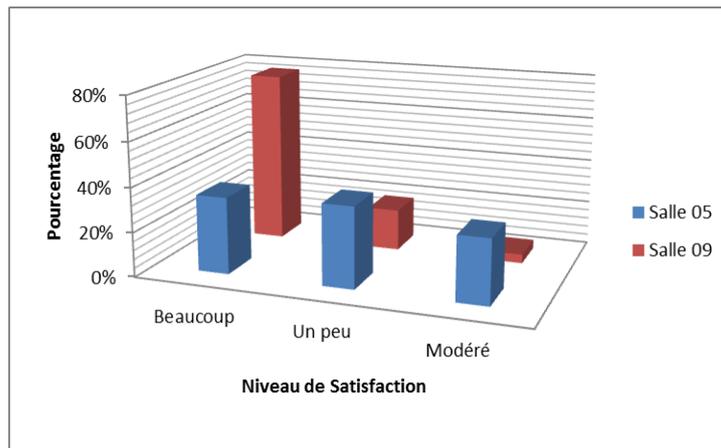
Graphe .6 : la présence des taches solaires sur le plan de travail.



Source : Autrice.

Alors que la Présence des taches solaires sur le tableau dans la salle 09 gêne 77.36 % des occupants Notamment ceux qui situent près des fenêtres orientées à Ouest après-midi et à l'est au matin (De compte à l'absence des protections solaire (rideau, toit avancé...). Tandis que 33 % les occupants des classe 05, déclarent qu'ils sont parfois touchés par les taches solaires, (à cause de leur orientation et à la présence des protections solaires sur le côté sud-sud-ouest, les arbres à côté du Nord, Nord-ouest), voir graphe 7.

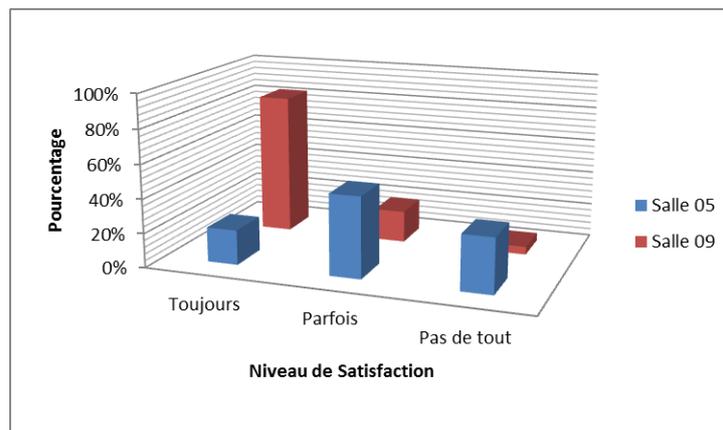
Graphe .7 : la Présence rapportée des taches solaires sur le tableau



Source : Autrice

Voir le Graphe 8 qui montre que 83 % des occupants de la salle 09 déclarent être gênés par l'éblouissement, Alors que 18.60 % voient que la gêne est occasionnelle. Tandis que seulement 4.60 % des usagers de cette salle voient que la gêne causée par l'éblouissement ne les dérange pas. Pour la salle 05, les occupants sont toujours gênés par l'éblouissement avec un pourcentage de 20 %. Alors qu'un pourcentage de 47.40 % des usagers est un peu gêné, par contre un taux de 32 %, déclare qu'ils sont toujours gênés par l'éblouissement.

