



Modélisation et étude paramétrique du confort thermique dans un climat purement désertique : cas de la région d'Adrar

Oudrane A.^{1,2}, Aour B.², Zeghamati B.³, Chesneau X.³, Hmouda M.⁴

¹Centre universitaire El-Wancharissi, Route de Bougra Ben Hamouda, 38004, Tissemsilt, (Algérie).
abdellatif.habadat@gmail.com

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

³Laboratoire de Mathématiques et de Physique Groupe de Mécanique Énergétique (LAMPS), Université de Perpignan Via Domitia, 52, Avenue Paul Alduy, 66860 Perpignan cedex, (France).

⁴Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, (URER'MS)
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
BP 478, Route de Reggane, Adrar, (Algérie).

Résumé— Ce présent travail, port sur la modélisation et l'analyse paramétrique du confort thermique au sein d'une maison individuel localisée dans la région d'Adrar. Cette dernière est occupée par un système de plancher chauffant. Pour atteindre cet objectif, nous avons entrepris dans une première partie la modélisation des transferts thermiques de l'écoulement de l'eau chaude dans la dalle plancher. Puis, nous avons résolu numériquement les équations de Navier-Stokes et de la chaleur qui régissent cet écoulement. Ces équations ont été discrétisées par une méthode implicite aux différences finies. Ensuite, dans une seconde partie, on a résolu l'équation de la conduction thermique dans la dalle chauffante à l'aide de la même méthodologie que pour celle de l'écoulement de fluide. Les transferts de chaleur qui se déroulent dans l'enveloppe habitable ont été pareillement modélisés en utilisant les bilans thermiques établis au niveau de chaque paroi de l'enveloppe et en tenant en compte des échanges thermiques par convection, conduction et rayonnement. Les modèles ainsi échafaudés ont été calibrés avec des données climatiques mesurées récemment au niveau de l'unité de recherche en énergie renouvelable en milieu saharien d'ADRAR "URER'MS". Un analyse numérique bien détailler de certaines paramètres influencent le confort thermique a été discutée. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude numérique ont montré que les conditions climatiques sévères de la région en question présentent une valeur ajoutée dans l'inconfort thermique. Des suggestions pour améliorer le confort thermique au niveau de cette région sont proclamées dans cette étude.

Mots clés— Confort thermique; Région d'Adrar; l'inconfort thermique; Échange thermique; Analyse numérique; URER'MS.

I. INTRODUCTION

Actuellement, le confort thermique constitue une demande reconnue et justifiée dans les bâtiments 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 bâtiments 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 conduit une étude expérimentale in situ dans huit bâtiments pour 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 développé un modèle dynamique sur le confort thermique qui permet d'intégrer les différents mécanismes dynamiques identifiés dans la bibliographie et par l'expérimentation [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...etc. De nombreuses études ont été réalisées en utilisant l'expérimentation numérique et pratique [2].

L'habitat contemporain dans la région d'Adrar 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 l'enveloppe habitable [3].

La région 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].

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

II. DESCRIPTION DE LA REGION

La région 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 août. En saison hivernale les températures sont souvent basses et peuvent atteindre 12°C à 7°C en décembre et janvier [7].

III. PARAMÈTRES 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 comme l'indique la figure 2.

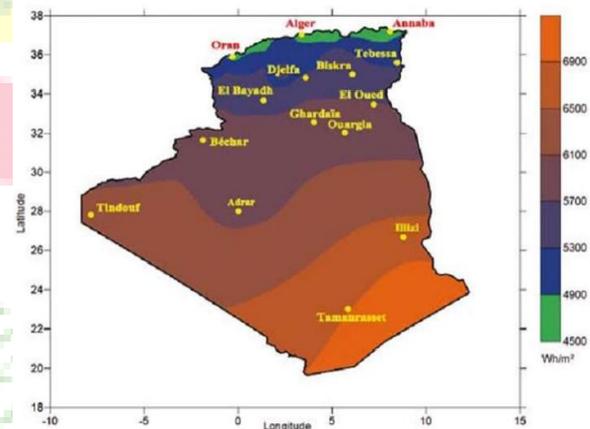


Fig. 2. Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale [8].

