



MODELISATION NUMERIQUE DU CONFORT THERMIQUE POUR UN LOGEMENT EN ZONE SAHARIENNE

Dr. Oudrane A.^{1,*}, Pr. Aour B.²

¹Laboratoire de Développement Durable et Informatique (LDDI), Faculté des Sciences et Technologies, Université d' Adrar, code postal : 01000, (Algérie).

*Email : abdellatif.habadat@gmail.com et ben_aour@yahoo.fr

²Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), BP 1523 El Mnaour, ENPO-MA, 31000, Oran, (Algérie).

Reçu le: 29/06/2018

Accepté le : 02/06/2019

Résumé :-Ce travail, port sur la modélisation et l'analyse du confort thermique dans un logement individuel en zone saharienne. Pour aboutir à cet objectif, un modèle numérique a été élaboré afin de modéliser les transferts de chaleur. Les échanges de la chaleur entre les parois et les différents milieux qui l'entourent ont été modélisés en utilisant les bilans thermiques établis au niveau de chaque paroi du logement, et en tenant en compte des échanges thermiques par convection, conduction et rayonnement. Les systèmes des équations ont été discrétisées par une méthode implicite aux différences finies et résolus à l'aide de l'algorithme de Gauss. Une analyse numérique bien détaillée de certains paramètres influencent le confort thermique a été discutée. Les résultats obtenus ont montré que les conditions climatiques sévères de la zone en question et le matériau de construction présentent une valeur ajoutée dans l'inconfort thermique. D'un autre part, un calibrage avec des données climatiques mesurées récemment au niveau de l'unité de recherche en énergie renouvelable en milieu saharien d'ADRAR "URER'MS" a été fait avec une erreur de 38,89%.

Mots clés : —Zone saharienne; Conditions climatiques; Energie renouvelable; Échange thermique; Algorithme de Gauss; URER'MS.

Abstract : - This work focuses on modeling and parametric analysis of thermal comfort in an individual dwelling in the Saharan zone. To achieve this goal, a numerical model has been developed to model the heat transfer that takes place in housing. The exchange of heat between the housing walls and the different environments surrounding it were similarly modeled using the thermal balances established at each wall of the housing, and taking into account heat exchanges by convection, conduction and radiation. The equations systems of the have been discretized by an implicit method with finite differences and solved using the Gauss algorithm. A well detailed numerical analysis of certain parameters



influencing thermal comfort has been discussed. The results obtained showed that the severe climatic conditions of the area in question and the building material have an added value in thermal discomfort. On the other hand, a calibration with climatic data recently measured at the renewable energy research unit in the Saharan environment of ADRAR " URER'MS " was made with an error of 38.89%.

Keywords: -Saharan zone; Weather conditions; Renewable energy; Heat exchange; Gauss Algorithm; URER'MS.

Nomenclatures

α_i	Coefficient d'absorption de la matière	-	h_{c1}	Coefficient d'échange convectif entre la paroi (1) et l'air ambiant interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$
α_b	Coefficient d'absorption du béton	-	h_{c2}	Coefficient d'échange convectif entre la paroi (2) et l'air ambiant interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$
λ_b	Conductivité thermique	$W.m^{-1}.K^{-1}$	m_{PS}	Masse de la paroi Sud	Kg
η_{50}	Taux horaire de renouvellement d'air.	h^{-1}	m	Masse de la matière	Kg
μ_{air}	Viscosité dynamique de l'air.	$Kg.m^{-1}.S^{-1}$	m_{air}	Masse de l'air	Kg
ζ	Coefficient d'exposition au vent du local chauffé.	-	m_{PN}	Masse de la paroi Nord	Kg
ρ_i	Masse volumique (i)	$Kg.m^{-3}$	m_{PS}	Masse de la paroi Sud	Kg
Cp_{PS}	Chaleur spécifique de la paroi Sud	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$	$Q_{absorbées}$	Quantités de la chaleur absorbées	W
Cp_{air}	Chaleur spécifique de l'air	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$	$Q_{flux\ solaire}$	Densité du flux solaire	$W.m^{-2}$
Cp_i	Chaleur spécifique (i)	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$	Q_{cvam}	Quantité de la chaleur échangée par convection avec l'ambiance	W
e_{PS}	Epaisseur de la paroi du béton	m	$RGPS$	Densité du flux solaire globale incident sur la paroi Sud	$W.m^{-2}$
e_i	Epaisseur de la matière (i)	m	$RGPO$	Densité du flux solaire globale incident sur la paroi Sud	$W.m^{-2}$
g	Constante de la gravitation	$m.s^{-2}$	S_{PFP}	Surface de la paroi fond plancher	m^2
h_{rciel}	Coefficient d'échange par rayonnement du ciel	$W.m^{-2}.k^{-1}$	S_{PIP}	Surface de le plancher chauffant	m^2
h_{cviam}	Coefficient d'échange convectif	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{amb}	Température ambiante	$^{\circ}C$
h_{cv-ext}	Coefficient d'échange convectif avec l'air externe de l'habitat	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{sol}	Température du sol	$^{\circ}C$



