

ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPORTEMENT THERMIQUE DES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES DANS LES REGIONS CHAUDES ET ARIDES

EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMAL BEHAVIOR OF SCHOOL BUILDINGS. IN HOT AND ARID REGIONS

ROUMAÏSSA AFREN ⁽¹⁾, NOUREDDINE ZEMMOURI ⁽¹⁾, DJAMILA DJAGHROURI ⁽²⁾, MOUSSADEK BENABBAS ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Département d'architecture, Université de Biskra, B.P. 145 R.P. 07000, Biskra, Algérie

⁽²⁾ Département d'architecture, Université de Batna 01 Hadj Lakhder, Batna 05000, Algérie

RESUME

Le confort thermique dans les bâtiments scolaires est l'un des principaux facteurs les plus déterminants de la performance des systèmes éducatifs. À ce propos, la nécessité de garantir un environnement propice à l'apprentissage, sain, confortable et durable, fait, que ces bâtiments doivent être conçus en fonction des exigences du confort, vis-à-vis des situations environnementales et climatiques, tout en s'inscrivant dans l'approche du développement durable. Cet article met en exergue la corrélation entre les typologies, les plus récurrentes, des bâtiments scolaires d'enseignement moyen et le confort thermique des usagers, dans le contexte climatique et environnemental d'une ville Algérienne à climat chaud et aride. Par ailleurs, L'enquête par questionnaire et les campagnes de mesures in situ sont les moyens utilisés dans cette présente investigation afin d'évaluer quantitativement et qualitativement les principaux paramètres physiques du confort thermique intérieur dans des groupements scolaires à configuration représentative et spécifique à la ville de Biskra. Les principaux résultats obtenus révèlent une insatisfaction totale à l'égard de l'ambiance thermique chez les occupants, résultat d'une conception architecturale aveugle et incompatible avec l'environnement climatique et physique.

MOTS CLES : Bâtiments scolaires ; Salles de classe ; Confort thermique ; Développement durable ; Typologie ; Climat chaud et aride.

ABSTRACT

Thermal comfort in school buildings is one of the most important determinants of the performance of education and strategies. In this regard, the need to ensure a healthy, comfortable and sustainable learning environment requires better sustainable design approach, which have to integrate the specificities of the climate and environmental conditions. This paper highlights the correlation between users thermal comfort in the most recurring typologies of college buildings, in a typical Algerian town under specific climate conditions of hot and arid regions. Survey and the in situ measurement campaigns are the main evaluation tools used to estimate the interior thermal environment quality and levels. The results of the investigation show a complete thermal comfort dissatisfaction of the pupils in classrooms resulting from poor design quality of the investigated buildings.

KEYWORDS: School buildings; Classroom; Thermal comfort; Sustainable development; Typology; hot and dry climate.

1 INTRODUCTION

La question du confort thermique estival pose le problème du contrôle de l'ensoleillement dans les bâtiments. Si la pénétration du soleil dans le bâtiment permet de limiter la consommation relative au chauffage, elle risque en été de provoquer une surchauffe et un inconfort thermique important, surtout sous des conditions climatiques spécifiques aux régions arides et chaudes.

Par ailleurs, au niveau physique de l'enveloppe, la façade doit contrôler et/ou admettre les différents éléments de l'environnement (chaleur, lumière, air... etc.) (Belakehal et Tabet-Aoul 1996) [1]. La façade est aussi un élément sur lequel le concepteur doit intervenir, pour créer un environnement intérieur confortable. D'autre part, la qualité environnementale interne du bâtiment a une forte relation avec les conditions thermiques de l'espace (Volkov et al. 2014 ; Tebbouche, 2017) [2, 3]. Le confort thermique interne est ainsi la grande priorité dans la conception des bâtiments scolaires, il représente un sujet de préoccupation majeure. L'enveloppe procure un apport solaire important pour le bâtiment, par réchauffement des parois, et l'éclairage naturel direct et indirect. L'architecture du bâtiment scolaire en Algérie en général, a réduit cet espace à une simple couverture qui rend l'ambiance intérieure de bâtiment très sensible aux variations climatiques extérieures, résultats d'une pauvre isolation thermique.

La construction des bâtiments scolaires en Algérie, n'est malheureusement, soumise à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique et énergétique, elle se fait souvent par le biais d'un plan type, proposé par le ministère de l'éducation nationale. La généralisation du plan type sur l'ensemble du territoire national, nous laisse perplexe quant aux ambiances thermiques, qu'offre ce plan type dans les différentes zones climatiques durant l'année.