La figure 3 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. Ainsi que nous avons remarqué que cette évolution est liée totalement avec l'orientation du plan et aussi la course du soleil dans la journée.

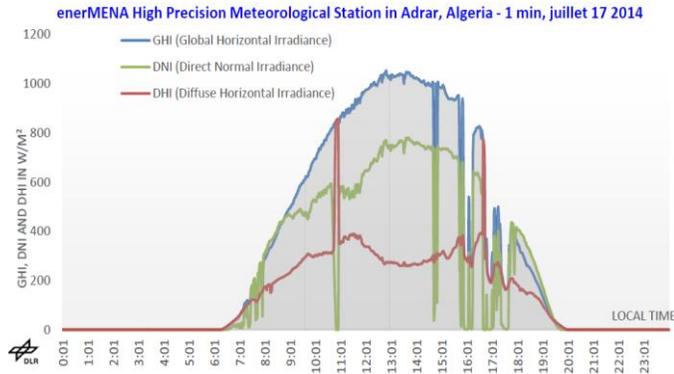


Fig. 3. Evolution horaire de la densité du flux solaire (17-07-2014) [9].

IV. ETUDE ET TRAITEMENT NUMÉRIQUE

Le cheminement dans ce travail est de modéliser les transferts de l'écoulement de l'eau chaude dans la canalisation de la dalle chauffante. Pour cela, nous allons résoudre les équations de Navier-Stokes et de la chaleur qui régissent cet écoulement. Ces équations vont être discrétisées par une méthode implicite aux différences finies (MDF). Les systèmes d'équations algébriques obtenus seront résolus par les algorithmes de Gauss et Thomas.

Ensuite nous allons résoudre l'équation de la conduction thermique dans la dalle à l'aide des mêmes algorithmes qu'ont été retenus pour la résolution des équations d'écoulement de fluide dans la canalisation. D'un autre côté, la modélisation des transferts thermiques qui se déroulent dans l'enveloppe habitable, vont se faire en se basant sur un modèle d'habitat assimilé à une cavité parallélépipédique (voir la figure. 4).

Les équations de transfert sont déduites à partir des bilans thermiques établis en chaque façade de l'enveloppe habitable, et résolues par la méthode 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.

Pour cette raison, nous avons modélisé le couplage thermique entre la canalisation du fluide caloporteur et la dalle en béton, en se basant sur la théorie de la continuité de la chaleur entre le fluide et la dalle, et puis le couplage entre ce dernier et l'enveloppe de l'habitat.

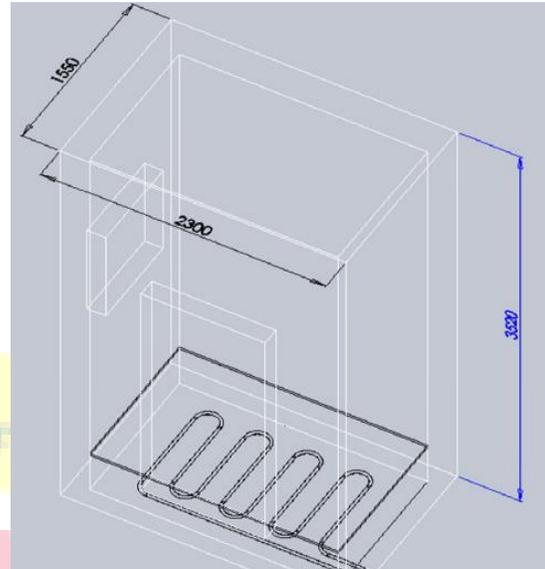


Fig. 4. Description physique d'une enveloppe habitable avec une dalle chauffante [10].

