

# ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE L'IMPACT DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE DE L'AIR SUR LE NIVEAU DU CONFORT THERMIQUE DES OCCUPANTS

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE AMBIENT AIR TEMPERATURE IMPACT ON THE THERMAL COMFORT LEVEL OF OCCUPANTS

D. BERKOUK<sup>(1)</sup>, S. MAZOUZ<sup>(2)</sup>

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

<sup>(2)</sup>Département d'architecture, Université Larbi Ben Mhidi d'Oum el Bouaghi, Oum el Bouaghi 04000, Algérie

### RESUME

Ce papier étudie la relation entre l'environnement thermique et le comportement des habitants de la ville de Biskra. Afin de calculer la température moyenne de la peau, la température du noyau, la température du corps et du niveau métabolique des participants par rapport aux différents degrés de la température ambiante de l'air choisis dans une gamme comprise entre ( $16^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{air}} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ), plusieurs mesures sur des points bien précis du corps de chaque sujet ont été réalisées à l'aide de l'utilisation du Testo 480. À ce propos, dix participants de sexe masculin, de  $22.2 \pm 1.14$  an,  $70.2 \pm 4.55$  kg et de  $1.79 \pm 0.03$  m ont été considéré comme échantillon intentionnel pour cette étude. Les résultats obtenus montrent que la température ambiante de l'air a un grand impact sur le niveau du confort thermique (objectif et subjectif) des habitants, ainsi qu'il existe de très fortes corrélations entre les différentes variables corporelles des habitants de cette ville.

**MOTS CLES:** Température ambiante de l'air ; Confort thermique ; Sensation thermique ; Température de la peau ; Température du noyau.

### ABSTRACT

This paper studies the relationship between thermal environment and occupants behaviors of Biskra city. In order to calculate the average skin temperature, core temperature, body temperature and metabolic level of the participants in different ambient air temperature degrees, selected in a zone of ( $16^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{air}} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ), several measurements on specific points in the body of each subject realized by using the Testo 480. In this regard, ten male participants,  $22.2 \pm 1.14$  years,  $70.2 \pm 4.55$  kg and  $1.79 \pm 0.03$  m were considered as intentional samples for this study. The results obtained show that the air ambient temperature has a great impact on the thermal comfort level (objective and subjective) of the inhabitants, as there are very strong correlations between the different bodily variables of the occupants of this city.

**KEYWORDS:** Ambient air temperature; Thermal comfort; Thermal sensation; Skin temperature; Core temperature.

### 1 INTRODUCTION

Le confort thermique a été discuté depuis les années 1930 [1]. Conformément aux normes internationales [2], [3], les chercheurs ont généralement défini ce concept comme la condition de l'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique [4]–[6]. En effet, pour le corps humain, la peau peut être considérée comme le facteur principal de la sensation de la chaleur/froid. C'est pour cela que la température de la peau est devenue comme responsable majeur du niveau du confort de l'être humain. À ce sujet, plusieurs chercheurs dans le domaine du confort

thermique, ont étudié l'interaction entre l'homme et son environnement [7], c'est-à-dire la relation entre la peau de l'occupant et son environnement thermique, citant à titre d'exemple l'étude de Nielsen and Nielsen (1984) [8] qui ont vérifié l'influence de la distribution de la température de la peau sur la sensation thermique des occupants d'un environnement froid. Huizenga et al (2004) [9] ont étudié la réponse de la température de la peau et du noyau à l'échauffement et au refroidissement partiel et global du corps humain. Dans leur étude, Imessad and Messaoudène (2008) [7] proposent un modèle mathématique de prédiction de la sensation thermique et de la réponse

physiologique des êtres humains. De leur côté, Lan et al (2008) [10] ont achevé une investigation sur la différence de genre dans le confort thermique des Chinois. D'autre part, Kurazumi et al (2008) [11] ont réalisé une recherche sur les coefficients de transfert de chaleur radiatifs et convectifs du corps humain en convection naturelle. En 2010, Messaoudene et al [12] ont effectué une recherche afin de vérifier l'effet de la ventilation sur le confort thermique par l'utilisation des DTS-Application à une maison typique dans les conditions algériennes. Par ailleurs, Liu et al (2011) [13] ont mené des expérimentations afin d'étudier l'impact des conditions thermiques intérieures froides sur la réponse thermique de l'être humain. Pour leur part, Schellen et al (2012) [14] ont examiné l'influence des effets locaux sur la sensation thermique dans des conditions environnementales non uniformes. Dans la même perspective, Schlader et al (2013) [15] ont étudié la régulation de la température humaine lorsque l'occupant a la possibilité de se comporter. L'auteur, Maiti (2014) [16] considère que le modèle PMV est insuffisant pour capturer une réponse thermique subjective des Indiens. À leur tour, Jacquot et al (2014) [17] se sont intéressés de l'influence de la thermophysiologie sur le comportement thermique afin de vérifier les éléments essentiels de la catégorisation. Ji et al (2016) [18] ont réalisé une étude expérimentale du confort thermique sur l'armure corporelle résistante aux coups de poignard. Finalement, on peut citer l'étude de Veselý et al (2017) [19] qui ont proposé une approche comparative entre des appareils de chauffage et des modes de contrôle afin d'évaluer le comportement thermique des occupants.