Dans les bâtiments scolaires, le confort a un impact sur les performances intellectuelles et le comportement des élèves Moujalled et al (2006) [4]. Le confort thermique dans les salles de classe où la densité d'occupation est très élevée et le degré d'activité est faible influence sévèrement le bien-être des occupants. La nécessité de garantir des conditions favorables à l'apprentissage devient aussi la priorité des concepteurs.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

De nombreuses études ont montré l'influence des différents paramètres de conception et de typologies architecturales sur le confort thermique des élèves. A titre d'exemple, l'étude de Zomorodian et al [5] qui ont évalué l'effet de différents paramètres de conception architecturale tels que l'orientation, le pourcentage surfacique des fenêtres, la forme et la configuration spatiale sur la performance thermique des bâtiments scolaires. Dans ce travail, deux typologies de base sont comparées pour définir les configurations les plus performantes : le plan à couloir central et le plan à coursive avec différentes possibilités d'orientations. Les résultats des simulations thermiques obtenus, attestent, que la typologie la plus intéressante dans

le contexte climatique chaud et sec de l'Iran, est le plan à coursive orienté Nord, suivi par le même plan orienté Sud. Da Garça et al [6] ont réalisé une recherche sur l'évaluation du confort thermique dans 39 bâtiments classés en sept typologies selon la configuration spatiale, les pourcentages d'ouvertures et possibilités d'orientations à São Paulo au Brésil. Les résultats obtenus montrent que le modèle du plan à coursive à double orientations Nord/Sud et Nord-Est/Sud-Ouest est le plus confortable dans le contexte climatique chaud de São Paolo.

Dans le même contexte, Montenegro [7] a étudié l'effet des variations typologiques des bâtiments scolaires sur leurs performances thermiques, dans deux contextes climatiques : froid et tempéré où fut explorée l'interaction « thermique - lumière naturelle - énergétique ». Cette étude a porté sur trois modèles de configurations spatiales des bâtiments scolaires, qui sont ; le modèle du plan à coursive, le modèle à corridor central et le modèle concentré. Trois différentes formes, proportions et dimensions de salles de classe type d'une surface de 54 m² ont été analysé, en utilisant deux indicateurs ; le pourcentage d'heures dans la zone de confort et le pourcentage de personnes insatisfaites (PPD) tel qu'il a été établi dans les standards ASHRAE 552004 [8].

Les résultats obtenus ont confirmé l'impact direct de la forme du bâtiment, la composition de son enveloppe et le mode de contrôle de l'environnement sur la performance énergétique et environnementale. En outre, l'étude a également montré que les typologies les plus performantes, sont la typologie de plan à coursive dans le climat froid et la typologie à corridor central dans le climat tempéré. Par ailleurs, Appah-Dankyi et Koranteng (2012) [9], ont concentré sur l'évaluation du confort thermique de la typologie la plus répandue des bâtiments éducatifs, dans le climat chaud et humide d'Accra, Ghana. Il a été recommandé, pour les futurs bâtiments scolaires, de faire appel à des principes de conception durables (forme, orientation, ombrage, surfaces de fenêtres, hauteurs des salles, etc.). En particulier, l'aération à l'aide de ventilateurs à faible consommation énergétique dans les salles de classe, s'avère avantageuse, afin de promouvoir la santé et faciliter l'apprentissage.

En Algérie, le confort thermique dans le milieu scolaire reste un sujet peu traité. Trois travaux de recherche seulement ont été effectués récemment. L'étude de Mezaoukh (2012) [10] qui a examiné l'impact de la conception des fenêtres sur le confort thermique d'un plan type des bâtiments scolaires d'enseignement primaire, dans le contexte climatique chaud de Laghouat. De même que l'étude de Arhab, Djebri, et Saidi (2015) [11] qui a porté sur l'évaluation du confort thermique d'un autre plan type des bâtiments scolaires d'enseignement primaire dans deux contextes climatiques ; méditerranéen tempéré et aride.

De leur côté, Saddok, et Djebri (2016) [12] ont évalué le confort thermique dans les typologies les plus récurrentes des bâtiments scolaires d'enseignements moyen et secondaire dans le contexte climatique de la ville de Tizi-Ouzou.

Les résultats de toutes ces recherches, sus citées, révèlent

une insatisfaction à l'égard de l'ambiance thermique chez les occupants et que la qualité environnementale n'a pas été prise en considération dans la conception de ces bâtiments. De ce fait, une grande partie de notre recherche doctorale se consacre à une étude expérimentale de l'effet des paramètres climatiques sur l'environnement thermique des typologies les plus récurrentes dans la région de Biskra. Des campagnes de mesures ainsi que des enquêtes ont été menées pour établir un constat qualitatif de l'environnement thermique de nos cas d'étude.

3 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

L'objectif principal de cet article est d'analyser le confort thermique ainsi que de faire un bilan qualitatif des salles de classe des groupements scolaires à configuration représentative et spécifique, situés dans une région à climat chaud et aride, en l'occurrence, la ville de Biskra. Cette analyse a été entreprise durant la période la plus chaude de l'année scolaire 2016 (mois de septembre).

4 PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

La ville de Biskra est située au Sud-est de l'Algérie à une latitude de 34°51'01" Nord et une longitude de 5°43'40" Est. Biskra appartient à une région aride où prédomine un climat chaud et sec avec des hivers froids et des étés chauds.

4.1 Les caractéristiques climatiques de la ville de Biskra

Cette ville bénéficie d'environ 3300 heures de soleil par an. La température maximale atteint 43°C durant le mois de Juillet et la température minimale 7°C en hiver, durant le mois de janvier.

