

## **Confort thermique et intégration à l'environnement climatique des typologies des bâtiments scolaires. Cas du plan à coursive et à corridor central dans le contexte climatique méditerranéen en Algérie**

A. Saddok <sup>1</sup> et B. Djebri <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Département d'Architecture, Faculté de Génie de la Construction,  
Université Mouloud Mammeri, B.P. N°17 RP, 15000, Tizi-Ouzou, Algérie

<sup>2</sup> Laboratoire Ville, Architecture et Patrimoine, LVAP  
Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme,  
Route de Beaulieu, B.P. 177, El-Harrach 16200, Alger, Algérie

(reçu le 25 mai 2016 - accepté le 28 Juin 2016)

**Abstract** - *The architecture of the school buildings in relation with environmental quality is a major concern of sustainable development in the 21<sup>st</sup> century. The plan typologies of passageway and central corridor are the most practiced styles in the construction of these buildings. Today, in light of the challenges that the academic space must make to ensure comfort conditions in respect of the environment, one wonders quality environments procured by these models. For the approach of post occupational evaluation (POE), this article highlights the correlation between the two typologies and thermal comfort of users in the global context of an Algerian town in Mediterranean climate (Tizi Ouzou). Based on a measurement campaign, the study allowed to conduct an objective assessment of key physical parameters of thermal comfort without the use of mechanical conditioning of the premises. Moreover, a questionnaire survey allowed for a subjective evaluation of the thermal environment and identify key factors of discomfort. The bioclimatic analysis was used to identify major shortcomings related to the design of these buildings and to conduct a comparative study between the two typologies. The results reveal deficiencies in thermal comfort and confirm the impact of the typology of the building thermal comfort of users.*

**Résumé** - *L'architecture des bâtiments scolaires en rapport avec la qualité environnementale est l'une des préoccupations majeures du développement durable au 21<sup>ème</sup> siècle. Les typologies de plan à coursive et de plan à corridor central sont les modèles les plus pratiqués dans la construction de ces bâtiments. 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 se demande de la qualité des ambiances procurées par ces modèles. Par l'approche de l'évaluation post occupationnelle (POE), cet article met en exergue la corrélation entre ces deux typologies et le confort thermique des usagers dans le contexte climatique d'une ville algérienne à climat méditerranéen tempéré (Tizi-Ouzou). En s'appuyant sur une campagne de mesures, l'étude a permis de mener une évaluation objective des principaux paramètres physiques du confort thermique sans recours au conditionnement mécanique des locaux. Par ailleurs, une enquête par questionnaire a permis de mener une évaluation subjective de l'ambiance thermique et de déterminer les principaux facteurs d'inconfort. L'analyse bioclimatique a permis de déceler les principaux défauts liés à la conception de ces bâtiments et de mener une étude comparative entre les deux typologies. Les résultats obtenus révèlent des carences en matière de confort thermique et confirment l'impact de la typologie du bâtiment sur le confort thermique des usagers.*

**Mots clés:** Développement durable - Confort thermique - Evaluation post occupationnelle (POE) - Bâtiment scolaire - Typologie architecturale - Plan à coursive - Plan à corridor central.

## 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.

En effet, la conception des bâtiments scolaires confortables et respectueux de l'environnement a un impact très positif sur la santé des occupants et leur rendement scolaire. Par ailleurs, au-delà des gains économiques, elle présente une opportunité à la promotion de l'éducation au développement durable et à l'éveil de la conscience environnementale chez les élèves.

Soumis à une logique de conception standard, rigide et typique, les bâtiments scolaires en Algérie sont construits depuis l'indépendance suivant deux typologies architecturales et avec les mêmes matériaux de construction. Il s'agit de la typologie de plan à coursive et de plan à corridor central. Face à la reproduction massive de ces typologies sur tout le territoire national, on s'interroge sur la qualité de l'ambiance thermique et l'intégration de ces typologies à leurs contextes climatiques pour procurer les conditions de confort thermique.

Ainsi, notre étude aura un double objectif. Le premier est une évaluation de l'ambiance thermique de ces typologies à travers l'analyse des résultats expérimentaux (une campagne de mesures et un questionnaire). Le deuxième sert à mettre à profit de notre meilleure compréhension les aspects négatifs et les défauts liés à la conception de chaque typologie d'un point de vue thermique à travers une étude bioclimatique.

## 2. ETUDES SUR L'IMPACT DE L'ARCHITECTURE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES SUR LE CONFORT ET LA PERFORMANCE THERMIQUES

Plusieurs recherches ont démontré l'impact 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 *et al.*, [1] qui se sont intéressés à l'évaluation du confort thermique dans des typologies de bâtiments scolaires de l'Etat 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.

Les résultats de l'évaluation post occupationnelle révèlent que le modèle de 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 la même ligne, Montenegro [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 de personnes insatisfaites (PPD) tel qu'il a été établi dans les standards ASHRAE 55-2004 [3]. Les typologies étudiées sont le modèle de plan à coursive, le modèle à corridor central et le modèle concentré, avec trois différentes formes, proportions et dimensions de salles de classe. Les résultats de cette recherche ont fait ressortir 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, Dimoudi *et al.*, [4] ont évalué le comportement thermique de la typologie la plus répandue de bâtiment scolaire 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. Les résultats attestent que sans l'utilisation des systèmes mécaniques, l'environnement intérieur des écoles ne remplit pas les conditions de confort. Le renforcement de l'isolation thermique et le choix de l'orientation principale Sud sont les stratégies les plus performantes pour améliorer l'ambiance thermique.