En fait, une grande partie de notre recherche doctorale se consacre à l'évaluation du confort thermique dans les logements collectifs de la ville de Biskra. C'est pour cela que nous menons dans ce papier une expérimentation afin d'étudier l'interaction entre l'habitant de cette ville et l'environnement thermique de son logement, d'autre part nous étudions l'influence des paramètres environnementaux sur le corps de l'habitant et son niveau de satisfaction par rapport à ces paramètres. Sachant que la sensation thermique acceptable de l'occupant est liée fortement à l'équilibre thermique du corps qui se base sur l'interaction thermique correcte, entre l'occupant et l'environnement interne, à savoir que cette sensation dépend des facteurs environnementaux [20]. De cela, il est impératif de répondre dans cette étude aux deux questionnements suivants qu'on peut les décrire comme la facette de la problématique de ce papier :

- Comment la température ambiante de l'air interne influe-t-elle sur les variations des températures corporelles des occupants (température moyenne de la peau, température du noyau central et température du corps)? Et quelles sont les caractéristiques thermiques corporelles des habitants de la ville de Biskra ?
- Quel est le niveau de la température ambiante de l'air acceptable pour les habitants de cette ville ?

## 2 OBJECTIF DE LA RECHERCHE

L'objectif principal de ce papier consiste à l'étude de l'impact de la température ambiante de l'air intérieur sur le confort thermique des habitants des villes du sud de l'Algérie comme celui de la ville de Biskra qui se caractérise par un climat chaud et aride. En outre, il vise à vérifier le comportement thermique de la peau, du noyau et du corps de l'habitant, ainsi que nous avons procédé à la détermination du niveau de la sensation thermique en fonction de ce paramètre environnemental.

## 3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ET ENJEUX DE LA RECHERCHE

Dans la perspective de parvenir à l'objectif indiqué, une série de mesures de type instantané a été réalisée dans une salle de séjour d'un logement situé dans la ville de Biskra qu'on peut le décrire comme le laboratoire de cette recherche, Figure 1. Ces mesures ont été effectuées à l'aide de deux sondes numériques de l'appareil de mesure multifonctions : Testo 480 qui sont : i) la sonde de la température ambiante de l'air et ii) la sonde de la température ponctuelle. D'autre part, nous avons complété l'approche quantitative par une approche qualitative en utilisant un questionnaire afin de pouvoir évaluer la sensation thermique des participants. Sachant que l'expérimentation s'est déroulée pendant la période estivale de l'année 2016 (mois de juin), durant la durée étendue entre 11h et 17h, selon la disponibilité des sujets, d'où on les a pris séparément deux en deux.



Figure 01 : Laboratoire de la recherche (Salle de séjour)

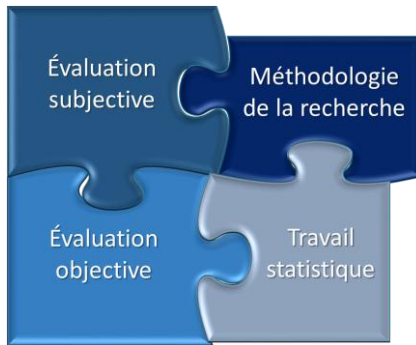


Figure 02 : Processus du travail

En effet, ce travail de recherche repose sur l'étude de la température moyenne de la peau des occupants de l'espace choisi, la température du noyau, la température du corps et leurs sensations comme indicateurs afin d'effectuer une évaluation objective et subjective de leurs comportements thermiques par rapport aux différents scénarios de la température ambiante de l'air intérieur.

Pour cela, on a pris les gammes suivantes : ( $\approx 16^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 18^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 21^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 24^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 27^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 30^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 32^{\circ}\text{C}$ ). La figure 2 illustre le processus de travail de ce papier. À ce propos, nous avons choisi le scénario d'occupation le plus réaliste pour les habitants de la ville de Biskra, sachant que:

- La résistance thermique des vêtements a été fixée à 1.5 clo avec un pourcentage de couverture corporelle qui atteint le 58%, où chaque participant était habillé d'un tee-shirt à manches courtes 0.09 clo qui couvre 40% de son corps et d'un short de 0.26 clo, avec une couverture corporelle qui arrive à 18% comme le montre la figure 3.
- L'énergie métabolique a été fixée théoriquement à 1 met, où les participants étaient en position assise et en état de repos [21] durant toute la durée de mesure, comme le montre la figure 3.

Il est à noter que l'expérimentation et l'application du questionnaire se sont étendues sur quatre étapes.

En une première étape, la température ambiante de l'air dans la salle de séjour a été fixée à l'aide de deux climatiseurs et un chauffage. À ce niveau, la température ambiante a été mesurée par l'utilisation de la sonde thermomètre de l'appareil « Testo 480 ».

Dans la deuxième étape, on a mesuré les degrés de température de plusieurs points de la peau de chaque participant par rapport aux différents scénarios de la température ambiante de l'air. Les mesures ont été effectuées à l'aide de la sonde de température ponctuelle de l'outil de mesure Testo 480, comme le présente la figure 3. En effet, les mesures sont faites au niveau de 18 points du corps de chaque participant afin de calculer la température moyenne de la peau, comme l'illustre la figure 4. Il est à noter que la durée de chaque mesure était environ de deux

(02) minutes afin que la courbe de la température soit stable à un seul chiffre (un seul degré), cette technique a été réalisée à l'aide de l'utilisation du logiciel EasyClimate© compatible avec le Testo 480.



Figure 03: Méthode du travail et outil principal de la recherche

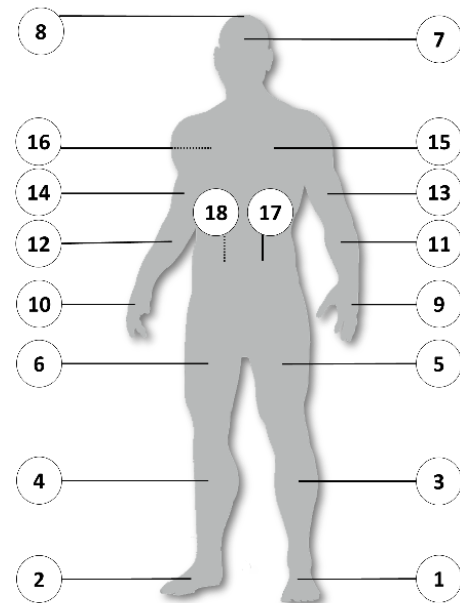


Figure 04: Points de mesures

Parallèlement à la deuxième étape, une enquête a été effectuée sur le niveau de sensation et d'acceptation des participants de chaque environnement thermique. Pour cela, on s'est basé dans notre questionnaire sur deux questionnements tels que présentés dans le tableau 1.