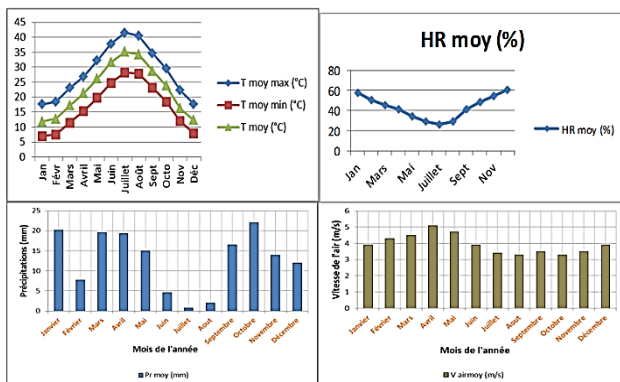


Figure 01 : les données climatiques de la ville de Biskra (2003-2013) (Source : Auteur 2015, établi sur la base des données obtenues de station météorologique de Biskra)

La température moyenne annuelle est de 21.7°C alors que l'humidité moyenne annuelle est de 46 %. Des

précipitations très faibles sont enregistrées avec un maximum de 20mm/an, et une moyenne annuelle d'environ de 8.8mm /an. Les directions des vents dominants sont Nord-ouest en hiver, avec une vitesse 3,9 m/s et Sud-est en été avec une vitesse 3,3 m/s. toutes ces informations climatiques sont résumées dans la figure 1.

4.2 Description du modèle d'étude

L'étude des typologies des bâtiments scolaires d'enseignements moyens à Biskra a fait ressortir, principalement, deux types de plan. Il s'agit des typologies proposées par le ministère de l'Éducation nationale (1982) [13].

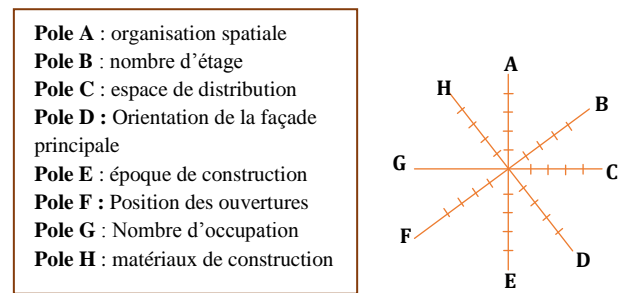


Figure 02 : Diagramme polaire. Source : auteur, 2015

Tableau 01 : Application du diagramme polaire aux deux typologies. Source : auteur, 2015

	Schéma d'organisation des CEM	Diagramme polaire
01		
02		

À savoir la typologie du plan à coursive qui est caractérisée par la juxtaposition linéaire des salles de cours desservies latéralement par une coursive, et la typologie du plan à corridor central qui est caractérisée par un couloir central linéaire distribuant de chaque part et d'autre des salles de

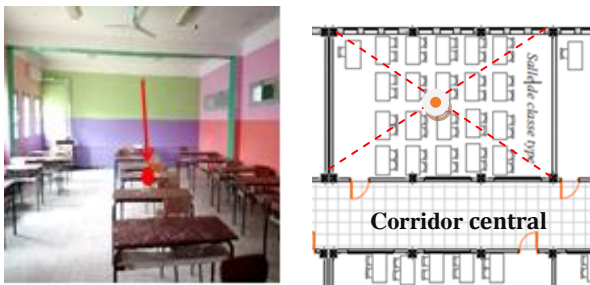
cours. Cette analyse est basée sur le diagramme polaire [14], où chaque pôle représente un critère qui à son tour est subdivisé en plusieurs sous-critères, (Voir Fig. 2 et tableau 1).

Les deux typologies partagent des caractéristiques communes, tandis qu'elles se différencient dans la configuration spatiale des salles de cours et leur orientation (voir tableau 2). L'investigation est menée sur deux cas d'étude.

La première typologie est celle du plan à corridor central, où les salles de classe sont orientées Nord et Sud, de part et d'autre d'un corridor central (cf. figure 3). Elles sont éclairées latéralement d'un côté par rapport à l'extérieur (figure 4). Son plan de masse est composé d'un seul bloc de forme parallélépipédique.



Figure 03 : Typologie du plan à corridor central



 Point de prise de mesure

Figure 04 : Emplacement des points de prises de mesures de la typologie : plan à corridor central

La deuxième typologie est le plan à corridor cursive, (voir figure 5), avec des caractéristiques typologiques et morphologiques identiques à la typologie précédente. L'exception étant l'orientation des ouvertures qui se situent dans ce cas sur les orientations Nord, Sud et Ouest (Voir figure 6). Son plan de masse est composé principalement de trois blocs avec un grand patio central de forme rectangulaire.

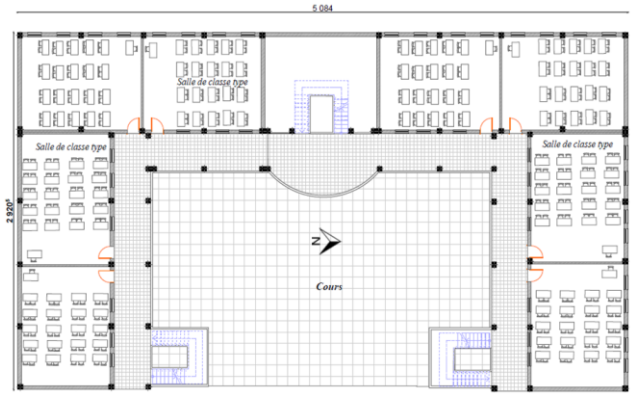


Figure 05 : Typologie du plan à coursive

Pour les deux cas, les matériaux de construction sont ceux conventionnellement utilisés dans les bâtiments scolaires en Algérie, et qui sont principalement la brique rouge creuse pour les parois intérieures et extérieures, le béton armé pour la structure, les dalles à corps creux pour les planchers et le simple vitrage avec une épaisseur de 3 mm pour les fenêtres.