h_{conv}	Coefficient d'échange convectif	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_i	Température d'une surface (i)	$^{\circ}C$
$h_{r-vc.PSE}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre la voute céleste et la paroi Sud externe	$W.m^{-2}.k^{-1}$	PS	Paroi Sud	-
$h_{r-sol.PSE}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre le sol et la paroi Sud externe	$W.m^{-2}.k^{-1}$	$h_{r-PNI.POI}$	Coefficient d'échange de rayonnement	$W.m^{-2}.k^{-1}$
$h_{r-PNI.PSI}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre la paroi Nord interne et la paroi Sud interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$	$h_{r-vc.POE}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre la voute céleste et la paroi Ouest externe	$W.m^{-2}.k^{-1}$
$h_{r-sol.POE}$	Coefficient d'échange par rayonnement	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{A1}	Température de l'air extérieure de l'habitat	$^{\circ}C$
t	Temps	s	Δt	Ecart de temps	s
T_{PNI}	Température de la paroi Nord interne	$^{\circ}C$	T_{A2}	Température interne de l'habitat	$^{\circ}C$
T_{vc}	Température de la voute céleste	$^{\circ}C$	T_{PSE}	Température de la paroi Sud externe	$^{\circ}C$
T_B	Température de dalle chauffante	$^{\circ}C$	T_{POE}	Température de la paroi Ouest externe	$^{\circ}C$
PNE	Paroi Nord externe	-	V_{vent}	Vitesse moyenne du vent	$m.s^{-1}$
PNI	Paroi Nord interne	-	PSE	Paroi Sud externe	-

1. Introduction

Le confort thermique constitue une demande reconnue et justifiée dans les logements individuelles au collectifs du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant passant les trois quarts de son temps à l'intérieur. Cette demande est soutenue par des normes et des réglementations qui permettent d'assurer la conformité des ambiances intérieures aux exigences du confort thermique. Or, la recherche des ambiances thermiques intérieures uniformes et confortables, conformément aux normes, tout au long de l'année et sans tenir compte des particularités du climat, du site, des logements accompagnée par une multiplication des installations climatiques, entraînant ainsi des fortes consommations d'énergie, d'origine fossile essentiellement, épuisable et polluante [1].

En partant d'une étude bibliographique sur les approches existantes, nous avons développé un modèle numérique afin d'explorer de plus près le confort adaptatif et caractériser l'interaction entre l'occupant et le bâtiment. Ensuite en adoptant une démarche systémique, nous avons analysé quelques paramètres qui peuvent affecter le confort thermique et qui permisdéterminer les différents mécanismes dynamiques de l'optimisation énergétique [1].