La troisième étape de cette campagne de mesures est semblable à la deuxième étape, elle consiste à mesurer la température orale des participants qui représente la température du noyau central [16]. Sachant que le point de mesure de la température orale se situe sous la langue de la bouche du sujet comme le montre la figure 5.

Tableau 01: Questionnements

Variables	Questionnements						
Sensation thermique	(A) Comment vous vous sentez par rapport à la température de cette salle ?						
	(+3) Très chaud	(+2) Chaud	(+1) Légèrement chaud	(0) Neutre	(-1) Légèrement froid	(-2) Froid	(-3) Très froid
Satisfaction	(B) Comment trouvez-vous l'environnement thermique de cette salle ?						
	Acceptable				Inacceptable		

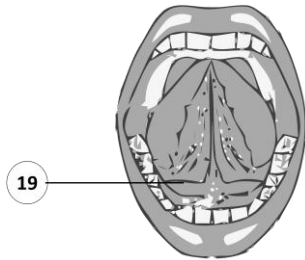


Figure 05: Point de mesure de la température du noyau

Dans la dernière étape, l'étude statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) et du logiciel Excel par l'utilisation de plusieurs équations afin de parvenir à l'objectif de cette recherche. Il est impératif de noter que la température moyenne de la peau a été calculée par l'utilisation de l'équation (1) élaborée par [22], l'équation (2) a été utilisée afin de calculé la température du corps [22], [23] et le calcul de l'énergie métabolique des participants a été réalisé en utilisant l'équation (3) [24], [25].

$$T_{\text{Peau}} = 0,07 \times T_{\text{Tête}} + 0,35 \times T_{\text{Tronc}} + 0,14 \times T_{\text{Bras}} + 0,05 \times T_{\text{Main}} + 0,19 \times T_{\text{Cuisse}} + 0,13 \times T_{\text{Jambe}} + 0,07 \times T_{\text{Pied}} \dots\dots\dots(\text{Eq.1})$$

Sachant que les températures régionales sont calculées comme suit [16] :

- $T_{\text{Tête}} = (T_7 + T_8) / 2$
- $T_{\text{Tronc}} = (T_{15} + T_{16} + T_{17} + T_{18}) / 4$
- $T_{\text{Bras}} = (T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14}) / 2$
- $T_{\text{Main}} = (T_9 + T_{10}) / 2$
- $T_{\text{Cuisse}} = (T_5 + T_6) / 2$
- $T_{\text{Jambe}} = (T_3 + T_4) / 2$
- $T_{\text{Tronc avant (Poitrine et abdos)}} = (T_{15} + T_{17}) / 2$
- $T_{\text{Dos}} = (T_{16} + T_{18}) / 2$
- $T_{\text{Pieds}} = (T_1 + T_2) / 2$

$$T_{\text{Corps}} = 0,7 \times T_{\text{Noyau}} + 0,3 \times T_{\text{Peau}} \dots\dots\dots(\text{Eq.2})$$

$$T_{\text{Peau}} = 35,7 - 0,0275 \times M \dots\dots\dots(\text{Eq.3})$$

**4 CARACTÉRISTIQUE DE L'ÉCHANTILLON**

Le contexte de cette étude se limite à la ville de Biskra. Par conséquent, l'habitant de cette ville est considéré comme

l'objet principal de ce papier, d'où on a opté pour un échantillon intentionnel de dix participants.

Le tableau 2 illustre l'homogénéité corporelle des participants par un indice de masse corporelle (IMC) qui touche le 21,98 kg/m2 et un écart type qui touche seulement le 1.71 kg/m2. Cela indique clairement que tous les participants ont une corpulence normale. L'IMC est calculé selon l'équation 4. Ils sont âgés de 22.2 ans en moyenne avec un écart type très bas de 1.14 an. Le poids et la taille moyenne de ces participants touchent respectivement le 70.2 kg et le 1.79 m avec des écarts types qui arrivent à 4.55 kg et 0.03 m.

