



Performance thermique des typologies des bâtiments scolaires dans le contexte climatique méditerranéen en Algérie

Amel SADDOK ¹

Boualem DJEBRI ¹

¹Laboratoire Ville, Architecture et Patrimoine, LVAP Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme,
Route de Beaulieu, B.P. 177, El-Harrach 16200, Alger, Algérie

amelarchi35@yahoo.com

djebrib@gmail.com

Résumé : L'architecture des bâtiments scolaires en rapport avec la qualité environnementale est l'une des préoccupations majeures du développement durable au 21^e siècle. Les typologies de plans à coursive et de plans à corridor central sont les modèles les plus pratiqués dans la construction de ces bâtiments dans la plupart des pays du monde. Aujourd'hui, à la lumière des défis que doit mener l'espace scolaire pour assurer les conditions de confort dans le respect de l'environnement, on s'interroge sur la qualité thermique de ces modèles. Ainsi, l'objectif principal de ce travail est l'évaluation et la comparaison des performances thermiques dans ces récurrentes typologies. En s'appuyant sur une campagne de mesures, l'étude a permis de mener une évaluation objective des principaux paramètres physiques du confort thermique dans le contexte climatique d'une ville Algérienne à climat méditerranéen tempéré (Tizi-Ouzou). Par ailleurs, l'analyse bioclimatique a permis de déceler les principaux défauts liés à la conception ces bâtiments et d'en mener une étude comparative.

Mots clés :

Performance thermique, bâtiment scolaire, typologie architecturale, enveloppe du bâtiment, plan à coursive, plan à corridor central, étude comparative.

1. Introduction

Le secteur de l'éducation ainsi que celui de l'environnement revêtent, aujourd'hui, un caractère stratégique dans toutes les sociétés. Les bâtiments scolaires représentent une part non négligeable des bâtiments publics. L'importance et la particularité de la population qu'ils abritent, conjuguées aux préoccupations du développement durable impliquent la maîtrise des impacts de la consommation des énergies sur l'environnement extérieur pour procurer des ambiances intérieures saines et confortables.

Fortes de ces constats, plusieurs recherches sont penchées sur l'étude de différentes stratégies de conception et de typologies architecturales sur le confort thermique des élèves. Nous citons à ce propos, les travaux de Da Garça V.A.C. et al [1] qui se sont intéressés à l'évaluation du confort thermique dans des typologies de bâtiments scolaires de l'État de São Paulo au Brésil. Ils ont développé une série d'études sur 39 bâtiments classés en sept typologies de configurations spatiales avec différents pourcentages d'ouvertures et possibilités d'orientations. Dans la même ligne, Montenegro E. E. [2] a étudié l'impact de trois modèles de configurations spatiales des bâtiments scolaires sur la performance thermique dans deux contextes climatiques, froid et tempéré. Cette étude est effectuée en utilisant deux indicateurs : le pourcentage d'heures dans la zone de confort et le pourcentage des personnes insatisfaites (PPD) tel qu'il était établi dans les standards ASHRAE 55-2004 [3]. Par ailleurs, Dimoudi A. et Kostarela P. [4] ont évalué le comportement thermique de la typologie la plus répandue des bâtiments scolaires en Grèce dite «ATHINA». Il s'agit d'une combinaison de salles de cours

qui sont en modules carrés interconnectés par un escalier à la direction horizontale et verticale. Une autre étude dans ce contexte est celle de Zomorodian Z.S., Nasrollahi F. [5] qui ont évalué l'impact de différents paramètres de conception architecturale tels que l'orientation, le pourcentage des fenêtres, la forme et la configuration spatiale sur la performance thermique des bâtiments scolaires.

En s'appuyant, entre autres, sur ces précédentes études, cet article se prête à déceler les performances thermiques des typologies des bâtiments scolaires en Algérie. En effet, soumis à une logique de conception standard, rigide et typique, les bâtiments scolaires en Algérie, à l'image de beaucoup d'autres pays, sont construits suivant deux typologies architecturales et avec les mêmes matériaux de construction, sans prendre en considération les caractéristiques climatiques de chaque région. Il s'agit du modèle de plan à coursive et de plan à corridor central avec l'utilisation de la brique cuite creuse comme principal matériau de construction pour l'enveloppe.

À la lumière des défis que doit mener l'espace scolaire pour assurer les conditions de confort dans le respect de l'environnement et face à la reproduction massive de ces typologies sur tout le territoire national, ce travail de recherche tentera d'atteindre les objectifs suivants :

- l'évaluation de la performance thermique des deux typologies précitées ;
- le degré d'intégration de ces typologies à leurs contextes climatiques pour procurer les conditions de confort thermique ;
- la comparaison entre les deux typologies précitées d'un point de vue performance thermique.

L'étude se présente sous deux volets. Le premier est une évaluation de la performance thermique. Elle se repose sur la méthode quantitative objective par l'analyse et l'interprétation des résultats des campagnes de mesures. Le deuxième volet est une étude bioclimatique qui mettra à profit de notre meilleure compréhension les aspects négatifs et les défauts liés à la forme et à la composition de l'enveloppe de chaque typologie et qui permettra de mener une étude comparative.