L'étude des transferts thermiques couplés dans une cavité fermée a suscité un intérêt grandissant durant ces dernières décennies. Cet intérêt est dicté par le rôle

joué par telles configurations dans nombreuses applications dans plusieurs domaines : la climatisation, le chauffage. De nombreuses études ont été réalisées en utilisant l'expérimentation numérique et pratique [2]. Le logement contemporain dans la zone saharienne ne répond pas aux exigences du confort en général et thermique en particulier. Ce constat est renforcé par la non prise en charge, dans la conception de départ, de plusieurs critères à savoir, la conception architecturale qui s'adapte au climat, l'isolation thermique de l'enveloppe extérieure de l'habitat et enfin l'inertie thermique stabilisatrice de l'ambiance intérieure de logement [3].

La région saharienne d'Adrar se caractérise par un climat chaud et sec, et une amplitude thermique diurne très importante. En effet, les températures maximales peuvent atteindre 50°C dans la saison d'été. Ces conditions climatiques favorisent à leur tour l'inconfort et leur prise en compte dans la conception architecturale de départ est plus que souhaitable afin d'assurer non seulement un confort thermique aux occupants mais également d'éviter toute opération de réhabilitation thermique souvent très délicate et coûteuse [3].

Le présente travail, vient s'inscrire dans une optique d'analyser les paramètres climatologiques influencent le confort thermique d'un logement dans la région d'Adrar afin de déterminer des suggestions pratiques pour rentabiliser le climat interne.

2. Représentation de la zone Saharienne

La région Saharienne d'Adrar s'étend sur la partie Nord du Sud-Ouest Algérien, couvrant ainsi une superficie de 427.968 km² soit 17.97% du territoire national (Voir la figure. 1). Généralement occupée par le Sahara, Adrar est peu peuplée avec une densité de population de 0.75 hab/km² [4, 5, 6]. En effet, cette région est une zone à vocation hydro agricole, elle recèle des potentialités valorisables dans le domaine de l'agriculture.



Fig.1. Carte de localisation de la Wilaya d'Adrar, Algérie [6].

Adrar est fractionné en deux zones climatiques distinctes: la première zone est semi désertique qui part de Timimoun vers Bechar, le second est totalement désertique partant de Timimoun vers Timiaouine [7]. Des écarts considérables dans la température ambiante avec un maximal plus de 45°C en juin, juillet et en aout. En saison hivernale les températures sont souvent basses et peuvent atteindre 12°C à 7°C en décembre et janvier [7].

2.1. Éléments météorologiques

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 9h/j et peut arriver jusqu'à 14h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 10h/j en période estivale [8]. La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie. La figure 2 donne les évolutions horaires des flux solaires global, direct et diffus incidents sur un plan horizontal dans la région d'Adrar. Ces évolutions de la densité du flux solaire ont été mesurées durant la journée du 17 Juillet 2014, par une station radiométrique implantée dans l'Unité de Recherche des Energies Renouvelables aux Milieux Sahariens (URER'MS) d'Adrar. On constate que l'évolution horaire de la composante du flux solaire global incident sur le plan horizontal domine les évolutions horaires autres composantes du flux solaire telles que : la composante directe et la composante diffuse.

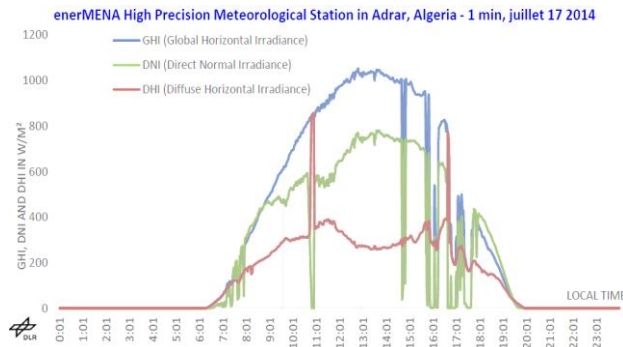


Fig. 2. Evolution horaire de la densité du flux solaire [9].