Graphe.8 : la présence de Gène causé par l'éblouissement

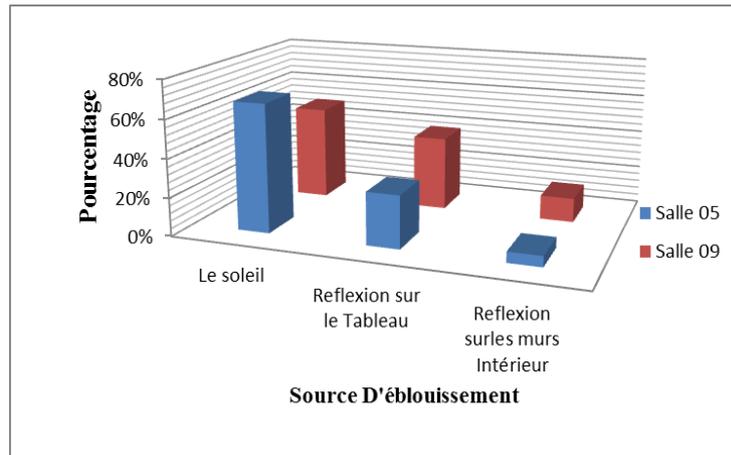


Source : Autrice

Question 9 : les sources d'éblouissement dans la salle de classe

D'après la Graphe 9, un pourcentage de 67 % des occupants des salles type ont déclaré que la première source d'éblouissement dans leurs salles est les rayons solaires directs qui pénètrent à travers les fenêtres. Tandis que 27.40 % sont touchés par les réflexions et l'éblouissement, issues du tableau. Alors que Seulement 6 % des occupants ont déclaré que les murs intérieurs sont la source d'éblouissement dans la salle.

Graphe .9 : les sources d'éblouissement dans la salle de classe



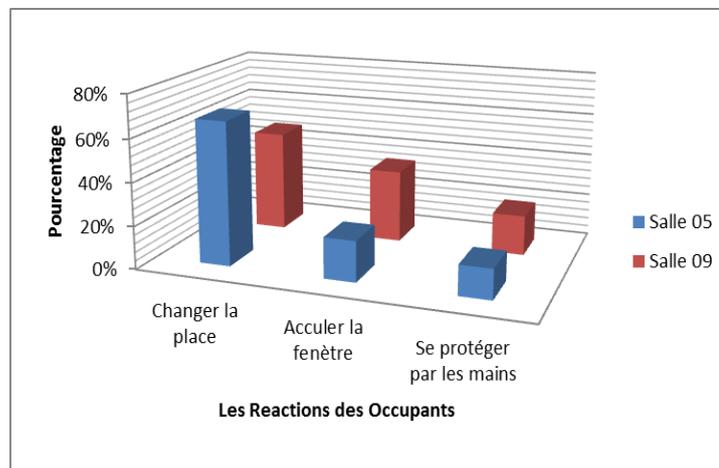
Source : Autrice

A) Réactions et proposition des usagers

Il s'agit d'un ensemble de questions visant à déterminer la réaction des usagers de la salle face aux sources d'inconfort visuels dans leurs salles et à évaluer leurs avis et suggestions à cet égard.

Concernant les Réactions et le comportement des usagers lorsqu'ils sont affectés par les rayons solaires, sont illustrées dans le Graphe 10. Ce dernier montre que 67% des occupants de la salle 05 changent leurs places à cause des manques d'une protection (les rideaux) quand les rayons solaires sont intenses. La même chose pour la salle 09, 47.7% changent leurs places. Tandis que 19% des usagers pour la salle 05 et 34 % de la salle 09 y recours à occultés les fenêtres par l'utilisation des images et feuilles comme solution contre l'intensité des rayons solaires. Alors que 14% des usagers de la salle 05 et 18.60% de la salle 09 se protéger avec les mains.

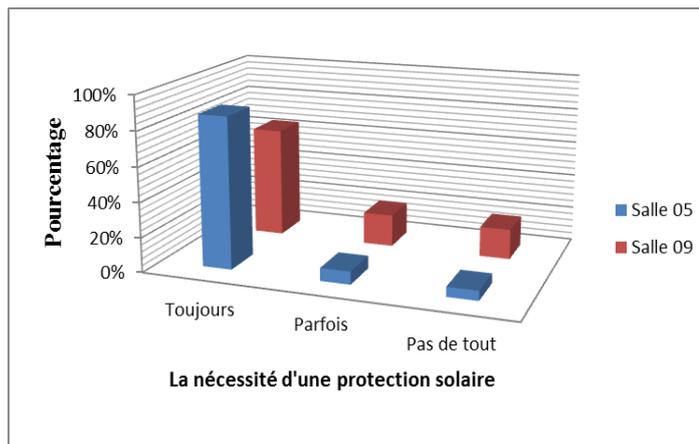
Graphe .10 les Réactions des occupants contre la pénétration des rayons solaires