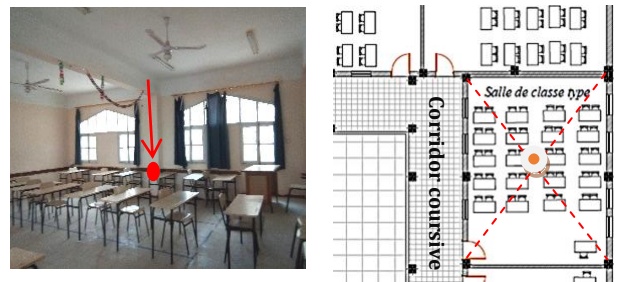


Figure 06 : Emplacement des points de prises de mesures de la typologie : plan à corridor cursive

Tableau 02 : Typologie des cas d'étude (Source : auteur, 2016)

Critères	plan à coursive	plan à corridor central
Le bâtiment scolaire		
Forme	trois blocs avec un grand patio central de forme rectangulaire	un seul bloc de forme parallélépipédique
Gabarit	R+2	R+1
Les salles de classe		
Forme	Rectangulaire	Rectangulaire
Orientations	Nord, Sud, Ouest	Nord, Sud
Surface	71,25 m ²	61,44m ²

Dimensions (L x B x H)	9,50x7, 50 x 3,50m ³	9,60 x6, 40x 3,30m ³
Surface des ouvertures	11,51 m ²	7,19 m ²
Couleurs	Marron clair	Couleurs chaudes
Nombre d'occupants	Entre 38 et 40	Entre 38 et 40

5 METHODOLOGIE ET OUTILS DE TRAVAIL

L'investigation s'est basée sur deux méthodes : l'une objective et l'autre subjective. La première se traduit par une campagne de mesures in situ des paramètres physiques dans les typologies les plus répandues des bâtiments scolaires à Biskra. D'autre part, nous avons complété l'approche quantitative par une approche qualitative en utilisant un questionnaire afin d'évaluer l'ambiance thermique ressentie par les occupants.

5.1 Etude quantitative

La campagne de mesures s'est effectuée au mois de septembre 2016, qui correspond au mois le plus chaud de l'année scolaire à Biskra. En effet, les élèves prennent généralement leurs vacances la fin du mois Mai et reprennent les cours du mois de Septembre de chaque année. Cette campagne s'est effectuée en présence des élèves, dans leurs conditions de travail habituelles.

5.1.1 Protocole de mesure

Tout le travail de mesure a été exécuté à l'aide du **Testo 480** (cf. figure 8), appareil qui permet de faire des mesures précises en changeant de sondes. On a utilisé dans ce cas précis deux sondes : la première pour les mesures des températures ambiantes de l'air, humidité relative et la seconde pour la vitesse de l'air (cf. figure 8). L'ensemble du protocole de mesure est décrit dans le tableau 3, ci-dessous.

Pour l'extérieur, les sondes sont placées sous l'ombre au milieu de la cour à une hauteur de 1.20 m, en évitant tout obstacle (Voir figure 7), comme le recommande la norme EN 7726 [15]. En fait, Pour que les conditions des prises de mesures soit similaire pour les deux cas d'étude, les salles de classe choisies pour la campagne de mesure sont situées au 1er étage au milieu du plan pour éviter l'effet d'ombre procurée par le voisinage.

Tableau 03 : description du protocole de mesure

Dates et durées des campagnes de mesures	15 septembre 2016 de 6h00 à 20h00 par pas de 2h
Emplacements de points de mesures /plan salle	au centre géométrique des salles de classe
Hauteur d'emplacement de l'appareil de mesures/ plancher	La sonde d'humidité relative et de température à 1.20 m La sonde de vitesse de l'air à 1.70m

Les paramètres mesurés sont les suivants : 1. Températures ambiantes à l'intérieur des salles de cours ; 2. Températures extérieures ; 3. Humidités relatives à l'intérieur des salles de cours ; 4. Humidités relatives extérieures. Le troisième paramètre qui est la vitesse de l'air n'est pas prise en considération dans ce contexte vu ses valeurs négligeables et par conséquent son très faible impact sur les phénomènes étudiés.

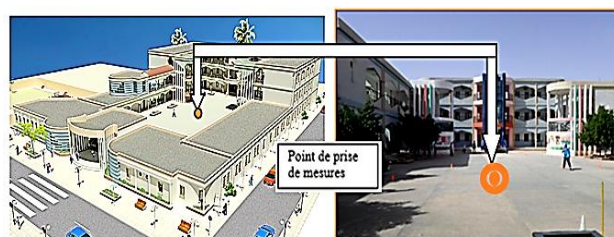


Figure 07 : L'emplacement des stations de mesures extérieures- Biskra



Figure 08 : Matériel utilisé dans les campagnes de mesures Testo 480 (Source : auteur, 2016)