Une autre étude dans ce contexte est celle de Zomorodian *et al.*, [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. 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 font ressortir que la typologie qui a le plus d'impact positif sur le confort thermique dans le contexte climatique chaud et sec de l'Iran est le plan à coursive orienté au Nord suivi par le même plan orienté au Sud.

Ces études comptent peu parmi les nombreuses recherches qui ont montré l'impact de la typologie et des différentes stratégies de conception sur le confort thermique dans les bâtiments scolaires. En Algérie, le confort thermique dans le milieu scolaire reste un sujet peu traité. A notre connaissance, un seul travail de recherche est effectué dans ce sens [6, 7]; il porte sur l'évaluation du confort thermique du plan type des bâtiments scolaires d'enseignement primaire dans deux contextes climatiques: méditerranéen tempéré et aride. Les résultats de l'étude attestent que le plan type présente un comportement thermique différent entre les deux zones climatiques sans y procurer une ambiance confortable. La présente étude se prête à mettre en exergue la corrélation entre le confort thermique et les deux typologies architecturales des bâtiments scolaires d'enseignements moyen et secondaire dans une ville à climat méditerranéen tempéré (Tizi-Ouzou).

### 3. CAS D'ETUDE

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 [8], 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 diurnes et nocturnes [9]. Le mois d'Août 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. [10].

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 (figure 1 et 2). 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 (figure 3 et 4). 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 double orientations Est/Ouest pour le 1<sup>er</sup> cas et Nord/Sud pour le 2<sup>ème</sup> cas. Les deux autres cas sont conçus suivant la typologie de plan à corridor central orientées au Nord et Sud pour le 1<sup>er</sup> cas et à l'Est et l'Ouest pour le 2<sup>ème</sup> cas. Les matériaux de construction sont ceux conventionnellement utilisés dans les bâtiments scolaires en Algérie 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 pour les fenêtres.

**Tableau 1:** 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 <sup>3</sup> | 58.05 m <sup>2</sup> | Nord/Sud et Est/Ouest | Rectangulaire     | Entre 26 et 32     |

**Tableau 2:** 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 <sup>3</sup> | 56.04m <sup>2</sup> | Nord ; Sud ; Est ; Ouest | Rectangulaire     | Entre 26 et 32     |

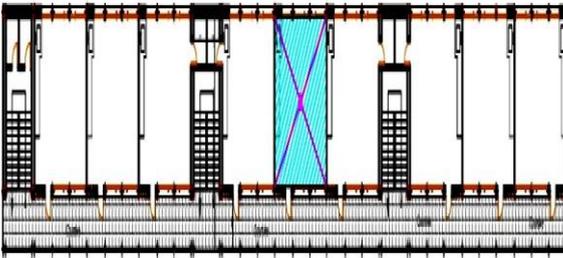


Fig. 1: Typologie de plan à coursive

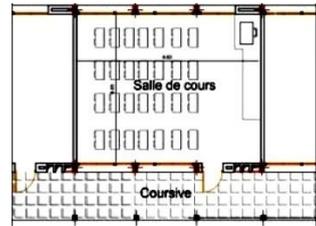


Fig. 2: Plan des salles de cours de la typologie de plan à coursive

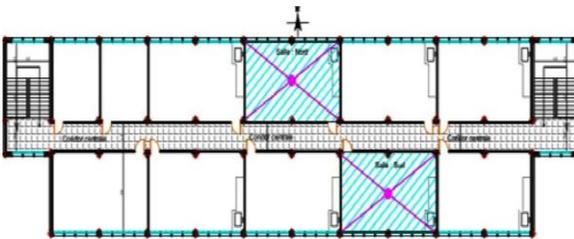


Fig. 3: Typologie de plan à corridor central

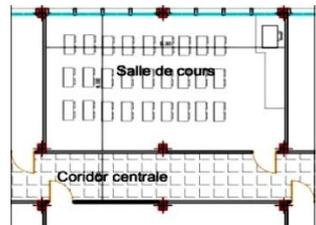


Fig. 4: Plan des salles de cours de la typologie de plan à corridor central

#### 4. METHODOLOGIE ET OUTILS DE TRAVAIL

L'étude s'appuie sur deux outils: l'évaluation post occupationnelle et l'analyse bioclimatique des deux typologies précitées. Afin de couvrir une grande variété des conditions de l'ambiance thermique, l'évaluation post occupationnelle se repose sur deux méthodes complémentaires.

La première est quantitative objective. Elle 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 mécaniques [11].

La deuxième est qualitative subjective. Elle permet d'évaluer l'ambiance thermique d'un point de vue des occupants en utilisant le questionnaire. 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 Szokolay et les **tableaux** de Mahoney.

#### **4.1 Etude qualitative 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 de la typologie de plan à corridor central de différentes orientations.