2. Cas d'étude

L'investigation est menée dans la ville de Tizi-Ouzou qui est située au Nord de l'Algérie (latitude 36°42 Nord, longitude 04°03 Est). Selon la classification mondiale des climats de Koppen [6], elle est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré. Elle fait partie de la zone H1a d'hiver qui se caractérise par un hiver doux et E1 d'été qui se caractérise par des étés chauds et humides avec un faible écart des températures diurne et nocturne [7]. Le mois d'Aout est le plus chaud avec une température moyenne égale à 28.4°C, tandis que le mois de Février est le plus froid avec une température moyenne de 9.50°C [8].

L'environnement de l'étude porte sur les bâtiments scolaires d'enseignements moyen (CEM) et secondaire (lycée) de la ville de Tizi-Ouzou. L'étude des caractéristiques architecturales de ces derniers fait ressortir deux typologies. Le plan à coursive qui est caractérisé par la juxtaposition linéaire des salles de cours desservies latéralement par une coursive (fig.1et 2) et une double orientation des façades. La deuxième est le plan à corridor central qui est caractérisé un couloir central linéaire distribuant de chaque part et d'autre des salles de cours (fig.3et 4) et l'unie-orientation des façades. Par ailleurs, la consultation des plans et les observations in situ ont permis de constater que l'enveloppe extérieure est composée de doubles murs en briques creuses séparés par une lame d'air de 10 cm ; le revêtement extérieur est un enduit en ciment, celui de l'intérieur est en plâtre(fig.5).

L'investigation est menée dans quatre cas d'étude. Deux sont conçus suivant la typologie de plan à coursive dont toutes les caractéristiques des salles de cours sont similaires à l'exception de leurs orientations. Elles sont à doubles orientations Est/Ouest pour le 1er cas et Nord/Sud pour le 2ème cas. Les deux autres sont conçus suivant la typologie de plan à corridor central, orientées au Nord et Sud pour le 1^{er} cas et à l'Est et l'Ouest pour le 2ème cas.

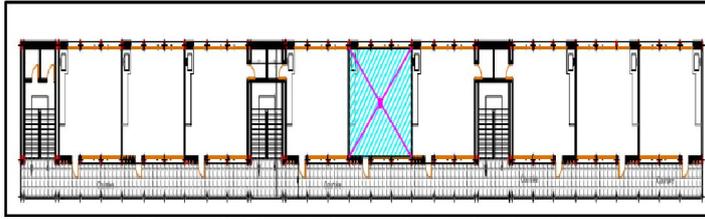


Figure.1: Plan de la typologie de plan à coursive.

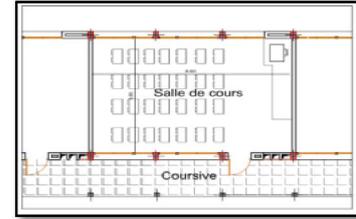


Figure.2: Plan des salles de cours de la typologie de plan à coursive.

Tableau.1: Tableau récapitulatif des caractéristiques des salles de cours de la typologie de plan à coursive.

Dimensions (L x b x h)	Surface	Orientations	Forme géométrique	Nombre d'occupants
8.60x6.75x3.20 m ³	58.05 m ²	Nord/Sud et Est/Ouest	Rectangulaire	Entre 26 et 32

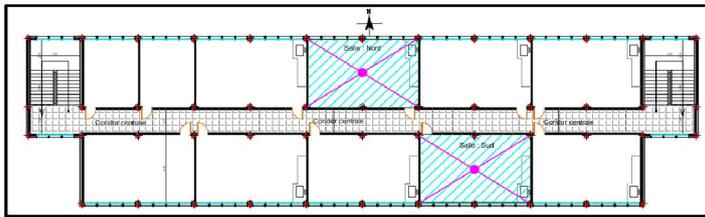


Figure 3: Plan de la typologie de plan à corridor central.

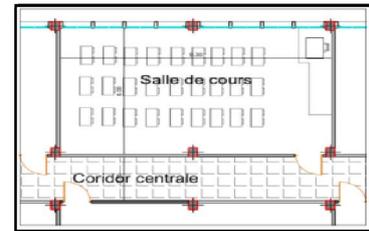


Figure 4: Plan des salles de cours de la typologie de plan à corridor central.

Tableau.2: Tableau récapitulatif des caractéristiques des salles de cours de la typologie de plan à corridor central

Dimensions (L x b x h)	Surface	Orientations	Forme géométrique	Nombre d'occupants
9.4x6x3.20 m ³	56.04m ²	Nord ; Sud ; Est ; Ouest	Rectangulaire	Entre 26 et 32

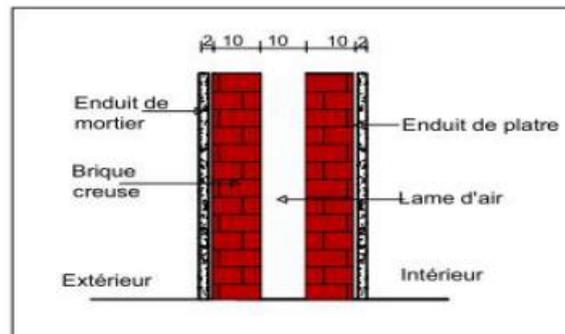


Figure 05 : Composition de l'enveloppe des bâtiments scolaires étudiés.