$$IMC = Poids / Taille^2 \dots\dots\dots(\text{Eq.4})$$

**5 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

**5.1 Effet de la température de l'air sur la température de la peau, du noyau et du corps**

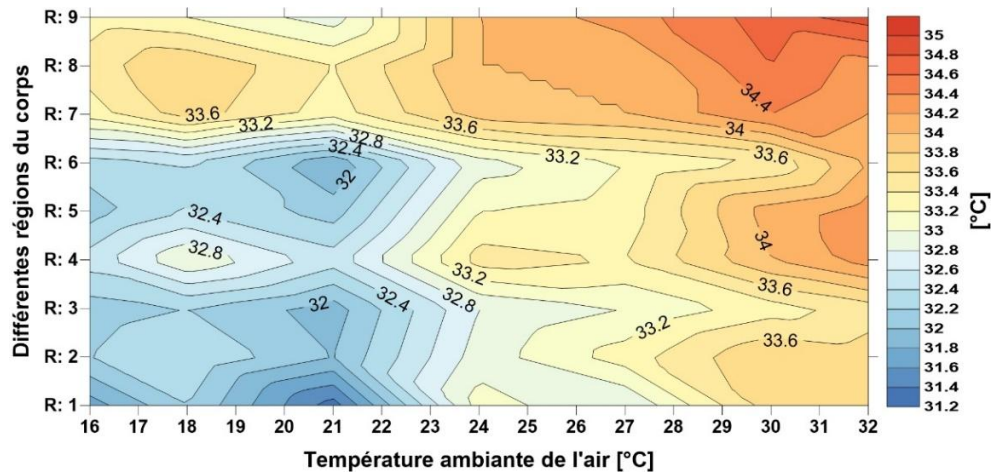
Par la lecture des températures régionales, nous constatons que la figure 6 présente une cartographie représentative des variations de la température régionale (local) de la peau en fonction de la température ambiante de l'air. Sachant que le (R :1), (R :2), (R :3), (R :4), (R :5), (R :6), (R :7), (R :8), (R :9) représentent respectivement : les régions des pieds, des jambes, des cuisses, des mains, des avant-bras, des biceps, du dos, de (la poitrine et l'abdos) et la région de la tête. Cette figure nous permet d'affirmer que plus la température ambiante de l'air augmente plus les températures régionales du corps augmentent à leur tour. Cette figure fait ressortir également que la région de la tête a une adaptation thermique locale plus faible que celle des autres régions du corps [26]. Il est à noter aussi que cette région est plus sensible à la chaleur par rapport aux autres régions [16], [27], où elle prend les valeurs maximales pendant tous les niveaux des environnements thermiques : TTête touche le 35.2°C lorsque la température de l'air arrive à 16°C, tandis qu'elle atteint le 33.1°C lorsque la température de l'air touche le 32°C. Par contre, la région des pieds prend des valeurs minimales par rapport aux autres régions, où la TPied prend le 31.5°C à 16°C et arrive à 33.8°C lorsque la température de l'air atteint le 32°C.

Par ailleurs, la cartographie thermique des participants soumis à l'expérimentation relève également que la variation entre les degrés des températures régionales de la peau diminue lorsque la température de l'air augmente, d'où l'écart type entre les différentes régions de la peau touche le 0.7°C lorsque la température ambiante de l'air

arrive à 16°C, tandis que la valeur de l'écart type diminue à 0.59 °C, lorsque la température de l'air augmente à 32°C.

**Tableau 02 : Caractéristiques corporelles de l'échantillon**

Participant (no.)	Sexe	Age [année]	Poids [kg]	Taille [m]	IMC [kg/m <sup>2</sup> ]
10	Masculin	22,2 ± 1,14	70,2 ± 4,59	1,79 ± 0,03	21,98 ± 1,71
Les valeurs sont présentées comme le suivant : moyenne ± écart type					
IMC c'est l'indice de masse corporelle					



**Figure 06: Température régionale de la peau en fonction de la température ambiante de l'air**

Le tableau (3) illustre les valeurs du coefficient de corrélation Pearson (R) entre les différentes variables étudiées : la température ambiante de l'air  $T_{air}$ , la température moyenne de la peau  $T_{peau}$ , la température du noyau central  $T_{noyau}$  et la température du corps  $T_{corps}$ . D'après ce tableau, on observe la présence d'une légère variation entre les valeurs enregistrées du coefficient de corrélation Pearson (R) entre les différents types de température avec un écart type très bas, qui ne dépasse pas la valeur 0.022, où, le coefficient de corrélation R atteint le 0.969 entre  $T_{air}$  et  $T_{peau}$ , le 0.972 entre  $T_{air}$  et  $T_{noyau}$ , le 0.989 entre  $T_{air}$  et  $T_{corps}$ , le 0.925 entre  $T_{peau}$  et  $T_{noyau}$ , le 0.978 entre  $T_{peau}$  et  $T_{corps}$  et le 0.984 entre  $T_{noyau}$  et  $T_{corps}$ . En fait, ces valeurs sont positives et très élevées, car elles sont très proches de la valeur 1, ainsi que les corrélations sont significatives au niveau 0.01 (bilatéral). Cela signifie clairement qu'il existe de très fortes corrélations entre les températures corporelles (la température moyenne de la peau, la température du noyau et la température du corps) et la température ambiante ainsi qu'entre les températures corporelles elles même, alors que plus la température de l'air est élevée dans la zone ( $15 < T_{air} < 32$ ) plus les températures moyennes de la peau, du noyau central et du corps sont élevées. Également, on peut affirmer que cette lecture est la même pour les corrélations entre les différentes températures corporelles.

La figure (7) présente les variations des températures corporelles en fonction de la température ambiante de l'air

sous format de nuage des points. D'après la lecture de cette figure, on observe en premier lieu qu'il existe des variations notables entre les degrés des différentes températures corporelles, où les degrés de la température de noyau sont plus élevés par rapport à celle du corps et de la peau, sachant que les degrés les plus bas et les plus divergents sont enregistrés pour la température moyenne de la peau. Par la lecture des variations des degrés de la température moyenne de la peau en fonction de la température ambiante de l'air, on trouve que la température moyenne de la peau la plus élevée est de 34.26°C lorsque la température ambiante de l'air atteint le 30°C, tandis que la plus basse arrive à 32.46 °C quand la température de l'air est de 16°C. La diminution de la température moyenne de la peau lorsque la température ambiante de l'air dépasse le 30°C est due au phénomène de la sudation qu'on peut décrire comme une réaction de protection physiologique intervenue par le corps contre l'augmentation énorme de la chaleur. En ce qui concerne les degrés de la température du corps et la température du noyau central, les valeurs minimales 34.87°C et 35.9°C ont été enregistrés respectivement quand la température de l'air touche le 16°C, lorsque la température ambiante de l'air atteint le 32°C, les degrés maximaux de la température du corps et de la température de noyau ont arrivés à 36.13°C et 37°C, respectivement. En outre, ces variations du niveau de la température du noyau et de la température du corps en fonction de la température de l'air sont moins importantes que celle de la température moyenne de la peau.