5.2 Etude qualitative

Les questionnaires destinés aux élèves de 13 à 16, sont en nombre de 120, devisés équitablement sur les deux cas d'étude. C'est durant la campagne de mesure que l'enquête s'est déroulée, elle portait sur le niveau de sensation et la

perception de l'ambiance thermique et à signaler les principaux facteurs d'inconfort pour chaque élève, en deux périodes ; la matinée, vers 11h30 et l'après-midi juste avant la sortie du collège, vers 15h30. Les questionnaires ont été clarifiés et expliqués aux élèves pour une bonne assimilation afin que les réponses soit objective, en matière

Tableau 04 : Questionnaire distribué aux élèves

Variables	Questionnaires						
Sensation thermique	(A) Comment sentez-vous par rapport à la température de cette salle en ce moment ?						
	Très chaud	Chaud	Légèrement chaud	Adéquat	Légèrement froid	Froid	Très froid
perception de l'humidité	(B) Décrivez votre sensation de l'humidité de l'air en ce moment ?						
	Très sec	Sec	Légèrement sec	Adéquat	Légèrement humide	humide	Très humide
Evaluation du confort thermique	(C ₁) Tenant compte de tous ces paramètres (température, humidité de l'air), vous jugez l'environnement thermique ?						
	Confortable		Légèrement inconfortable		inconfortable		Très inconfortable
	(C ₂) Quel est le facteur le plus défavorable pour votre confort ? (Facteurs d'inconfort)						
	Température ambiante		Humidité de l'air		Autres....		

6 RESULTATS ET DISCUSSIONS

6.1 L'évaluation objective

Dans les conditions du déroulement de la campagne de mesures, il n'y a pas de moyens de refroidissement réduisant les conditions thermiques des bâtiments.

D'après les figures 9 et 11, la température intérieure des salles est supérieure à la température extérieure avant l'occupation de la salle car la porte était fermée durant toute la nuit ce qui provoque le cumul de chaleur à l'intérieur de la salle.

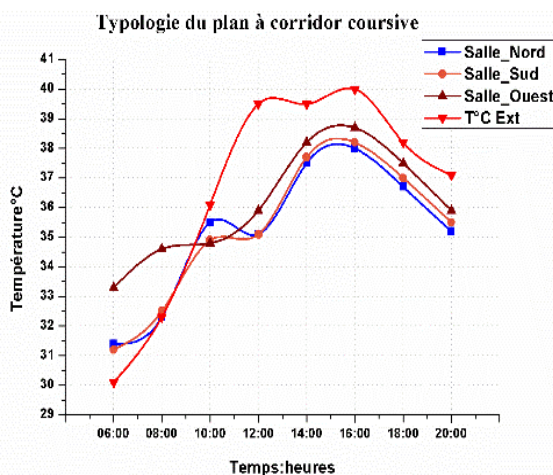


Figure 09 : Variation des températures intérieures et extérieures dans la typologie du plan à corridor coursive

Après l'entrée des élèves à 8h00, et avoir laissé la porte et quelques fenêtres ouvertes, la température intérieure reste toujours inférieure aux températures extérieures.

de sensations. Pour s'y faire, on s'est basé sur quatre questionnements, tels que présentés dans le tableau 4 ci-dessous :

Dans la typologie du plan à coursive, les températures intérieures varient entre 33.3°C et 38.7°C, l'écart maximal entre les températures intérieures et extérieures est de 5.4 °C. La figure 10, montre que les valeurs d'humidité extérieure sont réduites par rapport les valeurs d'humidité intérieurs, en général, celles des salles de cours sont supérieures à celles de l'extérieur à partir de 8h30, ceci ne peut que s'expliquer que par les apports des élèves. L'écart maximal des taux intérieurs et extérieur est de 6, 50%.

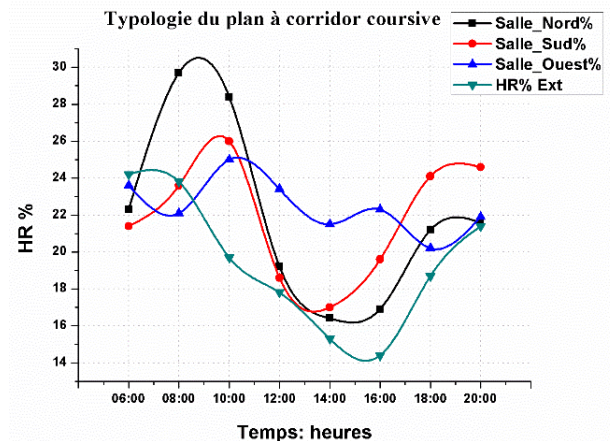


Figure 10 : Variation des humidités relatives intérieures et extérieures dans la typologie du plan à corridor coursive

De même, dans la typologie du plan à corridor central, les températures intérieures dans les deux salles varient entre 32.5 °C et 37.7 °C ; moins de surfaces exposées à l'ensoleillement ; mais dépassant, à longueur de journée, la limite du confort thermique.