3. Traitement numérique

Les cheminements dans ce travail est de modéliser les transferts de transferts thermiques qui se déroulent dans le logement en zone saharienne, vont se faire en se basant sur un modèle d'habitat assimilé à une cavité parallélépipédique [10]. Les équations de transfert sont déduites à partir des bilans thermiques

établis en chaque façade de l'habitable, et résolues par une méthode implicite de MDF et l'algorithme de Gauss en couplage avec une procédure itérative, parce que les coefficients de transferts de chaleur par convection, conduction et rayonnement sont traduits en fonction des températures de l'ambiance interne et externe.

3.1. Modélisation du confort thermique

L'évaluation du confort thermique dans les espaces est un paramètre capital dans toute conception architecturale [11]. Les premières recherches se sont basées sur les enquêtes de terrain avec des questionnaires en classifiant la sensation thermique (très chaud, neutre et très froid) ainsi que sur les essais de laboratoires sous des conditions climatiques artificielles [12]. Cette évaluation a conduit plusieurs chercheurs à développer et à élaborer des indices de prédiction des niveaux de confort à l'intérieur de l'habitat.

L'évaluation d'effet des déperditions thermiques par renouvellement d'air sur le confort thermique est très importante. Cette évaluation est décrite par un terme supplémentaire ajouter dans l'équation de bilan thermique qui régit les transferts dans l'espace interne de l'habitat comment suit:

$$M_a \times C_{P_a} \times \frac{T_{A2}^{t+\Delta t} - T_{A2}^t}{\Delta t} = h_{C1} \times S_{PS} \times (T_{PSI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C2} \times S_{PN} \times (T_{PNI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C3} \times S_{PO} \times (T_{POI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C4} \times S_{PE} \times (T_{PEI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C5} \times S_{FPF} \times (T_{FPFI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C6} \times S_{PIP} \times (T_B^t - T_{A2}^{t+\Delta t}) + S_{petite} \times V_{Vent} \times 0.34 \quad (1)$$

3.2. Température opérative

La température opérative "Top", est un indice de confort thermique intégrant deux paramètres physiques, la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante. Il s'agit donc d'un indice d'appréciation des effets convectifs et radiatifs sur le confort de l'individu [13].

Le calcul simple de cet indice est donné par la formule suivante [14]:

$$T_{OP} = \alpha T_a + (1 - \alpha) T_{mrt} \quad (2)$$

avec :

T_{op} : La température opérative [°C].

T_{amb} : La température de l'ambiance [°C].

T_{mrt} : La température moyenne radiante [°C].

α : Coefficient en fonction de la vitesse d'air.

Avec des vitesses de l'air inférieures à 0,2 m/s, la température opérative est

égale avec une bonne approximation, à la moyenne arithmétique des températures citées [15], et pouvant être écrite de la façon suivante.

$$T_{OP} = (T_{air} + T_{mrt}) / 2 \quad (3)$$

La température du confort thermique au sien de l'espace interne de l'habitat est calculée par l'expression suivante [3] ;

$$T_c = \frac{T_{air} + \sum T_{i,j}}{2} \quad (4)$$

$$\sum T_{i,j} = T_{PSI} + T_{PEI} + T_{POI} + T_{PFPI} + T_{PNI} + T_{PPI} \quad (5)$$

4. Résultats et discussions

4.1. Evolution de la température de l'environnement interne de l'habitat

La figure 3 présente la variation horaire de la température des différentes façades internes de l'enveloppe habitable durant la journée type. On peut constater que l'inertie thermique du béton joue un rôle très important dans le transfert thermique au niveau des parois. En effet, la température du fond plafond (TPTI) est plus grande par rapport aux températures des autres faces internes des parois Sud (TPSI), Ouest (TPOI), Nord (TPNI) et Est (TPEI).

Ceci est dû à la conjugaison de deux facteurs essentiels qui ont engendré cette augmentation de la température : en premier lieu, l'épaisseur des parois de l'habitat qui implique l'élévation de l'inertie thermique et en deuxième lieu, l'angle d'incidence des rayons solaires de cette façade de la toiture qui est égale à 0°.