**Tableau 03 : Matrix de corrélation de Pearson entre la température ambiante de l'air, la température moyenne de la peau, la température du noyau et la température du corps**

	Température ambiante de l'air	Température moyenne de la peau	Température oral (noyau central)	Température du corps
Température ambiante de l'air	1	0,969**	0,972**	0,989**
Température moyenne de la peau	0,969**	1	0,925**	0,978**
Température oral	0,972**	0,925**	1	0,984**
Température du corps	0,989**	0,978**	0,984**	1

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral)

À ce sujet, la légère variation des degrés de la température du noyau central affirme que l'être humain est peut-être considéré comme un endotherme [28], homéotherme [29]. En effet, l'être humain se caractérise par une température centrale presque stable, qui se situe normalement proche de 37°C [7], avec un degré moyen de 36,36°C enregistré dans la présente étude et un écart type très bas qui touche seulement le 0.39°C malgré la grande variation du degré de la température ambiante de l'air de 16°C à 32°C.

Également, la figure (7) fait ressortir les équations (5), (6), et (7) des courbes de tendances, c'elle ci nous permettent de calculer et d'estimer la température moyenne de la peau de l'habitant de Biskra (y de l'équation 5), la température du noyau central (y de l'équation 6) et la température du corps (y de l'équation 7) pour une certaine condition de la température ambiante de l'air (x) située dans la gamme suivante : (16 ≤ T<sub>air</sub> ≤ 32).

Lorsque :  $y = 0,1228x + 30,371$ .....(Eq.5)

Donc :  $T_{Peau\ des\ Biskris} = 0,1228 \times T_{air} + 30,371$ .....(Eq.5)

Lorsque :  $y = 0,0639x + 34,822$ .....(Eq.6)

Donc :  $T_{Noyau\ des\ Biskris} = 0,0639 \times T_{air} + 34,822$ .....(Eq.6)

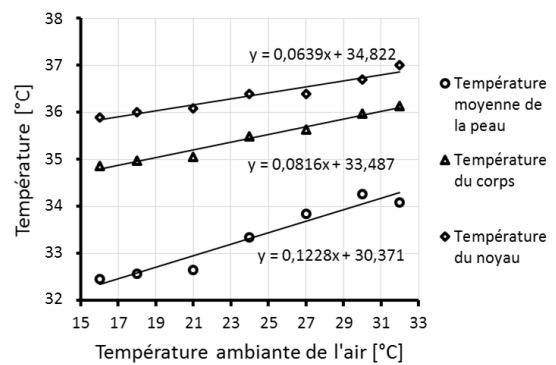
Lorsque :  $y = 0,0816x + 33,487$ .....(Eq.7)

Donc :  $T_{Corps\ des\ Biskris} = 0,0816 \times T_{air} + 33,487$ .....(Eq.7)

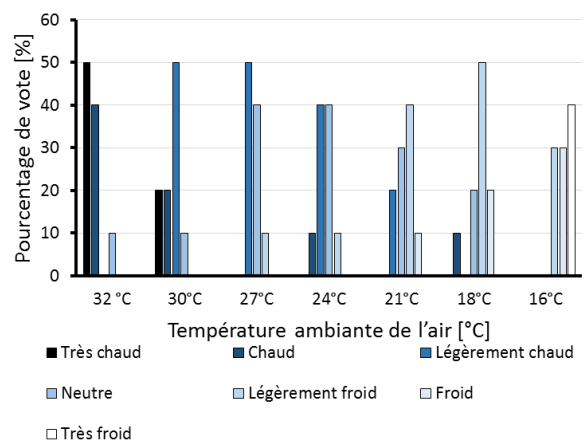
**5.2 Effet de la température de l'air sur l'énergie métabolique**

Bien que les participants sont en position assise et en état de repos durant toute la durée de l'expérimentation, c'est-à-dire que le niveau métabolique est égal théoriquement à 1 met. On constate que les données du tableau 4 indiquent une légère augmentation de l'énergie métabolique des participants de 1.01 met (Activité : assis, au repos [31]) lorsque T<sub>air</sub> = 16°C à 2.03 met (Activité : léger travail à la maison [31]) lorsque T<sub>air</sub> = 32°C. Cela explique clairement

que la température ambiante de l'air a un impact évidant sur l'énergie métabolique des occupants, conséquence du changement des températures corporelles comme on a vus précédemment, ainsi que du niveau des sensations thermiques.



**Figure 07 : Corrélations entre la température de l'air et les différentes températures corporelles (température moyenne de la peau, température du noyau et température du corps)**



**Figure 08 : Pourcentage de vote actuel des participants par rapport à leurs sensations envers leur environnement thermique**

**Tableau 04 : Variation de l'énergie métabolique en fonction de la température ambiante de l'air**

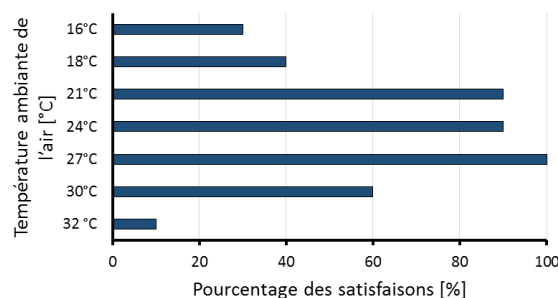
Température ambiante de l'air [°C]	Métabolisme fixé théoriquement [met]	Énergie métabolique calculée [W/m <sup>2</sup> ]	Métabolisme calculé [met]
16	1	58,45	1,01
18	1	52,43	0,90
21	1	67,21	1,16
24	1	85,51	1,47
27	1	110,71	1,90
30	1	113,87	1,96
32	1	117,79	2,03
1 met = 58,15 W/m <sup>2</sup> [30]			