L'appareillage utilisé est un thermocouple du type K-HI 935006 et un thermo hygromètre à sonde. Ces derniers sont étalonnés pendant 24 h00. L'intervalle des prises de mesures est de une heure et les sondes sont placées au centre géométrique des salles de cours à une hauteur de 1.1 m du niveau du plancher, comme le recommande la norme EN 7726 [12]. La campagne de mesures d'été s'est déroulée durant l'année 2015, au mois le plus chaud de l'année scolaire (Septembre). Quant à celle de l'hiver, elle s'est déroulée en mois de Janvier.

#### **4.2 Etude qualitative subjective**

La méthode qualitative subjective s'appuie sur une enquête par questionnaire. Destinée aux élèves, elle vise principalement à évaluer leur perception de l'ambiance thermique et à déceler les principaux facteurs d'inconfort. Les questionnaires sont destinés à une population relativement jeune, les tranches d'âge varient entre 13 à 16 ans pour les collèves d'enseignement moyen (CEM) et entre 17 à 20 ans pour les établissements d'enseignement secondaire (lycées).

Ainsi, le vocabulaire employé, les questions posées et les échelles de différenciations sémantiques sont adaptés à cet échantillon. Les élèves enquêtés sont en nombre de 184, dont 124 de la typologie de plan à corridor central et 60 élèves sont de la typologie de plan à coursive. Ils occupent les salles de cours dont sont effectuées les campagnes de mesures. L'enquête s'est effectuée en deux étapes. La première concerne l'évaluation de l'ambiance thermique de la matinée. La deuxième concerne l'après-midi, elle est remplie juste avant la sortie de l'école. Le questionnaire est segmenté en quatre parties. La première concerne les informations personnelles à savoir, le sexe et l'âge.

La deuxième concerne l'évaluation et les préférences des paramètres ambiants à savoir: la sensation thermique, la perception de l'humidité, la sensation et les préférences du mouvement de l'air. La troisième partie concerne la détermination des facteurs d'inconfort dus aux paramètres de l'ambiance thermique. La quatrième partie concerne l'évaluation de l'efficacité des systèmes de contrôle environnemental (fenêtres, portes, rideaux, etc...) pour améliorer l'environnement thermique.

### 4.3 Etude bioclimatique

L'étude bioclimatique a pour objectif de savoir si les facteurs de l'environnement climatique sont pris en considération pour assurer le confort thermique des bâtiments des cas d'étude et de cerner les principaux défauts liés à la conception de ces derniers. 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 Szokolay et les **tableaux** de Mahoney. Le digramme bioclimatique permet de déterminer la zone de confort thermique ainsi que les grandes lignes de conception qui permettent de le garantir [13]. 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 un nombre de recommandations variant du général (implantation, orientation, etc...) jusqu'au détail (dimension et disposition des ouvertures). Ces recommandations sont comparées aux caractéristiques des bâtiments étudiés pour atteindre les objectifs précités.

## 5. DISCUSSIONS ET INTERPRETATION DES RESULTATS

### 5.1 Etude quantitative objective

#### 5.1.1 Campagne de mesures d'été

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, dans le deuxième, elle est orientée Est/Ouest.

Les températures intérieures, dans les deux salles, varient entre 24.1 °C et 32.1°C. L'écart maximal entre les températures intérieures et extérieures est de 5.8 °C. En comparant ces résultats à la zone de confort (18°C - 24°C) définie par le diagramme psychométrique, nous pouvons conclure que l'ambiance thermique est inconfortable pendant la plupart du temps passé dans les salles de cours.

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; à l'Est et à l'Ouest dans le second. Les températures intérieures dans les quatre salles varient entre 24.2 °C et 31.3 °C; elles dépassent dans la plupart du temps la limite du confort thermique.

Les valeurs de l'humidité relative se situent dans les deux typologies entre 28 % et 71 %. D'après le diagramme psychrométrique de la ville de Tizi-Ouzou, ces valeurs sont incluses dans la zone du confort.

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. Par ailleurs, les températures des salles restent assez élevées malgré que la campagne de mesures s'est déroulée vers la fin de la saison chaude dont les températures extérieures sont relativement modérées.

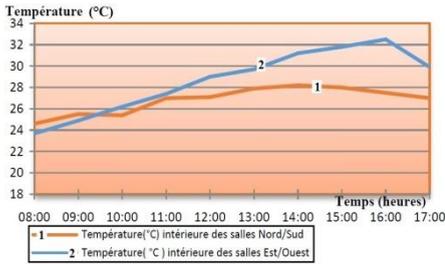


Fig. 5: Variation des températures intérieures des salles de cours de la typologie de plan à coursive en été

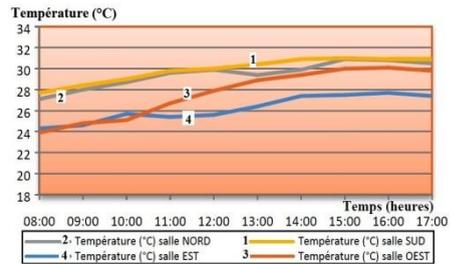


Fig. 6: Variation des températures intérieures des salles de cours de la typologie de plan à corridor central en été