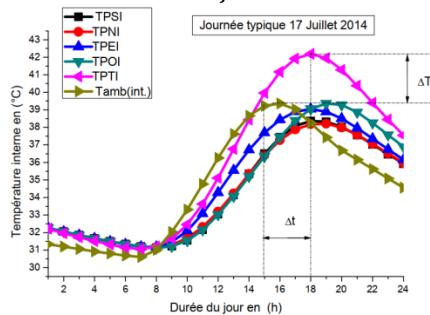


Fig.3. Evolution de la température de l'air interne de l'enveloppe habitable en fonction dutemps local (TLG).

Dans la figure 4, nous présentons la variation horaire des températures des

différentes façades internes et de l'ambiance interne de l'enveloppe habitable durant la journée type du 03 Août de l'année 2014. D'après cette figure, on constate qu'il y a un écart de température égale à 2°C entre la façade interne de la toiture et les autres façades des parois de l'enveloppe habitable (Sud, Nord, Est et Ouest). En effet, cet écart est dû à l'inclinaison des parois par rapport à l'horizontale car, l'angle d'incidence des rayonnements solaires est égal à 0° pour les parois horizontales et 90° pour les parois verticales. Par ailleurs, il est bien illustré dans cette figure que la température de l'espace interne chauffé est plus grande par rapport aux autres températures des façades internes de l'habitat au cours de cette journée typique de la saison d'été. D'un autre côté, nous avons observé un déphasage du temps de 5 heures entre la valeur maximale de la température interne de l'espace chauffé est celle des températures des façades internes de l'habitat.

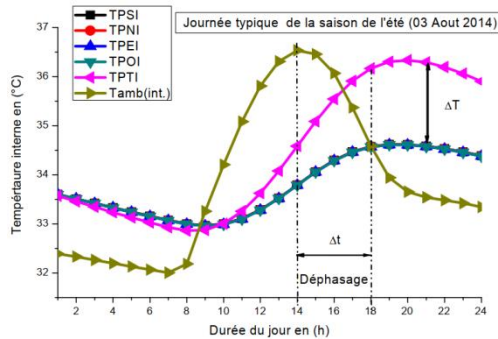


Fig. 4. Evolution des températures de l'ambiance interne et des façades internes des parois Sud, Nord, Est, Ouest et du toit de l'enveloppe habitable en fonction du temps local au cours de journée typique de la saison d'été.

La figure 5 présente l'évolution horaire des températures de l'ambiance interne et des façades internes de l'enveloppe habitable en fonction du temps local pour une journée typique du mois de février de la saison d'hiver de l'année 2014. On constate que l'évolution de la température de l'espace chauffé commence à augmenter au cours de la période diurne à partir de 08h00 du matin et atteint une température maximale de 18.3°C vers 13h00 après-midi, puis, elle commence à décroître jusqu'à une valeur de 16.7°C vers 20 h00 en fin de la journée.

Par ailleurs, les autres évolutions des températures des façades internes de l'enveloppe habitable se font également au cours de la période diurne comprise entre 10h00 du matin et 24h00 avec un pic de température de 16.5°C localisé vers 20h00 du soir. En plus, il est intéressant de noter qu'il y a un déphasage notable de 07 heures entre la température maximale de l'ambiance interne et celle des

façades internes.

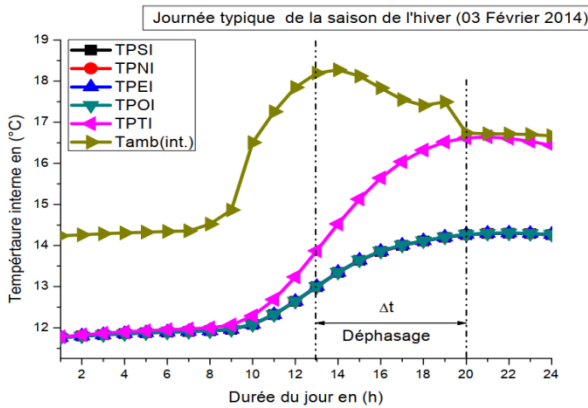


Fig. 5. Evolution des températures de l’ambiance interne et des façades internes des parois Sud, Nord, Est, Ouest et du toit de l’enveloppe habitable en fonction du temps local dans la saison d’hiver.