### 5.3 Effet de la température de l'air sur la sensation thermique

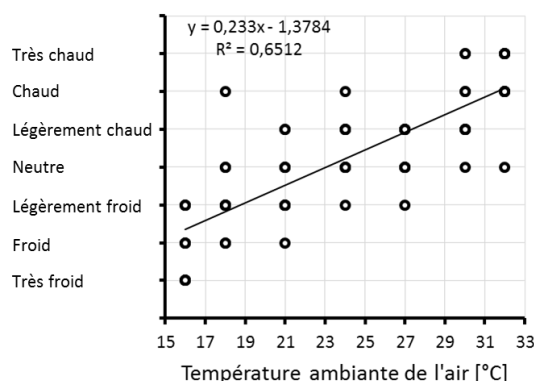
Le confort thermique est un aspect essentiel qui indique la satisfaction des occupants envers leur environnement [14]. Concernant la température ambiante de l'air, ainsi que dans le but de proposer une gamme de la zone confortable des habitants de la ville de Biskra, on s'est basé sur la définition du confort thermique présentée par Nematchoua and al (2014) [32] afin de bien interpréter les résultats obtenus dans la présente recherche, où ils attestent que : « *le confort thermique est défini comme la situation dans laquelle une personne ne sent ni froid ni chaud dans une atmosphère donnée* ». La figure 8 présente les pourcentages du vote actuel des participants par rapport à la température ambiante de l'air. À la base des pourcentages de vote indiqués dans cette figure, nous constatons que 90% des participants ont été dans un état d'inconfort dû au chaud (très chaud, chaud), où 50% de ces participants sentent qu'il faisait très chaud et 40% entre eux ont répondu qu'il faisait chaud lorsque la température de l'air atteint le 32°C. Également, 40% des participants ont été dans cette zone d'inconfort lorsque la température de l'air a baissée à 30°C, et 50% d'entre eux ont affirmé qu'ils se sentent légèrement chaud. Par ailleurs, le pourcentage des participants qui étaient dans un état confortable (légèrement chaud, neutre, légèrement froid) était de 60% au 30°C, de 100% au 27°C, de 90% au 24°C, de 80% au 21°C et de 90% au 18°C. D'autre part, on observe que 70% des participants ont été dans un état d'inconfort dû au froid (très froid, froid) lorsque la température ambiante de l'air a été fixée à 16°C, où 40% des participants se sentaient très froid et 30% d'entre eux ont eu une sensation qu'il faisait froid.

En outre, la figure 9 relève que les degrés de la température acceptable pour les participants sont situés entre 21°C et 27°C, où les pourcentages des participants satisfaits atteignent 90% par rapport aux environnements qui se caractérisent par des degrés de température entre 21°C et le 24°C, ainsi qu'ils atteignent le 100% à 27°C. D'autre part, on observe que 60% des participants étaient satisfaits lorsque la température est arrivée à 30°C et le 40% satisfaisait dans l'environnement thermique qui se caractérise par un degré de température de l'air proche de 18°C. De cela, on peut déduire que la zone confortable des habitants de la ville de Biskra d'après les résultats obtenus se situe dans la zone (18<T<sub>air</sub><30) [33], [34].

Par ailleurs, la figure 10 fait ressortir qu'il existe une très forte corrélation entre le niveau de la sensation thermique et la température ambiante de l'air avec un coefficient de corrélation qui touche le 0.807, cela veut dire que plus les degrés de température augmentent plus la sensation thermique augmente du très froid au très chaud. Également, la courbe de tendance de cette figure présente l'équation 8 qui nous permet d'estimer le niveau de la sensation thermique de l'habitant de la ville de Biskra (y) envers n'importe quel degré de température de l'air (x) situé dans la gamme suivante : (16≤T<sub>air</sub>≤32). Sachant que les niveaux de la sensation thermique se situent entre la valeur 1 (très froid) et la valeur 7 (très chaud).



**Figure 09 : Variations du pourcentage de satisfaction en fonction de la température de l'air**



**Figure 10 : Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température ambiante de l'air**

Lorsque :  $y = 0,233 x - 1,3784$ .....(Eq.8)

Donc : Niveau de la sensation thermique d'un Biskri =  $0,233 \times T_{air} - 1,3784$ .....(Eq.8)

### 5.4 Corrélations entre la sensation thermique et les températures corporelles

La figure 11 illustre les variations du niveau de la sensation thermique des participants en fonction de la température moyenne de leur peau. D'après cette figure nous constatons qu'il existe une forte corrélation entre ces deux variables, où le R touche la valeur 0.753. Cela indique que plus la température moyenne de la peau augmente plus le niveau de la sensation thermique augmente parallèlement du niveau très froid au niveau très chaud. À cette optique, cette figure présente l'équation (9) de la courbe de tendance, rappelons que le (y) représente le niveau de la sensation thermique des habitants de la ville de Biskra, tandis que le (x) présente la température moyenne de leurs peaux en (°C).