3. Méthodologie et outils de travail

L'étude s'appuie sur deux méthodes d'investigation : l'évaluation post-occupationnelle et l'analyse bioclimatique des deux typologies précitées. L'évaluation post-occupationnelle se repose sur la méthode quantitative objective qui permet de décrire les différents paramètres physiques de l'ambiance thermique en utilisant les mesures in situ sur un modèle réel et en excluant les apports du chauffage ou de rafraîchissement mécanique. Quant à l'analyse bioclimatique, elle permet de déceler les aspects négatifs et positifs de chaque typologie et de mener une comparaison entre les deux modèles. Nous avons opté pour l'utilisation du diagramme psychométrique de S. Szokolay et les tableaux de C. Mahoney.

3.1. Étude quantitative objective

Dans l'objectif d'évaluer quantitativement les différents paramètres physiques de l'ambiance thermique, nous avons effectué une campagne de mesures pendant deux périodes de l'année : en été et en hiver. Afin d'évaluer la capacité des bâtiments scolaires à offrir un minimum de confort dans les conditions habituelles de travail, cette campagne s'est effectuée en présence des élèves et sans aucun équipement de rafraîchissement ou de chauffage. Deux principaux paramètres sont mesurés : la température ambiante et l'humidité relative. Les mesures sont effectuées dans deux salles de classe de la typologie de plan à coursive et quatre salles de la typologie de plan à corridor central de différentes orientations.

L'appareillage utilisé est un thermocouple du type K-HI 935006 et un thermohygromètre à sonde. Ces derniers sont étalonnés pendant 24h00. L'intervalle des prises de mesures est d'une heure et les sondes sont placées au centre géométrique des salles de cours à une hauteur de 1.1m du niveau du plancher, comme le recommande la norme [9].

3.2. Étude bioclimatique

L'étude bioclimatique a pour objectif de cerner les principaux défauts liés à la conception des bâtiments des cas d'étude et de savoir si les facteurs de l'environnement climatique sont pris en considération pour assurer le confort thermique. Par ailleurs, l'analyse bioclimatique conjuguée à la connaissance des caractéristiques architecturales et constructives de ces bâtiments nous a permis de mener une comparaison entre les deux typologies.

L'étude bioclimatique s'est appuyée sur deux méthodes : le diagramme psychométrique de S. SZokolay et les tableaux de Carl Mahoney. Le digramme bioclimatique permet de déterminer la zone de confort thermique ainsi que les grandes lignes de conception qui permettent de le garantir [10]. Pour savoir comment appliquer l'ensemble de ces recommandations lors de la conception des bâtiments, nous avons utilisé les tableaux de Mahoney. L'application de cette méthode sur la ville de Tizi-Ouzou a permis d'aboutir à des recommandations variant du général, comme l'implantation et l'orientation jusqu'au détail comme la dimension et la disposition des ouvertures (voir le tableau3). Ces recommandations sont comparées aux caractéristiques des bâtiments étudiés pour atteindre les objectifs précités.

4. Présentation et discussion des résultats

4.1. Campagne de mesures d'été

4.1. 1. Description de la méthode et des conditions de mesures

La campagne de mesures d'été s'est déroulée en Septembre qui correspond au mois le plus chaud de l'année scolaire. Cette campagne s'est effectuée en présence des élèves, dans leurs conditions de travail habituelles et sans aucun équipement de rafraîchissement afin d'évaluer la capacité de ces bâtiments à offrir un minimum de confort pendant la période chaude.

Les mesures sont prises en continu, pendant une seule journée au cours des heures de scolarisation des élèves, de 8h 00 à 17h 00. L'intervalle entre deux mesures consécutives est d'une heure. Le même protocole est maintenu pour les quatre cas d'étude.

Pour que l'environnement de mesures soit similaire pour les quatre cas d'étude, toutes les salles choisies sont situées au 1^{er} étage au milieu du plan .Pour toutes les salles de cours, les mesures sont relevées au milieu, à une hauteur de 1.20 m.

La typologie de plan à coursive est caractérisée par des salles de cours à double orientation. La campagne de mesures est effectuée dans deux lycées, pendant deux journées différentes. Dans le premier, la salle est orientée Nord/Sud, les températures extérieures virent entre 22.1°C et 30.7 °C et les humidités relatives extérieures varient entre 29% et 54%. Dans le deuxième, elle est orientée Est/Ouest, les températures extérieures virent entre 21.5°C et 36.2 °C et les humidités relatives extérieures varient entre 13% et 64%.

La typologie de plan à corridor central est caractérisée par des salles de cours à uni-orientation. La campagne de mesures s'est effectuée dans deux CEM, pendant deux journées différentes. Les salles de cours sont orientées au Nord et au Sud dans le premier cas d'étude. Pour ce dernier, les températures extérieures varient entre 25.8°C et 35.7 °C et les humidités relatives extérieures varient entre 32% et 45%. Dans le second cas d'étude, les salles sont orientées à l'Est et à l'Ouest, les températures extérieures varient entre 19.60°C et 32.50°C et les humidités relatives extérieures varient entre 34% et 62%.

4.1. 2. Discussions et interprétation des résultats

- *La typologie de plan à coursive*

Pour les salles orientées Nord/Sud, les températures du confort ne sont atteintes que pendant la première heure de la matinée. En effet, la température de la salle change en fonction des températures extérieures et de l'apport des élèves. La valeur maximale des températures intérieures est de 28.5 °C, elle est atteinte à 14h00. La différence maximale entre les températures intérieures et extérieures enregistrées au même moment n'est pas considérable, elle est de 2.7 °C. Cela est dû à l'importance de la surface vitrée qui caractérise les typologies de plan à coursive.