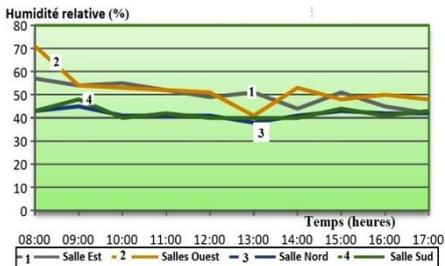


Fig. 7: Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à corridor central en été

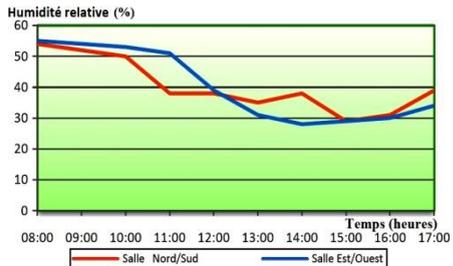


Fig. 8: Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à coursive en été

### 5.1.2 Campagne de mesures d'hiver

Dans la typologie de plan à coursive, les mesures sont effectuées sans chauffage et sans présence des élèves. Ce protocole a permis d'évaluer la performance thermique de la forme et de la composition de l'enveloppe sans apports internes actifs ou passifs. Les températures intérieures dans les deux salles varient entre 14.6 °C et 19.1 °C.

Dans la typologie de plan à corridor central, les mesures sont effectuées dans les conditions habituelles du travail pendant que le chauffage est éteint. Les températures intérieures dans les quatre salles varient entre 14.1 % et 19.4 °C. Nous pouvons conclure que les valeurs de température n'atteignent pas le seuil du confort thermique (18°C) dans la plupart du temps passé dans les salles de cours des 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 %.

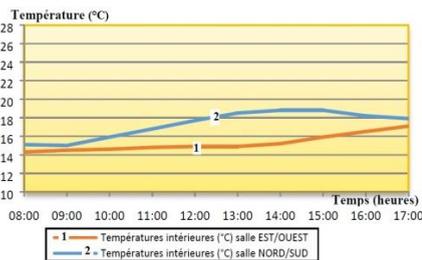


Fig. 9: Variation des températures intérieures des salles de cours de la typologie de plan à coursive en hiver

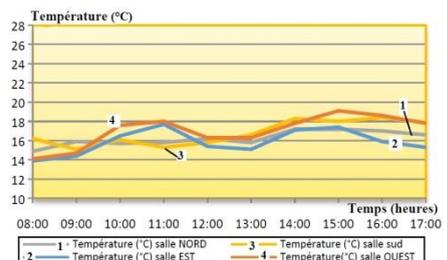


Fig. 10: Variation des températures intérieures des salles de cours de la typologie de plan à corridor central en hiver

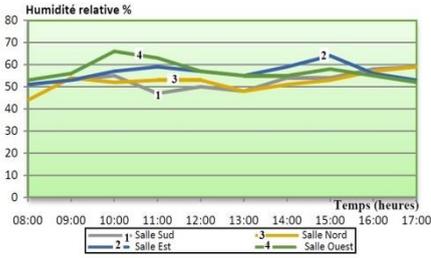


Fig. 11: Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à corridor central en hiver

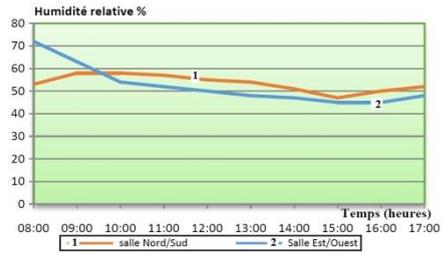


Fig. 12: Variation des humidités relatives intérieures de la typologie de plan à coursive en hiver

## 5.2 Etude qualitative objective

### 5.2.1 Evaluation des paramètres ambiants en été

#### a- Température

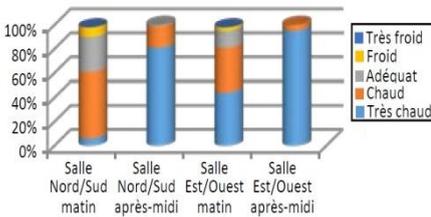


Fig. 13: Vote de sensation thermique dans la typologie de plan à coursive en été

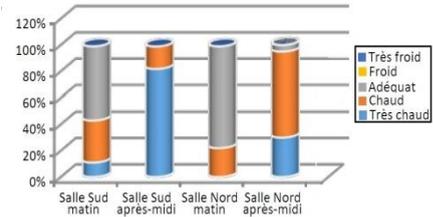


Fig. 14: Vote de sensation thermique dans les salles orientées au Nord et au Sud de la typologie de plan à corridor central en été

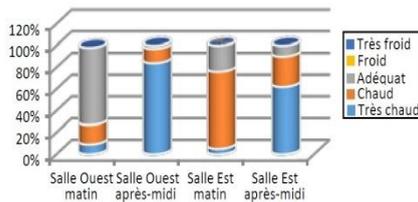


Fig. 15: Vote de sensation thermique dans les salles orientées à l'Est et à l'Ouest de la typologie de plan à corridor central en été

Dans la typologie de plan à coursive, la perception de la température pendant la matinée tend vers chaud (55%) pour la salle orientée Nord/Sud. Chaud, voire très chaud dans la salle orientée Est/Ouest. Pendant l'après-midi, la perception des élèves tend vers une ambiance très chaude pour les deux orientations. Dans la typologie de plan à corridor central, l'ambiance thermique pendant la matinée est appréciée pratiquement comme adéquate pour les trois salles Sud, Nord et Ouest.