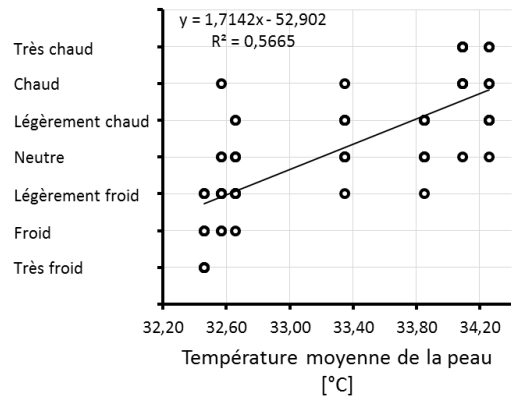


Figure 11 : Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température moyenne de la peau

Également, de très fortes corrélations ont été enregistrées respectivement entre le niveau de la sensation thermique des participants et les températures du noyau d'une part, et avec la température du corps d'autre part, comme le montrent les figures 12 et 13. Les interprétations de ces deux figures sont toutefois semblables à celle de la précédente, où le R entre le niveau de la sensation thermique et la température du noyau arrive à la valeur 0.809, figure 12. Par ailleurs, il atteint le 0.779 entre le niveau de la sensation et la température du corps, figure 13. Ces figures représentent également les équations (10) et (11) des courbes de tendances. Sachant que (y) représente le niveau de la sensation thermique des habitants Biskra pour les deux équations, tandis que la valeur (x) représente la température du noyau en (°C) pour l'équation (10), et la température du corps pour l'équation (11).

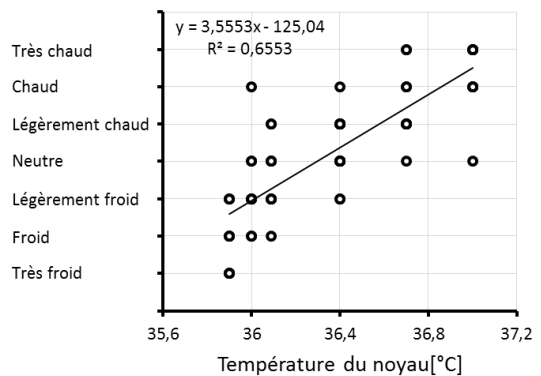


Figure 12 : Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température du noyau

Lorsque :  $y = 1,7142 x - 52,902$ .....(Eq.9)

Donc : Niveau de la sensation thermique d'un Biskri =  $1,7142 \times T_{Peau} - 52,902$ .....(Eq.9)

Lorsque :  $y = 3,5553 x - 125,04$ .....(Eq.10)

Donc : Niveau de la sensation thermique d'un Biskri =  $3,5553 \times T_{Noyau} - 125,04$ .....(Eq.10)

Lorsque :  $y = 2,7964 x - 94,905$ .....(Eq.11)

Donc : Niveau de la sensation thermique d'un Biskri =  $2,7964 \times T_{Corps} - 94,905$ .....(Eq.11)

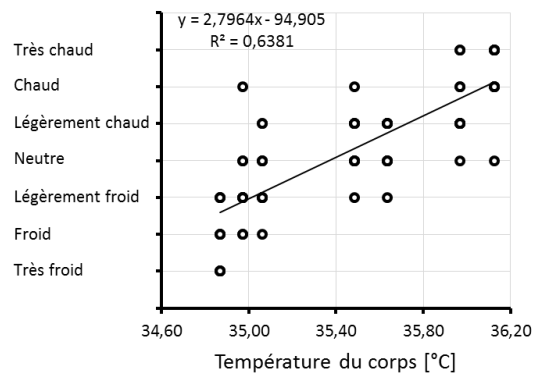


Figure 13 : Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température du corps

## 6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce papier montre que la température ambiante de l'air a un grand impact sur le niveau du confort thermique des habitants de la ville de Biskra. En outre, cette étude démontre qu'il existe de fortes corrélations entre les températures corporelles des habitants du cas d'étude (température moyenne de la peau, température du noyau et la température du corps), le niveau de la sensation thermique et la température ambiante de l'air de l'espace



architectural, notamment dans les milieux résidentiels.

Également, cette recherche fait ressortir que par l'utilisation des équations élaborées, on peut arriver à faire une estimation sur la température moyenne de la peau des habitants de la ville de Biskra (Eq.5 et Eq.9), la température de leur noyau (Eq.6 et Eq.10), la température de leur corps (Eq.7 et Eq.11) et même sur leurs niveaux de sensation (Eq.8, Eq.9, Eq.10 et Eq.11) par rapport à une température ambiante de l'air située dans la zone ( $16^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{air}} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ).

Finalement, on peut déduire que les résultats obtenus dans cette étude ouvrent d'autres perspectives de recherche notamment l'effet de la température de l'air sur le comportement thermique des habitants de la ville de Biskra par rapport à l'âge et au genre, que nous essayerons d'entamer dans un futur proche.