La figure 6, présente une comparaison entre l’évolution horaire de la température de l’ambiance interne de l’habitat et les températures des façades internes des différentes parois constituant l’enveloppe habitable au cours de la journée typique du mois de Mars dans la saison du printemps de l’année 2014. On peut constater dans un premier temps, que la variation est remarquable dans la période diurne entre 08h00 et 20h00 pour toutes les températures décrivant l’échange thermique interne dans l’habitat. Dans un second lieu, on peut observer également un écart de température de 3°C entre l’évolution de la température de la face interne du fond plafond de l’habitat et les autres températures des façades internes des parois Sud, Nord, Est et Ouest. En outre, il est bien enregistré un déphasage du temps égal à 6 heures entre la valeur maximale de la température de l’espace chauffé et celle des faces internes des parois de l’enveloppe habitable. Cet écart du temps dans la restitution de la chaleur est dû à l’inertie thermique et à l’épaisseur du béton utilisé comme un matériau de construction de l’habitat.

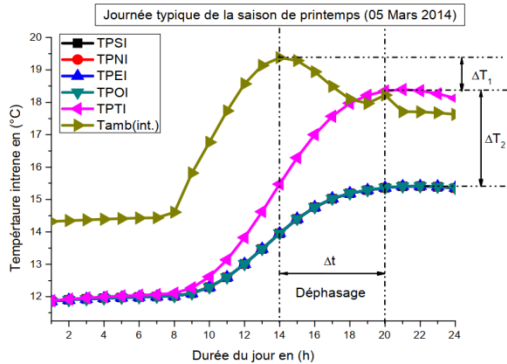
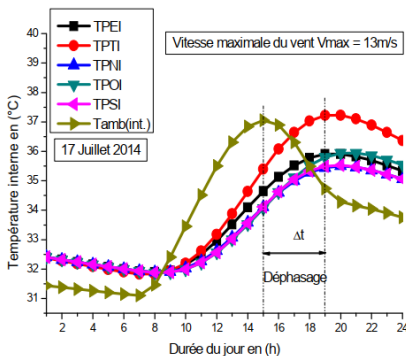


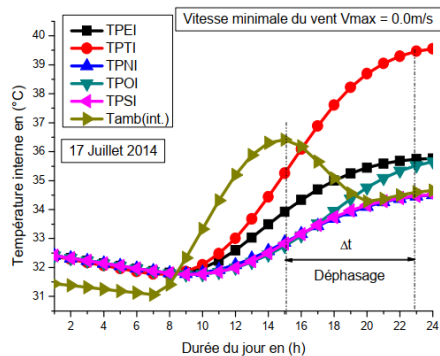
Fig. 6. Evolution des températures de l'ambiance interne et des façades internes des parois Sud, Nord, Est, Ouest et du toit de l'enveloppe habitable en fonction du temps local dans la saison du printemps.

4.2. Effet des déperditions thermiques par renouvellement d'air

La figure 7 présente l'évolution de la température d'espace chauffé en fonction du temps pour deux vitesses du vent (renouvellement d'air) au cours de la journée typique. Ceci permet de mettre en évidence l'évolution des déperditions thermiques due au renouvellement d'air. En effet, on peut constater que pour une enveloppe habitable avec des mauvaises isolations thermiques (mauvaise qualité des joints des portes ou des fenêtres), sa température d'espace interne chauffé est plus élevée par rapport à la norme de confort. Cette augmentation de la température, explique l'excès du dédit d'air à travers cette enveloppe (Fig. 7.a). Par contre, si l'isolation thermique est bien établie, les normes du confort thermique sont vérifiées (Fig. 7.b).



(a)



(b)

Fig.7. Evolution de la température de l'espace chauffé en fonction du temps pour deux différentes vitesses du vent (renouvellement d'air) au cours de la journée typique.