Source : Autrice

Le graphe 11 résume l'avis des usagers sur l'existence des moyens de contrôle de la pénétration des rayons solaires à l'intérieur des salles. Il indique 87% des occupants de la salle 09 ont besoins d'une protection solaire, Vu que les deux salles ne contiennent pas des stores ou un système de protections solaires. Tandis que 64% des usagers de la salle 05 jugent qu'ils n'ont pas besoins des protections solaires de tous. Car Ils voient qu'étudier sous un éclairage artificiel ne suffit pas pour voir facilement et confortablement

Graphe.11 : Contrôler de la pénétration des rayons solaires à l'aide d'une protection solaire

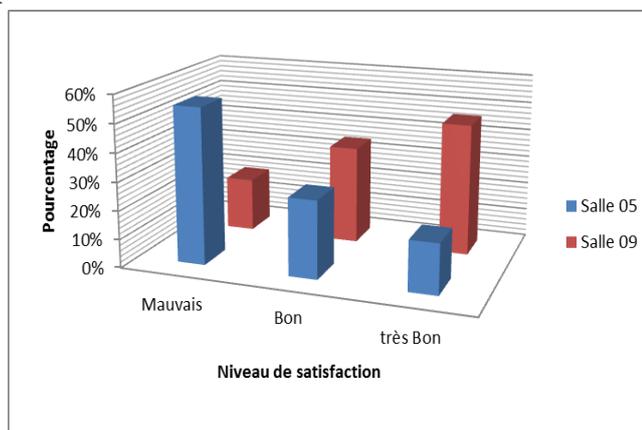


Source : Autrice

Les résultats de Graphe 12, montrent que 55% des occupants de la salle 05 sont satisfaits de la vue vers l'extérieur depuis leurs classe, Cela est dû aux grandes dimensions des fenêtres donnant sur la cour, pour eux la salle bénéficie d'une vue très ouverte et belle vers l'extérieur. Tandis que 18% des usagers sont non satisfait de la vue vers l'extérieur ; Cela est dû au fait que les fenêtres à leurs côté donnent sur le mur extérieur entouré d'arbres, Alors que 27.30% des usagers indiquent la vue est peu satisfaisante C'est parce qu'ils sont assis au milieu du couloir et ne se soucient pas beaucoup de la lumière à l'extérieur selon leurs réponses.

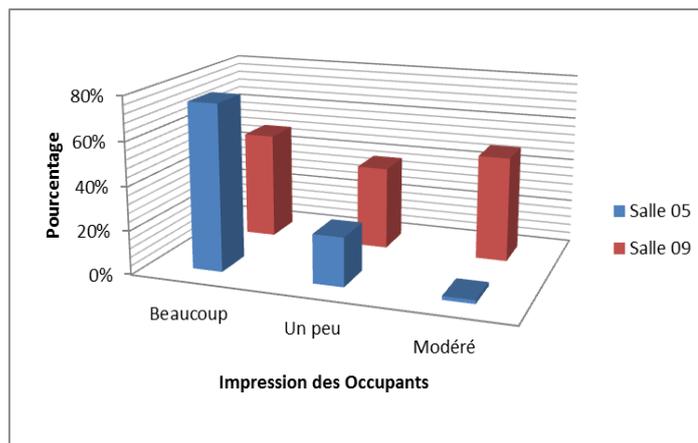
Les réponses des occupants de la salle 09 indiquent que seulement 19 % des usagers sont satisfait de la vue vers l'extérieur, Alors que 46.40 % des usagers ont indiqué non satisfaits à cause des dimensions réduites des ouvertures. Selon eux la vue vers l'extérieur est limitée.

Graphe .12 : Évaluation de la vue vers l'extérieur



Source : Autrice

D'après la Graphe 13, un taux de 75.90% des usagers de la salle 05 pensent que leur salle est confortable et spacieuse, tandis que 49% des usagers de salle 09 indiquent que leur salle est sombre et Ennuyeuse. Pour eux la salle est Chaude à cause de surchauffe en été et l'absence des protections solaires, Et une vue vers l'extérieur limitée.

Graphe .13 : L'impression des occupants vis à vis de leurs classes

Source : Autrice

5. La discussion des résultats

L'étude des facteurs affectant l'éclairage dans les salles de classe est considérée comme étape nécessaire pour créer un environnement éducatif approprié et visuellement confortable. Comme ce travail de recherche visait à évaluer la qualité des ambiances lumineuse de provenance naturelle et selon les avis des usagers (enseignants et élèves), en utilisant l'approche post-occupationnel en fonction de l'orientation des salles de classe.