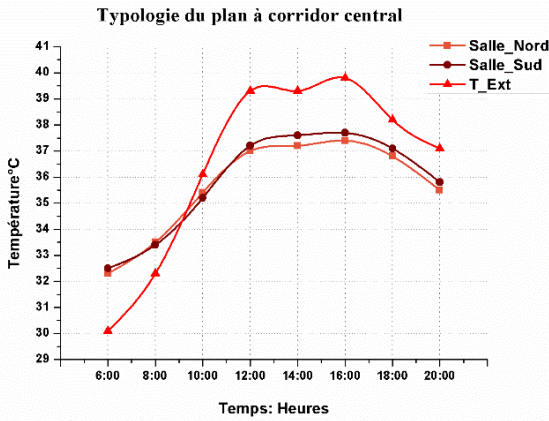


Figure 11 : Variation des températures intérieures et extérieures dans la Typologie du plan à corridor central

La figure 12, montre que le taux d'humidité relative des deux salles est presque identique, sauf dans le cas de la salle orientée Nord qui est plus élevé vers 8 heures du matin et qu'un écart conséquent est visible vers 16 heures entre l'humidité relative extérieure et celle des deux salles sur ce point précis la différence des valeurs d'humidité relative entre les deux salles est de 1% au profit de la salle orientée Sud.

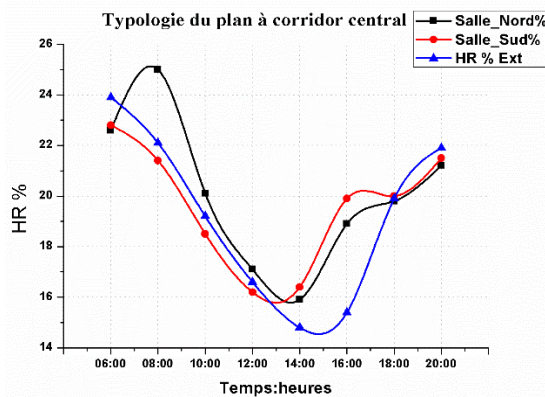


Figure 12 : Variation des humidités relatives intérieures et extérieures dans la typologie du plan à corridor central

Le troisième paramètre qui est la vitesse du vent n'est pas prise en considération dans ce contexte vu ses valeurs négligeables et par conséquent son très faible impact sur les phénomènes étudiés. Il est donc clair que l'ensemble des salles de classe souffrent d'un inconfort thermique pendant la période chaude. L'écart entre les températures intérieures et extérieures étant insignifiant.

6.2 L'évaluation subjective

6.2.1 Appréciation de la chaleur

Dans la typologie du plan à coursive, la sensation d'inconfort thermique pendant la matinée est 30% pour la salle orientée Nord/Sud. Chaud, voire très chaud dans les salles orientées Sud et Ouest.

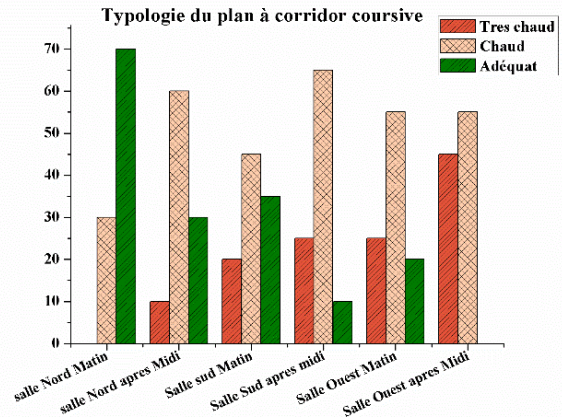


Figure 13 : Variation de la sensation par rapport à la température dans la typologie du plan à corridor coursive

Pendant l'après-midi, la sensation des élèves tend vers une ambiance très chaude pour les deux orientations Sud et Ouest.

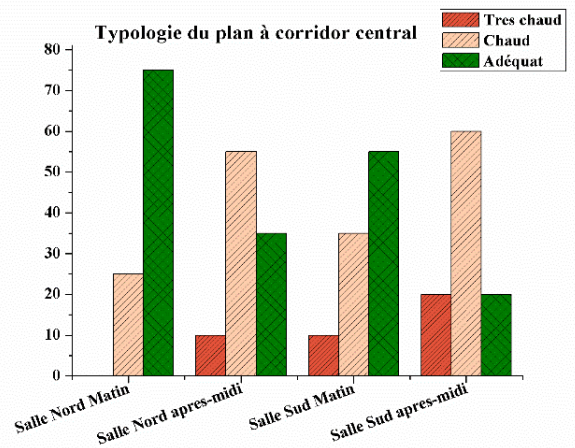


Figure 14 : Variation de la sensation par rapport à la température dans la typologie du plan à corridor central

Dans la typologie du plan à corridor central, l'ambiance thermique pendant la matinée est ressentie pratiquement comme adéquate 60%, vers chaud 40% pour la salle orientée Nord, et chaud 50%, voire très chaud 15% dans la salle orientée Sud.

Pendant l'après-midi, la sensation des élèves tend vers une ambiance très chaude 60% pour la salle orientée au Sud et chaude pour la salle orientée au Nord 60%.

Nous pouvons conclure que l'ambiance thermique est négativement perçue pour la plupart du temps et pour les quatre orientations. L'insatisfaction est plus accentuée dans les salles orientées à l'Ouest et au Sud surtout pendant l'après-midi.

6.2.2 Effet de la variation de l'humidité relative

Les figures 15 et 16, présentent les pourcentages du vote actuel des occupants par rapport à l'humidité de l'air dans les deux typologies et pour les quatre orientations.