Les humidités relatives intérieures suivent globalement celles des humidités extérieures avec un faible écart. À noter que les valeurs de l'humidité relative restent dans la zone du confort arrêtée par le digramme psychrométrique.

Pour les salles orientées Est/Ouest, la zone de confort est atteinte de 08h00 à 9h30 uniquement. La courbe des températures évolue lentement jusqu'à 13h00 grâce à la courte durée d'ensoleillement que reçoivent ses façades pendant la matinée. Quant à l'après-midi, la température augmente relativement plus vite pour atteindre sa valeur maximale de 32.8°C à 16h00 à cause des apports solaires reçus par la façade orientée à l'Ouest.

Les valeurs d'humidité de la salle de cours sont supérieures à celles de l'extérieur à partir de 9h30 grâce aux apports respiratoires des élèves.

- *La typologie de plan à corridor central*

Pour les salles orientées au Nord et au Sud à partir de 10h00, les températures intérieures des deux salles dépassent la limite du confort thermique, elles varient entre 28°C et 31.2°C. Les températures sont plus élevées dans la salle orientée au Sud à partir de 12h00 à cause du rayonnement solaire reçu par la façade Sud contrairement à la façade Nord. Les températures intérieures commencent à diminuer à partir de 15h00 à cause de la diminution du rayonnement solaire reçu à partir de cette heure par les deux façades.

Le taux d'humidité relative des deux salles est plus élevé que l'extérieur durant toute la journée, alors qu'on n'enregistre pas de grandes différences entre les deux salles. Les valeurs d'humidité intérieure se situent dans la zone de confort et varient entre 30% et 45%.

Pour les salles orientées à l'Est et à l'Ouest, les températures augmentent à partir 10h00, notamment dans les salles orientées à l'Ouest, à cause des apports internes des occupants. Les températures de la salle orientée à l'Ouest sont plus importantes que celles de la salle orientée à l'Est notamment pendant l'après-midi du fait qu'elle reçoit une quantité importante de radiations solaires directes.

Les valeurs de l'humidité relative varient entre 41 % et 70%, elles se situent dans la zone de confort, tandis que les humidités relatives extérieures varient entre 34 % et 62%.

En conclusion, la quantification du paramètre de la température montre la défaillance des deux typologies étudiées dans la procuration du confort thermique pendant la période chaude. Cela est soutenu par l'élévation des températures intérieures au même titre que celles extérieures avec un faible écart dans la plupart du temps.

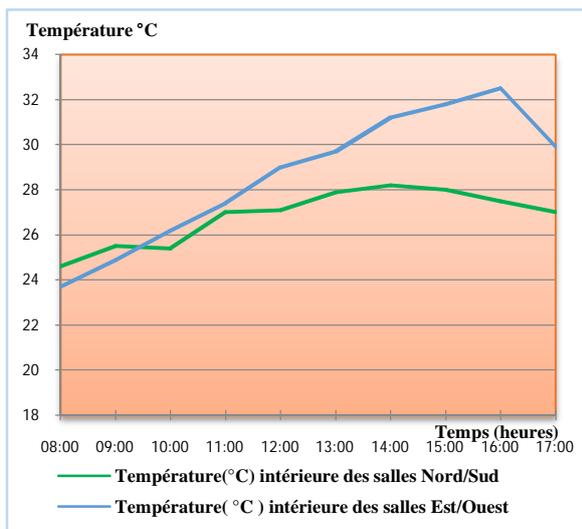


Figure 06 : Variation des températures intérieures des salles de la typologie de plan à coursive en été.

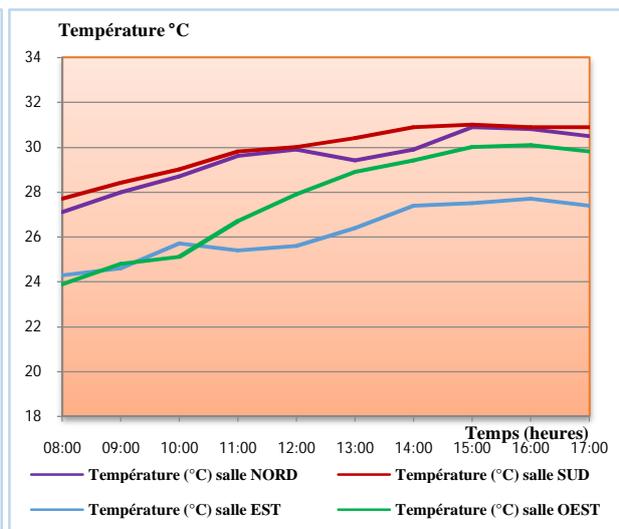


Figure 07: Variation des températures intérieures des salles de la typologie de plan à corridor central en été.

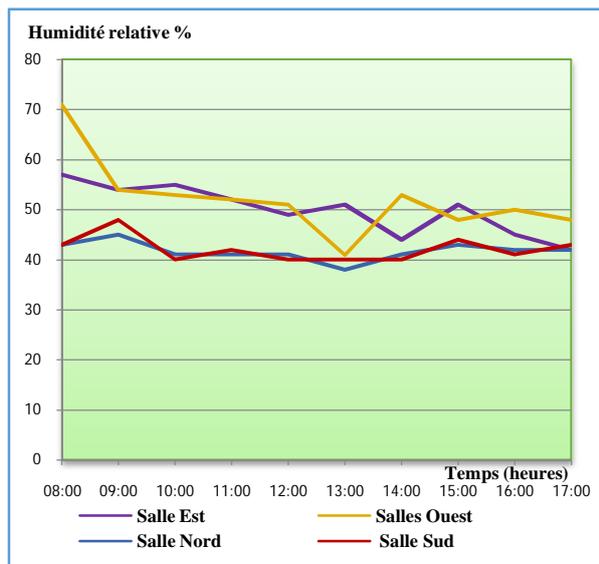


Figure 08 : Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à corridor central en été.