Pendant l'après-midi, la perception des élèves tend vers une ambiance très chaude pour les salles orientées au Sud, à l'Est et à l'Ouest et chaude pour la salle orientée au Nord (65%).

On conclut 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.

**b- Humidité de l'air**

Les figures 16 et 17 représentent les votes de sensation de l'humidité de l'air par les occupants dans les deux typologies et pour les quatre orientations.

L'humidité de l'air est appréciée comme adéquate (69%) pendant la matinée. Quant à l'après-midi, les élèves estiment que l'air est très sec. Les perceptions négatives sont plus importantes dans les salles orientées à l'Ouest. Par ailleurs, quoique le taux d'humidité reste dans les limites de confort pendant l'après-midi, d'après la campagne de mesures, la perception négative de la température semble influencer la sensation de l'humidité par les occupants.

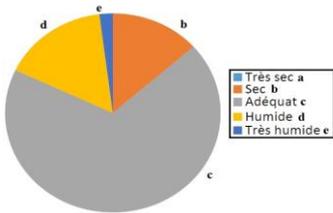


Fig. 16: Vote de sensation de l'humidité de l'air pendant la matinée

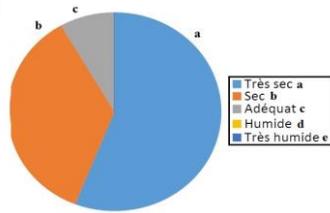


Fig. 17: Vote de sensation de l'humidité de l'air pendant l'après-midi

**c- Mouvement de l'air**

Dans la typologie de plan à coursive, la totalité des sujets interrogés ressentent la présence d'un mouvement d'air. Cela peut s'expliquer par sa double orientation qui favorise la circulation des courants d'air. Dans la typologie de plan à corridor central, les résultats montrent que 89 % des élèves sentent un mouvement de l'air quand les fenêtres ou les portes ou les deux sont ouvertes en même temps.

Quant aux préférences, 72 % des réponses sont en faveur d'un mouvement d'air désirable. En effet, la ventilation est un facteur de confort très recherché en été. Cela peut être à l'origine de l'ouverture de la porte et des fenêtres, par les élèves, pendant toute la journée de l'enquête.

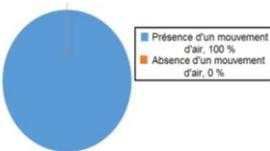


Fig. 18: Présence du mouvement de l'air dans la typologie de plan à coursive

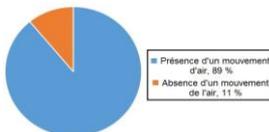


Fig. 19: Présence du mouvement de l'air dans la typologie de plan à corridor central

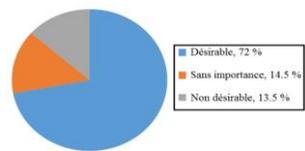


Fig. 20: Préférences du mouvement de l'air dans les deux typologies en été

**d- Evaluation du confort thermique**

Dans la typologie de plan à coursive, les élèves situent l'ambiance thermique entre légèrement confortable et inconfortable pendant la matinée. L'état d'inconfort est accentué pendant l'après-midi, notamment dans la salle orientée Est/Ouest avec 70 % pour une ambiance inconfortable et 25 % pour très inconfortable.

Dans la typologie de plan à corridor central, les élèves situent l’ambiance thermique entre confortable et légèrement confortable pendant la matinée. En revanche, les salles orientées au Nord, Sud et Est sont inconfortables pendant l’après-midi et celle orientée à l’Ouest est très inconfortable.

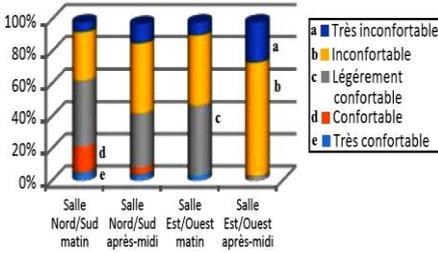


Fig. 21: Evaluation du confort thermique dans la typologie de plan à coursive en été

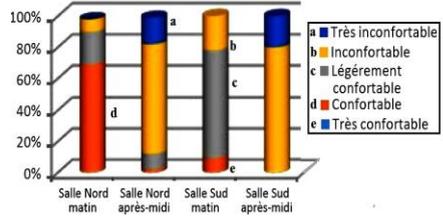


Fig. 22: Evaluation du confort thermique dans les salles orientées au nord et au sud de la typologie de plan à corridor central en été

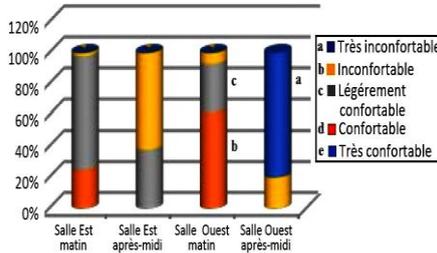


Fig. 23: Evaluation du confort thermique dans les salles orientées à l’est et à l’ouest de la typologie de plan à corridor central en été