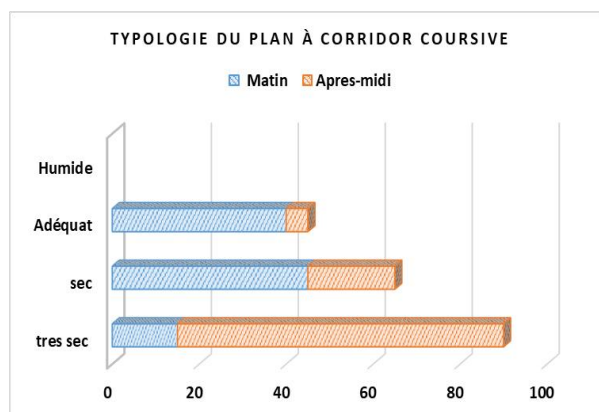


Figure 15 : Variation de la sensation par rapport à l'humidité relative dans la typologie du plan à corridor coursive

Sur la base des pourcentages de vote indiqués dans ces figures, nous constatons que l'humidité de l'air est appréciée comme adéquate 75% pendant la matinée. Quant à l'après-midi, les élèves ressentent que l'air est très sec, cette ambiance donc est considérée comme sèche.

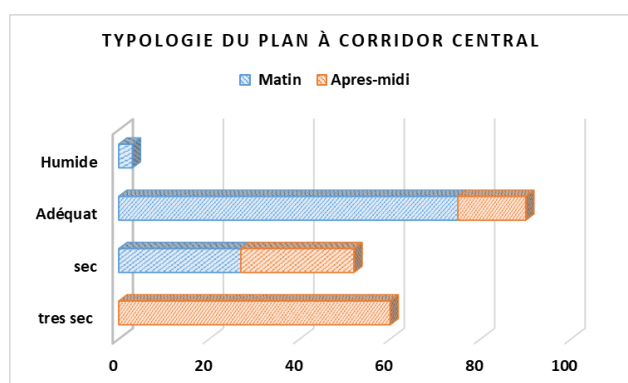


Figure 16 : Variation de la sensation par rapport à l'humidité relative dans la typologie du plan à corridor central

Les sensations négatives sont plus importantes dans les salles orientées à l'Ouest.

D'après les résultats, la sensation négative de la température semble influencer la sensation de l'humidité par les occupants. Par ailleurs, les températures

susmentionnées pourraient être confortables si le taux d'humidité relative était un plus élevé.

6.2.3 Evaluation du confort thermique

Le confort thermique est un aspect essentiel qui indique la satisfaction des occupants envers leur environnement [16].

Les figures 17 et 18 montrent le pourcentage des personnes inconfortables dans leurs salles de classe dans les deux typologies et pour les quatre orientations.

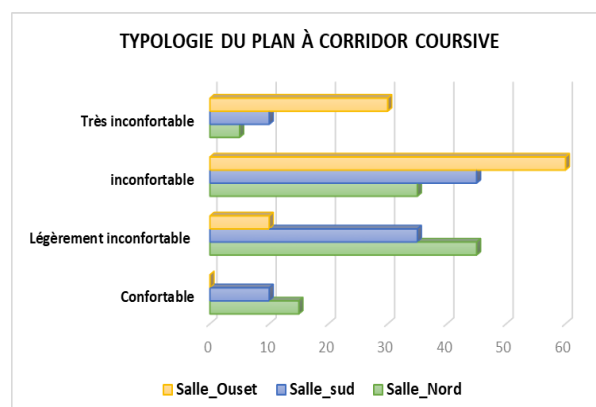


Figure 17 : Evaluation du confort thermique dans la typologie du plan à corridor Coursive

Dans la typologie du plan à coursive, les élèves situent l'ambiance thermique entre légèrement confortable et inconfortable dans les salles orientées Nord et Sud. L'état d'inconfort est accentué, notamment dans la salle orientée Ouest avec 60 % pour une ambiance inconfortable et 30 % pour très inconfortable.

De même, dans la typologie du plan à corridor central, les élèves situent l'ambiance thermique entre confortable et légèrement confortable, notamment dans la salle orientée Nord. Par ailleurs, la salle orientée à l'Ouest est très inconfortable lorsque la température de l'air atteint les 38°C.

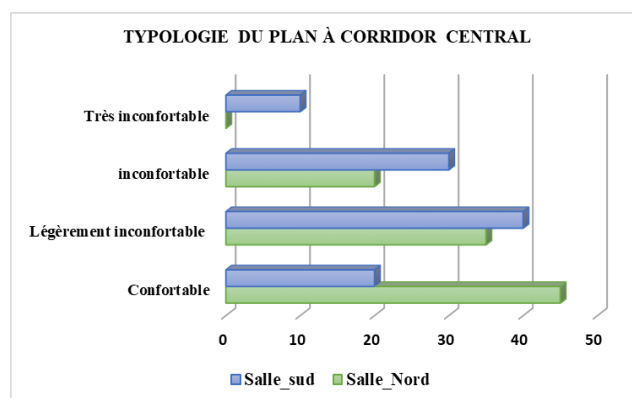


Figure 18 : Evaluation du confort thermique dans la typologie du plan à corridor central

6.2.4 Facteurs influençant d'inconfort thermique

Il est clair de la figure 19, que les facteurs d'inconfort thermique dans la typologie du plan à corridor central sont presque similaires à ceux de la typologie du plan à coursive.