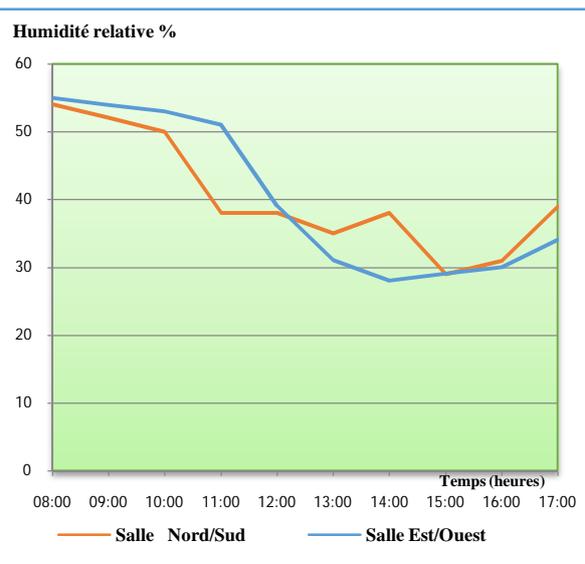


Figure 09 : Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à coursive en été

4.2. Campagne de mesures d'hiver

4.2. 1. Description de la méthode et des conditions de mesures

Dans l'objectif de connaître les conditions brutes offertes par les deux typologies et leur capacité à offrir un minimum de confort pendant la période hivernale, les mesures sont effectuées pendant une journée de scolarisation en présence des élèves, avec leurs conditions de travail habituelles en éteignant le chauffage. La campagne de mesures d'hiver s'est déroulée en mois de Janvier. Les mesures sont prises en continu, pendant une seule journée au cours des heures de scolarisation des élèves, de 8h 00 à 17h 00. Le même protocole de mesures est maintenu pour les quatre cas d'étude. Pour toutes les salles de cours, les mesures sont relevées au milieu, à une hauteur de 1.20 m.

Les valeurs des températures extérieures pour la typologie de plan à coursive varient entre 8.9°C et 17.3°C pour la salle orientée au Nord/Sud, et entre 9.4°C et 15.7°C pour la salle orientée Est/Ouest. Tandis que les humidités relatives extérieures varient entre 45% et 72 % pour la salle orientée au Nord/Sud et entre 47% et 67 % pour la salle orientée Est/Ouest.

Les températures extérieures, pour la typologie de plan à corridor central, varient entre 7.7°C et 15.9°C pour les salles orientées au Nord et au Sud et entre 6.1°C et 15.6°C pour les salles orientées à l'Est et à l'Ouest. Les humidités relatives extérieures varient entre 50% et 57 % pour les salles orientées au Nord et au Sud et entre 51% et 60% pour les salles orientées Est/Ouest.

4.2. 2. Discussions et interprétation des résultats

- *La typologie de plan à coursive*

Pour la salle orientée au Nord/Sud, les températures intérieures sont supérieures à celles de l'extérieur pendant toute la journée. La valeur maximale des températures intérieures est de 18.8°C, elle est atteinte à 13h00. Ainsi, les températures procurées par cette typologie, en prenant uniquement les apports internes des élèves, sont dans la plupart du temps inconfortables.

Pour la salle orientée à l'Est/Ouest, les températures intérieures sont supérieures aux températures extérieures tout au long de la journée. La courbe des températures évolue lentement de 8h00 jusqu'à 14h00. À partir de la ,elle commence à augmenter relativement plus vite pour atteindre sa valeur maximale de 17.4 °C à 17h00 du fait que la façade orientée à l'Ouest reçoit un rayonnement solaire intense pendant l'après-midi. Les humidités relatives internes se situent pour les deux orientations dans la zone de confort et varient entre 45% et 72%.

- *La typologie de plan à corridor central*

Pour les salles orientées au Nord et au Sud, les températures varient entre 15.2°C et 18.7°C. À partir de 13h00, les températures de la salle Sud deviennent légèrement supérieures à celles de la salle Nord du fait qu'elle reçoit un rayonnement solaire par la façade Sud. Les valeurs d'humidité varient entre 34% et 60%, elles se

situent dans la zone de confort. Les humidités relatives intérieures connaissent des variations tout au long de la journée, alors qu'on n'enregistre pas de grandes différences entre les deux salles.

Pour les salles orientées à l'Est et à l'Ouest, les températures sont supérieures aux températures extérieures durant toute la journée sans atteindre le seuil du confort dans la plupart du temps. Les températures augmentent de 8h00 à 11h00 grâce aux apports thermiques des élèves ; par contre, elles diminuent de 12h00 à 13h30 avec leur sortie. Pour l'après-midi, on remarque une élévation de température avec la reprise des élèves. Les températures sont plus élevées dans la salle orientée à l'Ouest du fait qu'elle reçoit une radiation solaire pendant l'après-midi. Les humidités relatives internes se situent dans la zone de confort et varient entre 51% et 66%.