4.3. Evolution de la température opérative pour les quatre journées typiques saisons del'année

Dans la figure 8, on présente l'évolution horaire de la température opérative de l'environnement chauffé pour différentes journées typiques en fonction du temps local (TLG) dans les quatre saisons de l'année 2014. On peut remarquer qu'il y a une différence de variation entre la saison de l'été par rapport aux autres saisons de l'année. En effet, pour les trois journées typiques des saisons de l'hiver, l'automne et le printemps, les températures opératives commencent à progresser à partir de 8h00 du matin jusqu'à 13h00 où en atteignant leurs valeurs maximales de 34.25 °C en hiver, 34.62°C en automne et 35°C en printemps, puis elles décroissent jusqu'à des valeurs comprise entre 33°C et 34°C à 20h00. Cependant pour l'évolution de la température opérative en été, nous avons remarqué une diminution de cette dernière au cours de la période comprise entre 01h du matin (35.03°C) et 08h du matin (31.50°C), puis une croissance progressive jusqu'à une valeur maximale de 35.03°C vers 13h après-midi, ensuite une décroissance continue jusqu'à une valeur de 32.75°C à 24h. L'écart de température entre les quatre évolutions des quatre journées typiques est dû aux variations des conditions climatologiques pour chaque mois choisi de l'année considérée.

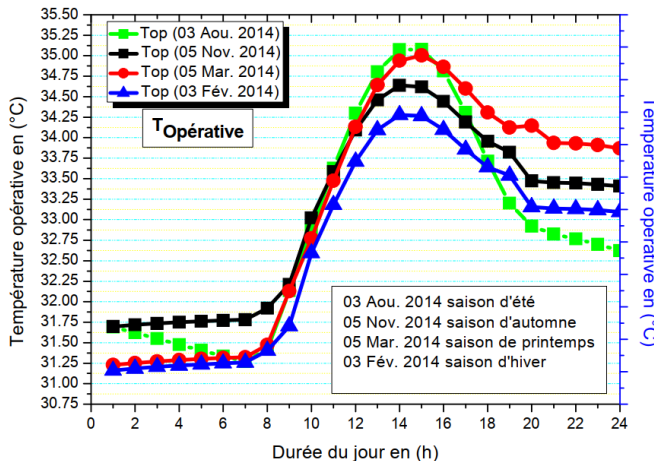


Fig.8. Evolution de la température opérative de l'habitat pour différentes saisons de l'année 2014 en fonction du temps local.

4.4. Evolution horaire de la température du confort thermique

La figure 9 présente l'évolution horaire de la température du confort thermique

pour différents matériaux de construction en fonction du temps local. D'après cette illustration, on constate que le choix du matériau de construction a une influence significative sur l'évolution horaire de la température du confort thermique. En effet, quand on utilise par exemple les catégories des bétons sélectionnées dans cette étude comme matériau de construction des murs de l'enveloppe habitable avec ces conditions climatologiques secs, et sans maîtrise d'isolation thermique des parois, la température du confort va dépasser les normes conventionnelles. C'est-à-dire, une surchauffe indésirable de l'environnement habitable avec une température de 39°C à 15h00 après-midi comme illustre la figure 9 pour les trois catégories du béton (lourd, léger et Pierre). Par contre, l'exploitation d'autres matériaux de construction comme les catégories du bois (lourd et léger) dans cette région avec les mêmes conditions climatiques, va contribuer à se rapprocher des valeurs conventionnelles de la température du confort au sein de l'environnement habitable puisque la température maximale obtenue en utilisant le bois ne dépasse pas 37°C (valeur obtenue à 15h00).

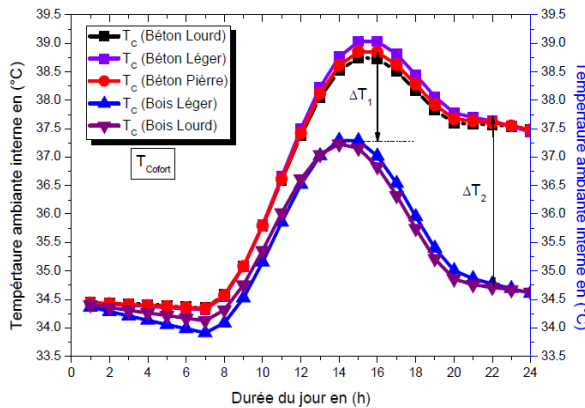


Fig.9. Evolution de la température du confort thermique et de l'espace chauffé au sein de l'enveloppe habitable pour différentes catégories de matériaux de construction dans la journée typique de l'année 2014.