Ces facteurs influencent le confort thermique par différents degrés. La température ambiante à 60%, suivie par l'humidité à 5% et enfin d'autres facteurs climatiques, comme l'ensoleillement à 30%. Ces résultats confirment que la température représente une variable très importante pour assurer le confort des élèves.

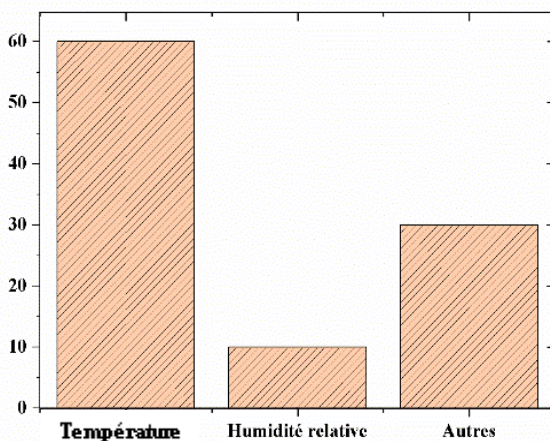


Figure 19 : Facteurs influençant d'inconfort thermique dans les deux typologies

7 CONCLUSION

En conclusion, la quantification des paramètres physiques présentés dans cet article montre la défaillance environnementale thermique pendant la période extrême de l'année scolaire des deux typologies. En effet, La quantification des paramètres physiques, températures et humidité relative montre qu'en période chaude la température des salles reste assez élevés et ce pour les quatre orientations cardinales.

Il est clair aussi qu'il existe de fortes corrélations entre la température ambiante et la sensation thermique des élèves. Il est aussi important de rajouter que la typologie du plan à corridor central offre des conditions plus favorable à un confort thermique du fait qu'elle se caractérise par une conception plus compacte et moins ouverte que la typologies du plan à coursive. Ceci confirme les résultats des recherches précédentes, citées dans la revue de littérature.

Le présent travail ouvre aussi des perspectives futures de recherche notamment sur l'effet des protections solaires sur l'environnement thermique intérieur des salles de classe sous des conditions climatiques spécifiques aux zones arides et chaudes.

REFERENCES

- [1] Belakehal, A., K. Tabet-Aoul (1996). Shading and shadowing: Concepts for an interactive strategy between solar control and aesthetics in the design of the facade. Reference to arid zones. Renewable Energy, 8(1-4) : 323-326.
- [2] Volkov, A.A., A.V. Sedov., P.D. Chelyshkov (2014) Modelling the thermal comfort of internal building spaces in social Buildings. Procedia Engineering, 91: 362-367.
- [3] Tebbouche, H., Bouchair, A., & Grimes, S. (2017). Towards an environmental approach for the sustainability of buildings in Algeria. Energy Procedia, 119, 98-110.
- [4] Moujalled, b., Cantin, r., & Guarracino, g. Contraintes du confort d'ete lors de la rehabilitation d'un lycee. Disponible sur : http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/climamed/79.pdf
- [5] Zomorodian, Z. S., & Nasrollahi, F. (2013). Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran. International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning, 23(1&2).
- [6] Da Graça, V. A. C., Kowaltowski, D. C. C. K., & Petreche, J. R. D. (2007). An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. Building and Environment, 42(2), 984-999.
- [7] Iturra, E. E. M. (2011). Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique (Doctoral dissertation, Université Laval).
- [8] Standard, A. S. H. R. A. E. (2010). Standard 55-2010: « Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy »; ASHRAE. Atlanta USA.
- [9] James, A. D., & Christian, K. (2012). An assessment of thermal comfort in a warm and humid school building at Accra, Ghana. Pelagia Res Libr, Adv App Sci Res, 3(1), 535-547, disponible sur www.pelagiaresearchlibrary.com
- [10] Mezaoukh, L "Impact de la conception des fenêtres sur l'environnement intérieur dans les salles de classe en zones arides. Cas d'étude : la ville de Laghouat." PhD diss., Université Amar Telidji de Laghouat, 2012.
- [11] Arhab-Saidi, F., Djebri, B., & Saidi, H. (2015). Evaluation of the Thermal Comfort Inclassrooms'. International Journal of Natural Science, 7(5).
- [12] Saddok, A., & Djebri, B. Thermal Performance of Typologies of School Buildings: The Side and Central Corridor Plan in the Context Climate Mediterranean in Algeria. Environment, 100, 3.
- [13] Ministère de l'éducation nationale et de l'enseignement fondamental, 1982. « Guide des constructions scolaires enseignement fondamental 1er et 2 emme cycle »
- [14] Boukadoum, A. (2012). Evaluation du confort acoustique dans les Salles de cours des établissements

- scolaires. Disponible sur : <http://archives.umc.edu.dz/bitstream/handle/123456789/131690/BOU6351.pdf?sequence=1>
- [15] ISO, I. (1998). 7726, Ergonomics of the Thermal Environment, Instruments for Measuring Physical Quantities. Geneva : International Standard Organization.
- [16] Schellen, L., Loomans, M. G. L. C., de Wit, M. D., Olesen, B. W., & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2012). The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions—Gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling. *Physiology & behavior*, 107(2), 252-261.