Nous pouvons conclure que les valeurs de température n'atteignent pas le seuil du confort thermique (18°C) dans la plupart du temps dans les deux typologies étudiées et pour les quatre orientations. En revanche, les humidités relatives internes se situent dans la zone de confort et varient entre 44% et 70%.

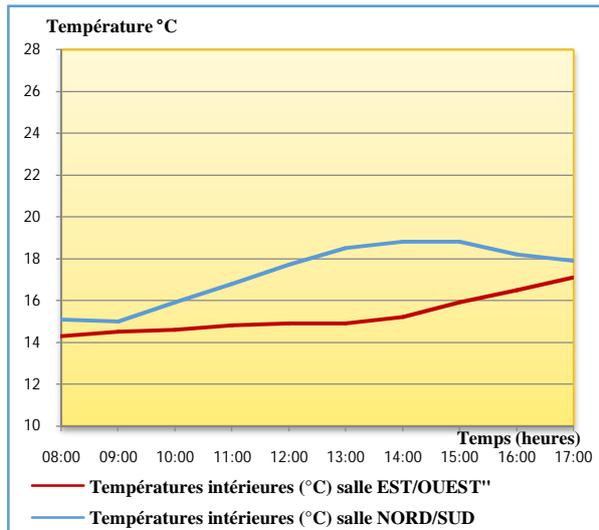


Figure 10 : Variation des températures intérieures dans la typologie de plan à coursive en hiver.

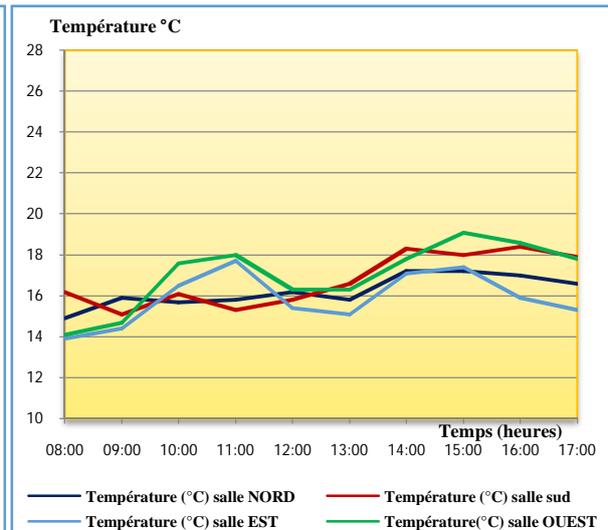


Figure 11 : Variation des températures intérieures dans la typologie de plan à corridor central en hiver.

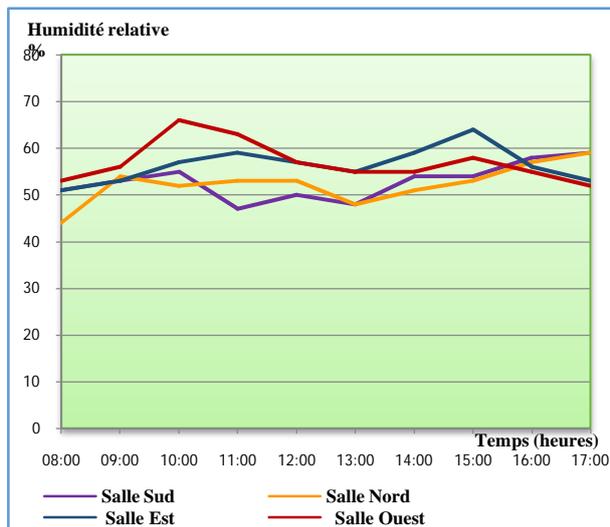


Figure 12 : Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à corridor central en hiver.

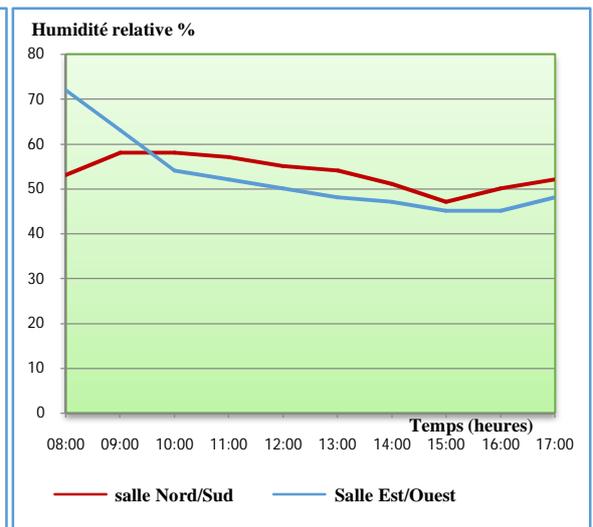


Figure 13 : Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à coursive en hiver.

4.3. Étude bioclimatique

Les objectifs de l'étude bioclimatique sont multiples, ils se résument à :

- confirmer ou infirmer les résultats des campagnes de mesure;

- comprendre les raisons du mauvais comportement thermique de chaque typologie ;
- savoir à quel degré sont pris en considération les facteurs de l'environnement climatique pour assurer le confort thermique des bâtiments scolaires étudiés ;
- comparer entre les deux typologies d'un point de vue performance thermique.