## REFERENCES

- [1] Taleghani, Mohammad, Martin Tenpierik, Stanley Kurvers, and Andy van den Dobbelsteen. 2013. "A Review into Thermal Comfort in Buildings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26:201–15.
- [2] ISO7730. 1994. *Moderate Thermal Environments. Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*. Berlin.
- [3] ASHRAE55. 1992: *An American Standard: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating refrigerationg and air conditioning engineers.
- [4] Fanger, Povl Ove. 1973. "Assessment of Man's Thermal Comfort in Practice." *British journal of industrial medicine* 30(4):313–24.
- [5] Hensen, J. L. M. 1990. "Literature Review on Thermal Comfort in Transient Conditions." *Building and Environment* 25(4):309–16.
- [6] Castilla, del Mar María, José Domingo Álvarez, Francisco Rodríguez, and Manuel Berenguel. 2014. *Comfort Control in Buildings*. Springer.
- [7] Imessad, K. and N. Aït Messaoudène. 2008. "Modèle Mathématique de Prédiction de La Sensation Thermique et de La Réponse Physiologique Chez L'être Humain." *Revue des Energies Renouvelables* 11(4):545–56.
- [8] Nielsen, Ruth and Bodil Nielsen. 1984. "Influence of Skin Temperature Distribution on Thermal Sensation in a Cool Environment." *European Journal of Applied physiology and occupational physiology* 53(3):225–30.
- [9] Huizenga, Charlie, Hui Zhang, Edward Arens, and Danni Wang. 2004. "Skin and Core Temperature Response to Partial-and Whole-Body Heating and Cooling." *Journal of Thermal Biology* 29(7):549–58.
- [10] Lan, Li, Zhiwei Lian, Weiwei Liu, and Yuanmou Liu. 2008. "Investigation of Gender Difference in Thermal Comfort for Chinese People." *European Journal of Applied Physiology* 102(4):471–80.
- [11] Kurazumi, Yoshihito et al. 2008. "Radiative and Convective Heat Transfer Coefficients of the Human Body in Natural Convection." *Building and Environment* 43(12):2142–53.
- [12] Messaoudene, N. Ait, K. Imessad, and M. Belhame. 2010. "Effect of Ventilation on Thermal Comfort Measured by DTS-Application to a Typical Home in Algerian Conditions." *Renewable Energy* 35(3):629–36.
- [13] Liu, Hong, Qing Tan, Bai-zhan Li, Mei-lan Tan, and Xiao-lei Ma. 2011. "Impact of Cold Indoor Thermal Environmental Conditions on Human Thermal Response." *Journal of Central South University of Technology* 18:1285–92.
- [14] Schellen, L., M. G. L. C. Loomans, M. H. de Wit, B. W. Olesen, and W. D. Van Marken Lichtenbelt. 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 and Behavior* 107(2):252–61.
- [15] Schlader, Zachary J. et al. 2013. "Human Temperature Regulation When given the Opportunity to Behave." *European journal of applied physiology* 113(5):1291–1301.
- [16] Maiti, Rina. 2014. "PMV Model Is Insufficient to Capture Subjective Thermal Response from Indians." *International Journal of Industrial Ergonomics* 44(3):349–61.
- [17] Jacquot, Christel M. C., Lisje Schellen, Boris R. Kingma, Marleen A. van Baak, and Wouter D. van Marken Lichtenbelt. 2014. "Influence of Thermophysiology on Thermal Behavior: The Essentials of Categorization." *Physiology & behavior* 128:180–87.
- [18] Ji, Tingchao, Xinming Qian, Mengqi Yuan, and Jinhui Jiang. 2016. "Experimental Study of Thermal Comfort on Stab Resistant Body Armor." *SpringerPlus* 5(1):1168.
- [19] Veselý, Michal, Paul Molenaar, Marissa Vos, Rongling Li, and Wim Zeiler. 2017. "Personalized heating-Comparison of Heaters and Control Modes." *Building and Environment* 112:223–32.
- [20] Sadafi, Nasibeh, Elias Salleh, Lim Chin Haw, and Zaky Jaafar. 2011. "Evaluating Thermal Effects of Internal Courtyard in a Tropical Terrace House by Computational Simulation." *Energy and Buildings* 43(4):887–93.
- [21] ISO9920. 1995. *Ergonomics of the Thermal Environment: Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble*. ISO.
- [22] Hardy, James D. and Eugene F. DuBois. 1938. "The Technic of Measuring Radiation and Convection." *Journal of Nutrition* 15:461–75.
- [23] Hardy, J. D. and J. A. Stolwijk. 1966. "Partitional Calorimetric Studies of Man during Exposures to Thermal Transients." *Journal of Applied Physiology* 21(6):1799–1806.
- [24] ISO.1993. "TR 11079 Evaluation of Cold

- Environments—Determination of Required Clothing Insulation (IREQ).” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [25] Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press.
- [26] Boutcher, Stephen H., Graeme J. Maw, and N. A. Taylor. 1995. “Forehead Skin Temperature and Thermal Sensation during Exercise in Cool and Thermoneutral Environments.” *Aviation, space, and environmental medicine* 66(11):1058–62.
- [27] Stevens, Joseph C., Lawrence E. Marks, and Donald C. Simonson. 1974. “Regional Sensitivity and Spatial Summation in the Warmth Sense.” *Physiology & Behavior* 13(6):825–36.
- [28] Savourey, Gustave, Jean Claude Launay, and Bruno Melin. 2003. “Physiopathologie et Prévention Des Troubles Liés à L’exposition à La Chaleur Ou Au Froid.” *Actualité et dossier en santé publique (ADSP)* 4–9.
- [29] Besancenot, Jean-Pierre. 1990. “L’organisme Humain Face à La Chaleur.” *Science et changements planétaires/Sécheresse* 1(1):30–35.
- [30] Olesen, Bjarne W. 1982. “Thermal Comfort.” *Technical review* 2:3–37.
- [31] Auliciems, Andris and Steven V Szokolay. 1997. “Thermal Comfort.” PLEA.
- [32] Nematchoua, Modeste Kameni, René Tchinda, and José A. Orosa. 2014. “Thermal Comfort and Energy Consumption in Modern versus Traditional Buildings in Cameroon: A Questionnaire-Based Statistical Study.” *Applied Energy* 114:687–99.
- [33] Berkouk, Djihed and Said Mazouz. 2017. “Numerical Study of the Horizontal Shading Devices Effect on the Thermal Performance of Promotional Apartments: Case of El-Alia-Biskra Étude Numérique de L’effet Des Dispositifs D’ombrage Horizontaux Sur La Performance Thermique Des Logements Promotionnels: Cas d’El-Alia-Biskra.” *J. Appl. Eng. Sci. Technol* 3(1):21–27.
- [34] Khoukhi, Maatouk and Naïma Fezzioui. 2012. “Thermal Comfort Design of Traditional Houses in Hot Dry Region of Algeria.” *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 3(1):5.