Les résultats de cette évaluation ont montré que les conditions d'éclairage naturel diffèrent d'une classe à une autre, en fonction de plusieurs critères, notamment l'orientation et la configuration des ouvertures. Aussi, les résultats ont montré que certaines orientations dans ce contexte ont de meilleures performances que d'autres, et il est également possible d'améliorer les niveaux d'éclairage grâce à certaines interventions et traitements architecturaux pour éviter l'entrée directe du soleil. Où les réponses des usagers ont été qualifiées comme suite :

- **La salle 05 orientée Nord-Nord-Ouest et Sud-Sud-Est :**

Un niveau d'éclairage en générale suffisant avec une répartition peu uniforme, les élèves sont peu gênés parfois par la présence des taches solaires sur leurs plans de travail et le tableau, (le soir vers 15 h). Le niveau d'éclairage dans cette salle est constant aux premières heures de la journée. En raison des toits avancés, qui permettent de contrôler l'ensoleillement excessif ce qui assure certain confort visuel aux élèves. Jusqu'à midi, puis il diminue progressivement en raison du changement de position du soleil. Tandis qu'en hiver le soleil entre profondément dans la salle de classe due à la hauteur basse du soleil.

- **La salle 09 orientée Est-Ouest :**

Un environnement lumineux dans la salle 09 est peu insuffisante et non-uniforme, les élèves sont gênés par le manque d'éclairage, ils l'évaluent comme salle sombre quand le ciel est couvert, où le niveau d'éclairage est faible le matin, en raison des dimensions réduites des fenêtres qui ne permettent pas la pénétration des rayons solaires directs. Par conséquent, l'éclairage naturel de cette salle de classe dépend de la lumière réfléchi par les surfaces intérieures.

Tandis que les jours ensoleillés, la salle bénéficie d'un niveau d'éclairage élevé le matin, dès le début des cours à 08.00 h, en raison de pénétration des rayons solaires directs, puis il diminue progressivement en raison du mouvement du soleil. Pour corriger cette situation, l'éclairage artificiel est utilisé. Cependant, la conception actuelle des fenêtres et l'absence totale de protection solaire ne permettent pas une répartition satisfaisante de l'éclairage.

Ces résultats sont affirmés et qu'en général, l'orientation **Nord-Nord-ouest** et **Sud-Sud-est** donne des bons résultats et l'orientation **Est-ouest** est privilégiée avec la nécessité de la Prise en

compte des exigences nécessaires de protection et de contrôle d'entrée de lumière, sinon ça va engendrer à long terme un ensemble des problèmes engendrent des fatigues visuelles en raison du manque de visibilité, des maux de tête, des vertiges, et une déconcentration, qui par la suite influent sur le rendement et la concentration des usagers.

L'usage de cette approche et la discussions des résultats obtenus nous a permis d'établir une liste des recommandations afin de corriger la situation existante pour une meilleure prise en charge de cet espace en faveur de son usager, Alors Pour résoudre les problèmes d'éclairage naturel dans les salles de classe, il faut penser d'abord de contrôler les rayons solaires directs pénétrés, et non pas d'éliminer la pénétration de la lumière en profondeur dans la pièce. Dans ce sens, les solutions proposées sont les mêmes avec les salles qui possèdent la même orientation et pour les salles opposées seront d'être le contraire :

➤ **La salle orientée au Nord-Nord-Ouest et Sud-Sud-Est :**

- Pour la façade qui donne à l'extérieur, il est recommandé d'implanter des arbres à feuilles caduques, cela permettra de laisser entrer le soleil en hiver et servira de protection en été.
- Installer des brises soleil à usage facile pour les enfants depuis l'intérieur tout en considérant la position du soleil en hiver pour cette orientation.