Pour ce faire, nous avons effectué une étude climatique de la ville prise comme cas d'étude (Tizi-Ouzou) afin de tirer les recommandations bioclimatiques conformes à cette zone. En second lieu, nous avons étudié les caractéristiques architecturales et constructives des cas d'étude (voir tableau 3). Les deux analyses sont comparées pour atteindre l'objectif précité.

Tableau.3: Synthèse et comparaison des caractéristiques des deux typologies et les recommandations bioclimatiques.

Critères	Typologie de plan à coursive	Typologie de plan à corridor central	Recommandations bioclimatiques
Le bâtiment scolaire			
Coefficient de forme	0.54	0.34 ; 0.15	Faible
Les salles de cours			
Orientations	Nord/Sud ; Est/Ouest	Nord ; Sud ; Est ; Ouest	Sud ; Nord
Surface (m ²)	58.05	56.04 ; 63.08	60 à 62
Volume (m ³)	185.76 m ³	180.50 m ³ ; 205.00 m ³	/
Ratio surface/élève m ²	1.81 m ² à 2.23	2.24 à 1.86 ; 2.25 à 1.97	1,40 à 1,50
Ratio ouvertures/ façade	47%	46% ; 45%	20% à 40%
Matériaux de construction des parois opaques.	Brique creuse, (2h de déphasage).	Brique creuse, (2h de déphasage).	A forte inertie thermique (8heures de déphasage)
Matériaux de construction des parois vitrées	Simple vitrage	Simple vitrage	/

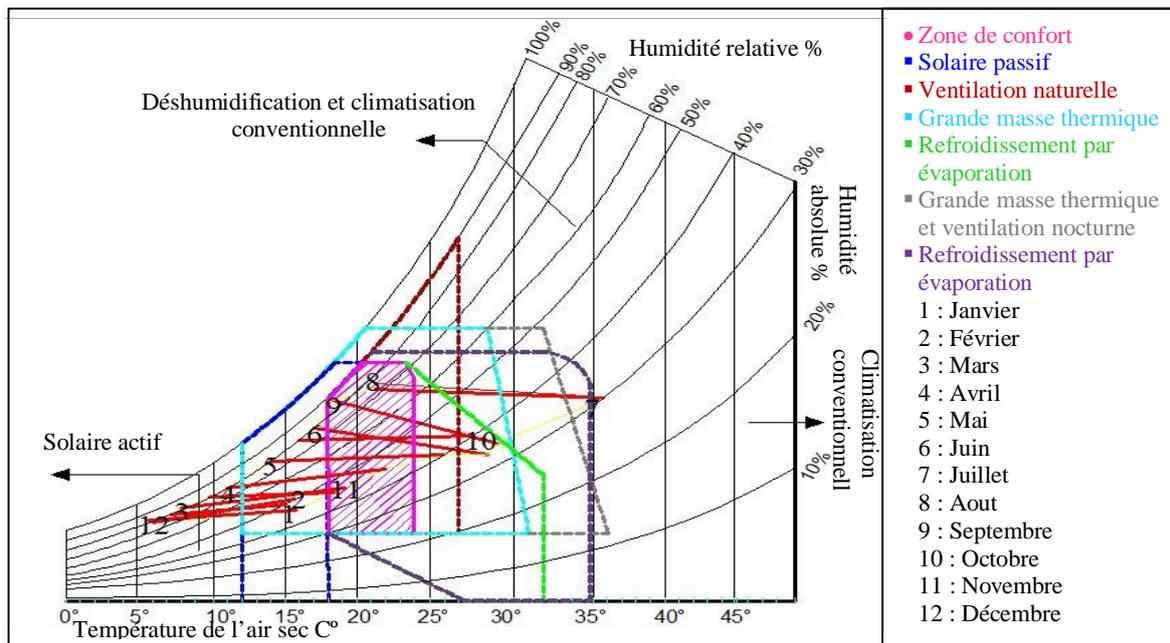


Figure 14: Diagramme bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou
Source : logiciel Ecotect Analysis 2011.

La projection des données météorologiques de la ville de Tizi-Ouzou sur le diagramme bioclimatique a permis de déterminer trois zones (Fig.14) :

- la zone de confort ;

- la zone de sous chauffe dont il est recommandé de promouvoir les gains du solaire passif et l'utilisation de la masse thermique pour répondre aux problèmes d'inconfort thermique ;
- la zone de surchauffe dont il est recommandé l'utilisation de la masse thermique, le refroidissement par évaporation et la ventilation naturelle.

L'application des tables de Mahoney a permis d'aboutir aux recommandations nécessaires à la réalisation du confort hygrothermique dans un bâtiment à Tizi-Ouzou. Ces recommandations ainsi que les caractéristiques architecturales et constructives sont résumées dans le tableau 3.

4.3. 1. Discussions et interprétation des résultats

4.3.1.1. Comparaison entre les caractéristiques architecturales des bâtiments scolaires et les recommandations bioclimatiques

L'analyse des caractéristiques des bâtiments des cas d'étude comparées aux recommandations bioclimatiques confirme le mauvais comportement thermique de ces bâtiments. Elles permettent, par ailleurs, de conclure que les facteurs de l'environnement climatique ne sont pas pris en considération pour assurer le confort thermique dans les deux typologies. Les défaillances recensées de la conception de ces plans, d'après l'étude bioclimatique, se résument comme suit :

- *Dans les deux typologies*

1. L'inadéquation de l'orientation de la plupart des salles de classe, d'autant plus que les bâtiments ne disposent pas des systèmes d'occultation extérieurs. En effet, l'étude bioclimatique préconise l'orientation Sud du fait que l'ensoleillement d'hiver est maximal, tandis que celui de l'été est minimal avec la possibilité de se protéger avec un simple auvent.