5. Conclusion

D'après les résultats obtenus, on conclut que les modèles numériques développés pour la modélisation des échanges thermiques dans l'enveloppe habitable influencent le confort thermique donnent des résultats acceptables en comparaison avec les données mesurables fournies par la station radiométrique de l'URER'MS d'Adrar. En se basant sur cette étude, la solution qui peut être



adoptée pour la saison d'été, où il y a une grande inertie thermique due aux parois épaisses du béton ou du bois, est de procéder à une isolation et un ombrage des parois les plus sollicitées au rayonnement solaire.

D'un autre côté, on suggère une ventilation et un refroidissement par évaporation au cours de la saison d'été. A l'effet de cette évaluation du confort thermique abordée dans ce travail, il est recommandé qu'avant d'entamer la construction ou la réhabilitation d'une enveloppe habitable, il est impérativement nécessaire d'entreprendre une révision globale des normes conventionnelles en matière du confort thermique, notamment, le respect des concepts bioclimatiques, l'isolation de l'enveloppe à l'extérieure et les matériaux de base utilisés pour la construction.

REFERENCE

- [1] B. Moujalled, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, thèse a été préparée au Laboratoire des Sciences de l'Habitat de l'Ecole Nationale des Tavaux Publics de l'Etat, Département Génie Civil et Bâtiment (DGCB), (2007), URA CNRS 1652.
- [2] G. Nassima, Etude numérique des transferts thermiques couplés dans une cavité fermée,(2001), thèse de magister de l'université de Ferhat Abbas-Sétif.
- [3] F. Sam, Réhabilitation thermique d'un local dans une zone aride : cas de Ghardaïa, (2012), thèse de magister de l'université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- [4] <http://www.algerie-monde.com/wilayas/adrar>.
- [5] B.E. Yousfi, Dynamiques urbaines, mobilités et transports dans le Sud-Ouest Algérien (wilayas d'Adrar et de Bechar), Thèse de docteur, université de Franche-Comte, (2012),France.
- [6] https://fr.wikipedia.org/wiki/Fuseau_horaire,12/11/2017.
- [7] Ministère de l'agriculture et du développement rural, Institut national des sols de l'irrigation et du drainage. Essai de présentation d'une technique d'irrigation traditionnelle dans la wilaya d'Adrar : la « foggara », (www.insid.dz/realisation/did/D3.pdf), page consulté, 13/12/2017.
- [8]https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_d%27Adrar,12/11/2017.
- [9] Technical Report, (2014), 'EnerMENA High Precision Meteorological Station of Research Unit for Renewable Energies in the Saharan Environment' in Adrar, Algeria.
- [10] A. Oudrane, Contribution à la modélisation et au développement des systèmes de chauffage solaire à usag individuel, (2018), thèse de doctorat d'Ecole Nationale Polytechnique d'Oran - Maurice Audin.
- [11] B. Givoni, L'Homme, L'Architecture et le Climat, Edition, Le Moniteur, paris, (1978), pp39.



- [12] N. Tixier, De la notion de confort à la notion d'ambiance, in revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS Ambiances architecturales et urbaines,(2007), France.
- [13] N. Cordier, développement et évaluation de stratégies de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions, thèse de doctorat soutenue à L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, (2017), pp.61.
- [14] F. Richieri, Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères, thèse de doctorat soutenue à L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, (2008), pp.302.
- [15] M. Bruant, Développement et paramétrages de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance, in Conception en bâtiment et techniques urbaines, I.N.S.A (Institut National des Sciences Appliquées), (1997), de Lyon, France.