➤ **La salle orientée à l'Est-Ouest :**

Il faut prendre l'uniformité de l'éclairage dans les salles de classe et la protection contre l'éblouissement en considération. Les solutions proposées seront généralisées pour les salles qui possèdent les mêmes orientations :

- Prévoir des protections solaires mobiles verticales « light shelves » de couleur claire pour modérer l'éclairement dans les zones proches des fenêtres et réduire l'éblouissement hiver/été qui doit être modifiés au bon moment car elles présentent une protection efficace même pour le soleil plus bas
- Revoir les dimensions des ouvertures placées sur les deux façades Est et Ouest pour permettre l'introduction d'une quantité suffisante de lumière.
- Peindre les surfaces internes avec des couleurs claires pour bénéficier d'une bonne réflectivité à l'intérieur des salles de classe,
- L'éclairage des tableaux en général nécessite l'intégration de l'éclairage artificiel pour maintenir le niveau requis. (En cas de ciel couvert).

Conclusion

En conclusion, le recours à l'usage de l'approche post-occupationnelle et la technique de questionnaire pour savoir les avis des usagers (élèves et enseignants), qui sont considérés comme des réponses subjectives, cela nous a permis d'évaluer qualitativement l'environnement lumineux des salles choisies selon leurs orientations, et le nombre et les dimensions des ouvertures.

Au terme de ce travail, les résultats ont affirmé que l'orientation et la taille des ouvertures ont un impact direct sur l'efficacité de l'éclairage naturelle et le confort visuel des usagers et que chaque orientation permet une ambiance lumineuse particulière, de quantité et de qualité d'éclairage particulières qui changent selon l'heure et la saison.

Les résultats ont également montré le niveau d'éclairage à l'intérieur des salles de classe sélectionnées ne répondant pas aux normes, où l'éblouissement, les réflexions solaires et la distribution hétérogène de la lumière, apparaissent en tête comme des facteurs affectant le confort visuel.

Bibliographie:

1. Al-Al-Sallal, I. (2018). Daylighting Performance in UAE Traditional Buildings Used as Museums. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 13(2), 116-211. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cty003>
2. Alcosta, I. (2015). Analysis of daylight factors and energy saving allowed by windows under overcast sky conditions. *Renewable Energy*, 77, 194-207.
3. Baker, N., Steemers, K., & Steemers, K. (2014). *Daylight design of buildings*. Routledge.: a handbook for architects and engineers,.
4. Bakmohammadi, P., & Noorzai, E. (2020). Optimization of the Design of the Primary School Classrooms in Terms of Energy and Daylight Performance Considering Occupants Thermal and Visual Comfort. *Energy Reports*, 2(6), 1590-1607.
5. Balocco, C., & Calzolari, R. (2008). Natural light design for an ancient building: A case study. *Journal of Cultural Heritage*, 2(9), 172-178.
6. Bellia, L. (2011). Lighting in indoor environments: visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distribution. *Building and Environment*, 46(10), 1984-1992.
7. Benbouaziz, A., & ., all. (2014). *L'évaluation post-occupationnelle d'une structure d'accueil de la petite enfance : cas des jardins d'enfants a Batna. في قُدم في Ville et Enfant At : Laboratoire LVE Université Haj Lakhdar Batna, Université Hadj Lakhdar Batna.*
8. Bennett, S. (2009). Libraries and learning: A history of paradigm change. *Portal, Libraries and the Academy*, 2(9), 181-197.
9. Bouvier, F. (1981). *Eclairage naturel*. (ط 6). paris.: • Technique de l'ingénieur.
10. Cammarano, S. (2015). Assessment of daylight in rooms with different architectural features. *Building Research & Information*, 2(43), 222-237.
11. Castilla, N. (2018). Emotional evaluation of lighting in university classrooms: A preliminary study. *Front. Archit. Res*, 7, 600-609.
12. Chiou, Y. (2020). Visual Comfort in Modern University Classrooms. *Sustainability*, 12(9).
13. Daich, S. (2012). *Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra*. (Thèse de Magister). Université Mohamed Khider, – Biskra.
14. Davoodi, A. (2020). The use of lighting simulation in the evidence-based design process: A case study approach using visual comfort analysis in offices. *Build. Simul*, 13, 141-153.
15. Demir, A., & Konan, A. (2013). *Impact of daylighting on student and teacher performance*. Journal of Educational and Instructional Studies in the World.
16. Déoux, S. (2010). *Bâtir pour la santé des enfants : maternités, crèches, écoles, cantines, gymnases, piscines, patinoires, hôpitaux*. Medieco Editions.