**e- Facteurs d’inconfort et l’amélioration de l’ambiance thermique**

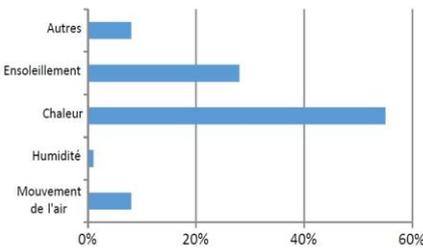


Fig. 24: Les facteurs d’inconfort thermique en été

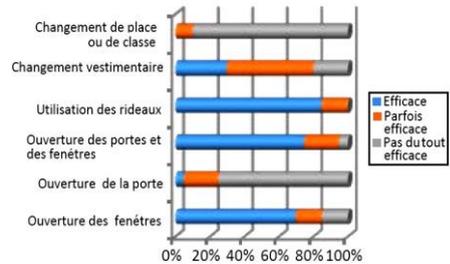


Fig. 25: Efficacité des comportements d’adaptation pour améliorer l’ambiance thermique

En été, les facteurs d’inconfort thermique, tels que classés par les élèves, sont respectivement la chaleur pour 55 %, suivie par l’ensoleillement pour 28 % et l’absence d’un mouvement de l’air pour 8 %. Ces résultats confirment l’état de l’insatisfaction des élèves vis-à-vis du paramètre de la température évalué plus haut.

Pour améliorer leur confort thermique, les occupants jugent que les comportements les plus efficaces sont l’utilisation des rideaux ainsi que l’ouverture des portes et des

fenêtres en même temps. La protection contre le rayonnement solaire et la création des courants d'air représentent donc des alternatives très importantes pour assurer le confort. Le changement vestimentaire n'est que parfois efficace. En outre, l'ouverture des portes uniquement ainsi que le changement de place ne sont pas de tout efficaces.

**5.2.2 Evaluation des paramètres ambiants en hiver**

Durant la période hivernale, l'enquête ne s'est effectuée que dans la typologie de plan à corridor central dont le nombre et les caractéristiques de l'échantillon sont les mêmes que pendant la période estivale.

**a- Température**

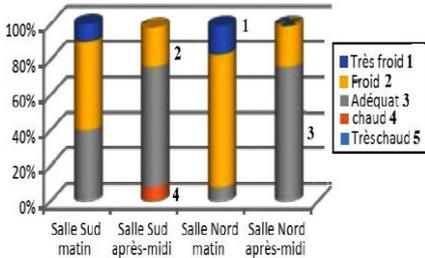


Fig. 26: Vote de sensation thermique dans les salles orientées Nord et Sud de la typologie de plan à corridor central en hiver

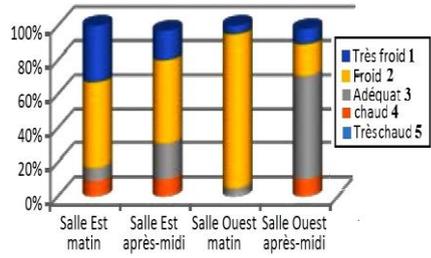


Fig. 27: Vote de sensation thermique dans les salles orientées à l'Est et à l'Ouest de la typologie de plan à corridor central en hiver

L'ambiance thermique est qualifiée de froide dans les salles orientées au Sud, Est et Ouest; très froide dans la salle orientée au Nord (75%). Pendant l'après-midi, l'ambiance thermique est pratiquement adéquate pour les salles orientées au Sud (68%) et à l'Ouest (61%), tandis qu'elle reste froide dans les salles orientées aux Nord et à l'Est.

**b- Humidité de l'air**

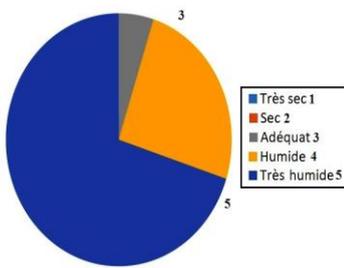


Fig. 28: Evaluation de l'humidité de l'air pendant la matinée

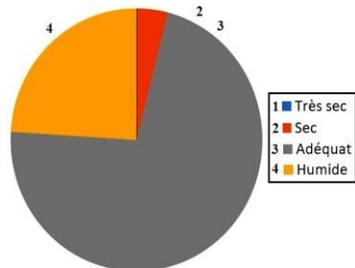


Fig. 29: Evaluation de l'humidité de l'air pendant l'après-midi

L'air est perçu comme étant très humide pour 70 % des élèves pendant la matinée, tandis qu'il est perçu adéquat (72%) pendant l'après-midi. Cela rejoint les résultats de la campagne de mesures où les valeurs de l'humidité sont dans la plupart des cas plus élevées pendant la matinée.

**c- Mouvement de l'air**

La quasi-totalité des élèves (91 %) n'ouvrent pas les portes ou les fenêtres en hiver.

Cela peut être dû à l'intention de se protéger des conditions climatiques extérieures. En revanche, durant l'enquête, nous avons remarqué qu'il y avait quelques fenêtres ouvertes. La présence du courant d'air est jugée indésirable (95 %) pour les quelques personnes qui, les ouvrent rarement.