2. La faible inertie thermique des matériaux ; des études antérieures [11] ont démontré que le temps de déphasage de ce type d'enveloppe est de 2 heures uniquement, or que dans la zone climatique étudiée, on suggère une enveloppe à forte inertie thermique avec un temps de déphasage de 8 heures.

3. L'absence des protections solaires extérieures ; les protections solaires dans les salles de cours se résument en simples rideaux intérieurs qui n'assurent pas une protection suffisante vis-à-vis des aléas du climat.

- *La typologie de plan à coursive*

En plus des défaillances citées dans les deux typologies, celle de plan à coursive présente d'autres carences à savoir :

1. L'importance des surfaces vitrées ; la typologie de plan à coursive présente deux façades ouvertes sur l'extérieur. Le calcul du rapport de la surface des ouvertures par rapport à la surface du plancher des salles fait ressortir qu'il dépasse la valeur maximale requise par les recommandations bioclimatiques. Cela a pour effet d'accentuer les échanges de chaleur indésirables en été et de favoriser des déperditions thermiques en hiver. En revanche, la typologie de plan à corridor central se caractérise par un degré d'ouverture beaucoup moins important.

2. L'importance du coefficient de forme ; le calcul de ce dernier indique qu'il est important pour les deux typologies étudiées. Toutefois, celui de la typologie de plan à corridor central est plus faible.

4.3.1.2. Comparaison entre les deux typologies

Sur la base des résultats présentés ci-dessus, nous retenons que les deux typologies partagent plusieurs caractéristiques et défaillances communes par rapport à l'étude bioclimatique. Néanmoins, la conception de la typologie de plan à corridor central présente moins de carences. Bien qu'elle n'offre pas les conditions de confort, elle est mieux adaptée au contexte climatique de la ville de Tizi-Ouzou grâce à sa conception plus compacte et moins ouverte.

5. Conclusion

À l'issue de cette étude, il est à conclure que la problématique du confort thermique dans le bâtiment scolaire en Algérie est l'œuvre d'une conception non soucieuse du climat. Les résultats de l'investigation démontrent la faible performance thermique des deux typologies étudiées durant les deux périodes à l'exception des deux premières heures de la matinée en été et les deux dernières de l'après-midi en hiver. Cela est soutenu par les faibles écarts des températures entre l'intérieur et l'extérieur.

Par ailleurs, l'étude des caractéristiques architecturales et constructives de chacune de ces typologies comparées à l'analyse bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou révèlent que le confort thermique et la qualité

environnementale ne sont pas pris en compte dans ces bâtiments. De nombreuses défaillances, notamment de la typologie de plan à coursive, sont recensées, elles se résument comme suit :

- la composition de l'enveloppe qui ne joue pas son rôle protecteur à cause de sa faible inertie thermique ;
- la forme étalée, notamment de la typologie de plan à coursive, qui engendre une surface de déperdition thermique importante ;
- l'inadéquation du pourcentage des surfaces vitrées par rapport aux stratégies bioclimatiques recommandées pour cette zone ainsi que la nature du vitrage (vitrage simple) qui augmente les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur;
- l'inadéquation de l'orientation de la plupart des salles de cours ;
- l'absence des protections solaires extérieures et de l'isolation thermique.

Ces défaillances confirment les résultats des campagnes de mesures menées et apportent quelques éléments de réponse au mauvais comportement thermique de ces bâtiments. Nous signalons que la typologie de plan à corridor central peut offrir des conditions plus modérées du fait que son enveloppe se caractérise par une conception plus compacte et moins ouverte que la typologie de plan à coursive.

Références

- [1] 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. Revue « *Building and Environment* », vol. 42, p984-999.
- [2] Montenegro E.E., 2011. « *Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique* ». Thèse de doctorats soutenue à la faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels de l'université de Laval, Canada.
- [3] ASHRAE Standard 55. 2004. « *Thermal environmental conditions for human occupancy* ». Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers.
- [4] Dimoudi A., Kostarela P., 2009. Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece. Revue « *Renewable Energy* », vol. 34, p 289-296.
- [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* », Vol. 23, Nos. 1 & 2, June & December 2013.
- [6] Koppen W., Geiger R., 1930. *Handbuch der Klimatologie*. GebrüderBorntraeger. Berlin.
- [7] Ministère de l'habitat, 1993. *Recommandations Architecturales*, éd, ENAG, Alger.
- [8] ONM, 2014. *Document météorologie de Tizi-Ouzou*, Office national de météorologie de Tizi-Ouzou.
- [9] EN ISO 7726, 2001. *Ergonomics of the Thermal Environment Instruments for Measuring Physical Quantities*. International Standardisation Organisation, Geneva.
- [10] S. Semahi, Djebri B., 2013. La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides. Revue, *Energies Renouvelables*, vol. 16 N°3.
- [11] N. Kesraoui, (2010). *Intégration du concept bioclimatique et utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment tertiaire en climat méditerranéen -cas de l'Algérie*, Mémoire de magistère soutenu à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.