17. Francesco, N. (2018). Daylight Performance of Classrooms in a Mediterranean School. *Heritage Building*.
18. Freewan, A., Ahmed, Y., & Freed Jackline, A. (2020). Assessment of Daylight Performance of Advanced Daylighting Strategies in Large University Classrooms; Case Study Classrooms at JUST. *Alexandria Engineering Journal* , 59(2), 791-802.
19. Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments . *Build. Environ.*
20. GIVONI, B. (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris: Edition des Moniteurs.
21. Hee, W. (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings, . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 323-343.
22. Heracleous, C., & Michael, A. (2017). Assesment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe The case of education schools premises in Cyprus,. *Energy Build*.
23. Ibañez, C. A., Zafraa, J. C. G., & Sachta, H. M. (2020). Natural and Artificial Lighting Analysis in a Classroom of TechnicalDrawing: Measurements and HDR Images Use. *Procedia Eng*.
24. Irnawaty, I., Ramli, R., & Hamzah, B. (2020). An Alternative Approach in Assessing Visual Comfort Based on Students' Perceptions in Daylit Classrooms in the Tropics. *Civil Engineering and Architecture*, 8(5), 801-813. <https://doi.org/10.13189/cea.2020.080507>
25. Ivana, T., Danka, L., & Gabriel, B. (2018). Quality Assessment of the University Classroom Lighting - A Case Study. *TEM Journal*, 7(4).
26. Jaewook, L., Mohamed, B., & Feng, L. (2020). impact of Building Design Parameters on DaylightingMetrics Using an Analysis, Prediction, andOptimization Approach Based on Statistical Learning Technique. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11051474>
27. Kuller, R., & Lindsten, C. (1992). *Health and behaviour of children in classroom with and without windows*. J. Environ. Psychol.
28. Ludlow, A. M. (1976). *The functions of windows in buildings*. Lighting Research & Technology.
29. M. B. S. , A., M. P. J, A., & Van Hoof, J. (2015). *Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment*. Lighting Research and Technology.
30. Mahdavinejad, M., Mator, S., Fayaz, R., & Bemanian, M. (2012). Estimation of daylight availability and illuminance on vertical south facing surfaces in Tehran in Advanced Materials Research. *Trans Tech Publ*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.1525>
31. Nasrollahi, N., & Shokry, E. (2020). *Parametric analysis of architectural elements on daylight, visual comfort, and electrical energy performance in the study spaces*. *فُؤم في Journal of daylighting*.

32. Nazanin , E., Karen , A., & Frank , D. T. (2021). Integrated energy, daylighting and visual comfort analysis of window systems in patient rooms. *Science and Technology for the Built Environment*, 27(8), 1040-1055. <https://doi.org/10.1080/23744731.2021.1912512>
33. Niniek, P., & Abdi Gunawan, D. (2021). Analysis of Lighting Performance in the Hall of the Faculty of Engineering, State University of Gorontalo by using the DIALux Evo 9.0 Simulation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ Sci.* 738 012032.
34. Nocera, F., Lo Faro, A., Costanzo, V., & Raciti, C. (2018). Daylight Performance of Classrooms in a Mediterranean School Heritage Building. *Sustainability*, 10(3705).
35. Olgyay , A., & Olgyay , V. (1973). Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism some chapters based on cooperative research with aladar olgyay. *Princeton, N.J: Princeton University Press*.
36. Phillips , D., & Abdi Gunawan, D. (2004). *Daylighting: natural light in architecture*. قُدَّم في Routledge.
37. Reinhart , C., & Mardaljevic, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 1(3), 7-31.
38. Setiati, T., & Budiarto, A. (2021). Optimization of lighting design in classroom for visual comfort (Case Study). *Universitas Tridinanti Palembang Tower IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 738 012035.
39. Veitch, J. A., & Newshan, G. R. (1998). *lighting quality and energy –efficiency effects on task performance, mood, health , satisfaction, an.* journal of the illuminating engineering society ,27(1),107-129 .
40. Wohlfarth, H. (1956). Color and Light Effects on Students' Achievement, Behavior and Physiology] Edmonton, Alberta: Planning Services Branch. *Alberta Education*.
41. Zomorodian, Z. S., Korsavi, S., & Tahsildoost, M. (2016). The effect of window configuration on daylight performance in classrooms: A field and simulation study. *Int. J. Architect. Eng. Urban Plan*, 26(1), 15-24.