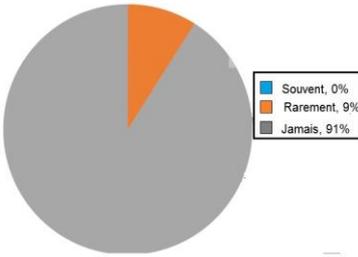


Fig. 30: Fréquence d'ouverture des fenêtres en hiver

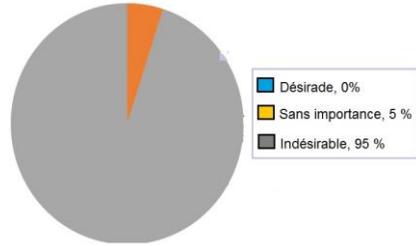


Fig. 31: Préférences du mouvement d'air

**d- Evaluation du confort et les facteurs d'inconfort thermique**

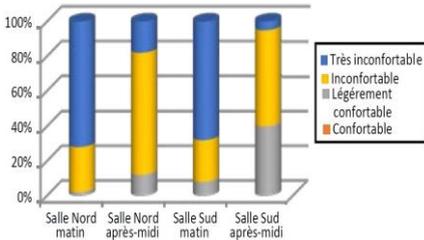


Fig. 32: Evaluation du confort thermique dans les salles orientées au Nord et au Sud de la typologie de plan à corridor central en hiver

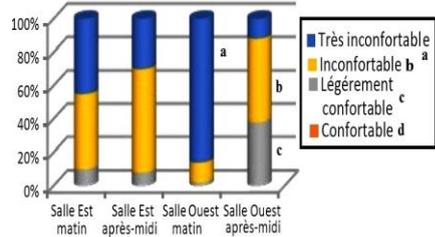


Fig. 33: Evaluation du confort thermique dans les salles orientées à l'Est et à l'Ouest de la typologie de plan à corridor central en hiver

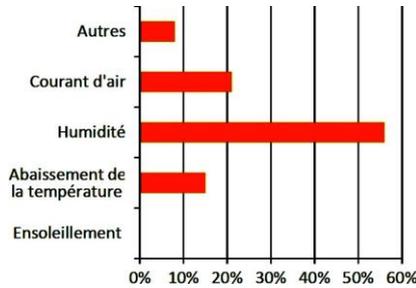


Fig. 34: Facteurs d'inconfort thermique

Pendant la matinée, l'ambiance thermique est globalement évaluée comme inconfortable pour les salles orientées Nord, Sud et Ouest; très inconfortable pour la salle orientée au Nord. Pendant l'après-midi, l'ambiance thermique est aperçue comme inconfortable pour les salles à orientations Nord et Sud et varie entre inconfortable et légèrement confortable pour les salles à orientations Sud et Ouest.

On retient de cette section que l'ambiance thermique est négativement perçue pendant la matinée dans les quatre orientations. En revanche, elle est mieux estimée,

quoiqu'elle n'atteigne pas l'appréciation du confort pendant l'après-midi, notamment dans les salles orientées au Sud et à l'Ouest.

L'humidité relative de l'air est citée comme étant le premier facteur d'inconfort thermique bien que d'après la campagne de mesures elle est située dans la zone du confort. Cela peut être expliqué par le fait que les élèves ne trouvent pas des actions d'adaptation pour l'atténuer contrairement aux autres paramètres. L'abaissement des températures ainsi que les courants d'air sont également des facteurs d'inconfort thermique d'hiver cités par les enquêtés.

### 5.3 Etude bioclimatique

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

- Confirmer ou infirmer les résultats des enquêtes effectuées par l'évaluation poste occupationnelle;
- Apporter des éléments de réponse et 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 de 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. La projection des données météorologiques de la ville de Tizi-Ouzou sur le diagramme bioclimatique a permis de déterminer trois zones :

- 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.

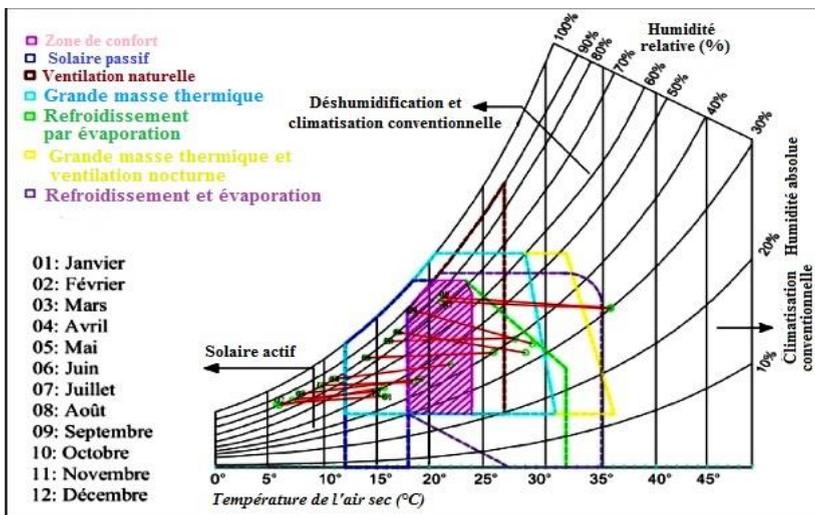


Fig. 35: Diagramme bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou

(Source: *Logiciel Ecotect Analysis 2011*)

L'application des tables de Mahoney, elle 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**.

**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                   |
|---|---|---|--|
| bâtiment scolaire                             |   |   |  |
| Coefficient de forme                          | 0.54                                      | 0.34 ; 0.15   | Faible   |
| salles de cours                               |   |   |  |
| Orientations                                  | Nord/Sud ; Est/Ouest                      | Nord ; Sud ; Est ; Ouest                                | Sud ; Nord                                       |
| Surface                                       | 58.05 m <sup>2</sup>                      | 56.04 m <sup>2</sup> ; 63.08 m <sup>2</sup>             | 60 m <sup>2</sup> à 62 m <sup>2</sup>            |
| Volume  | 185.76 m <sup>3</sup>                     | 180.50 m <sup>3</sup> ; 205.00 m <sup>3</sup>           | /  |
| Ratio surface/élève                           | 1.81 m <sup>2</sup> à 2.23 m <sup>2</sup> | 2.24 à 1.86 m <sup>2</sup> ; 2.25 à 1.97 m <sup>2</sup> | 1.40 à 1.50 m <sup>2</sup>                       |
| 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).                       | À forte inertie thermique (8heures de déphasage) |
| Matériaux de construction des parois vitrées  | Simple vitrage                            | Simple vitrage  | /  |

### 5.3.1 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:

#### ■ 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*; dans la zone climatique étudiée, on suggère une enveloppe à forte inertie thermique. Dans les bâtiments scolaires, l'inertie est faible ajoutée à cela que les parois ne disposent pas d'isolation thermique.
3. *L'absence des protections solaires extérieures*; les protections solaires dans les salles de cours se résument en simples rideaux intérieurs, cela conjugué au simple vitrage des fenêtres 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. *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'accroître les échanges de chaleur indésirable 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. *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.

### 5.3.2 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 carence. 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.

## 6. CONCLUSION

Au terme de cet article, il est à conclure que la problématique du confort thermique dans le bâtiment scolaire en Algérie est l'œuvre d'une conception architecturale non soucieuse du climat. Les résultats de l'investigation font ressortir que les deux typologies d'architectures étudiées présentent des carences en matière de confort thermique durant les deux périodes, hivernale et estivale, à l'exception des deux premières heures de la matinée en été et les deux dernières de l'après-midi en hiver.

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 dans la conception, notamment de la typologie de plan à coursive, sont recensées. Cela a confirmé les résultats des enquêtes menées et a porté 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 qu'elle se caractérise par une conception plus compacte et moins ouverte que la typologie de plan à coursive.

## REFERENCES

- [1] V.A.C. Da Graça, D.C.C.K. Kowaltowski and J.R.D. Petreche, '*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, Vol. 42, N°2, pp. 984 - 999, 2007.
- [2] E.E. Montenegro, '*Impact de la Configuration Des Bâtiments Scolaires Sur Leur Performance Lumineuse, Thermique Et Energétique* ». Thèse de Doctorat, Faculté d'Aménagement, d'Architecture et des Arts Visuels, Université de Laval, Canada, 2011.
- [3] ASHRAE Standard 55. '*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*', Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, 2004.
- [4] A. Dimoudi and P. Kostarela, '*Energy Monitoring and Conservation Potential in School Buildings in the C' Climatic Zone of Greece*', Renewable Energy, Vol. 34, N°1, pp. 289 - 296, 2009.

- [5] Z.S. Zomorodian and F. Nasrollahi, '*Architectural Design Optimization of School Buildings for Reduction of Energy Demand in Hot and Dry Climates of Iran*', International Journal of Architectural Engineering and Urban Planning', Vol. 23, N°1-2, 2013.
- [6] F. Arhab, B. Djebri, et H. Saidi, '*Evaluation du Confort Thermique dans les Etablissements Scolaires, Evaluation Poste Occupationnelle des Ambiances Thermiques dans les Salles de Cours*', Editions Universitaires Européennes, 2015.
- [7] F. Arhab-Saidi, B. Djebri and H. Saidi, '*Evaluation of the Thermal Comfort Inclassrooms*', International Journal of Natural Science, Vol. 7, N°5, 2015.
- [8] W. Koppen and R. Geiger, '*Handbuch der Klimatologie*', Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1930.
- [9] Rapport Technique, '*Recommandations Architecturales*', Ed. ENAG, Ministère de l'Habitat, 1993, Alger.
- [10] Rapport Technique, '*Document Météorologie de Tizi-Ouzou*', Office National de la Météorologie, Tizi-Ouzou, 2014.
- [11] B. Djebri, L. Derradji, F. Boudali Errabia, M Amara et Y. Maoudj, '*Etude expérimentale du Comportement Thermique d'une Maison Rurale à Faible Consommation d'Energie*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 18, N°4, pp. 657 – 666, 2015.
- [12] EN ISO 7726, '*Ergonomics of the Thermal Environment Instruments for Measuring Physical Quantities*', International Standardisation Organisation, Geneva, 2001.
- [13] S. Semahi et B. Djebri, '*La Conception des Logements à Haute Performance Energétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un Outil d'aide à la Conception dans les Zones Arides et Semi-Arides*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 16, N°3, pp. 551 - 568, 2013.