V. ÉVALUATION 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:

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

A. 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



**Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 5th International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2018



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.

Le tableau I nous donne quelques valeurs de " α " en fonction de la vitesse de l'air [13] :

TABLEAU I
VALEURS DE AEN FONCTION DE LA VITESSE D'AIR.

Vitesse (m/s)	0 - 0,2	0,2 - 0,6	0,6 - 0,7
α : coefficient	0,5	0,6	0,7

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] ;

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

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

VI. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

A. Evolution de la température de l'ambiance interne de l'habitat pour différentes saisons

La figure 5 présente l'évolution horaire de la température moyenne à l'intérieure de l'enveloppe habitable pour les quatre journées typiques des quatre saisons de l'année 2014 en fonction du temps local. En effet, il est bien visible dans cette figure que l'évolution de la température interne de l'habitat pour la saison d'été est plus élevée que celles des saisons de l'automne, l'hiver et du printemps.

Cette évolution de la température au mois d'août a atteint une valeur maximale de 36.53°C vers 14 h00 après-midi. Effectivement, la hausse de la température interne dans ce mois d'août est due à conditions climatiques sèches de la région dans la saison d'été. D'un autre côté, on peut remarquer dans cette

figure, que l'évolution de la température d'espace interne de l'enveloppe habitable pour les trois journées typiques des trois autres saisons sont presque similaires durant toute la journée solaire, avec des valeurs maximales de 20.03°C pour le mois de mars, de 18.56°C pour le mois de novembre et de 18.19°C pour le mois de février à 14h00 après-midi. Cette différence de température par rapport à la saison d'été est attribuée à la chute de température de l'air externe pendant les autres saisons.

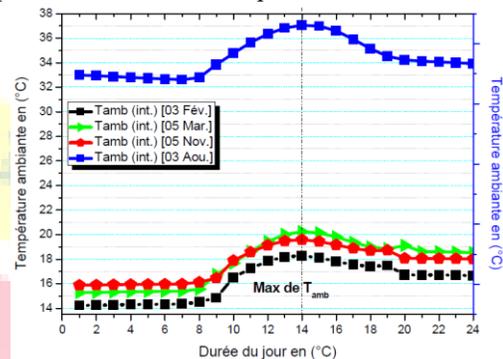
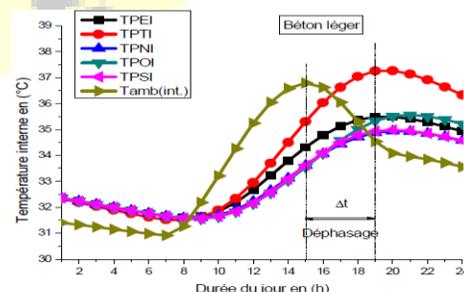


Fig. 5. Evolution de la température de l'ambiance interne de l'habitat en fonction du temps local pour différentes saisons de l'année 2014.

B. Evolution de la température de l'ambiance interne pour différents matériaux de construction.

La figure 6 illustre l'effet de capacité thermique du stockage d'énergie solaire dans les parois de l'enveloppe habitable pour différents matériaux de construction (béton léger, béton lourd, béton pierre, bois léger et bois lourd). On peut constater que pour toutes les enveloppes habitables construites par des matériaux à grande capacité thermique comme le béton léger (Fig. 6.a), le béton lourd (Fig. 6.b) et le béton pierre (Fig. 6.c), la température de son espace chauffé est optimale dans le mois de juillet à cause de l'inertie thermique de ces matériaux. En effet, il est bien observé dans les figures (6.a-b-c) que la température de l'ambiance interne varie entre 37°C et 38.5°C. D'un autre côté, si la construction des enveloppes habitables est basée sur des matériaux à faible capacité thermique, la température de l'espace chauffé varie aux alentours de 34°C et 35°C à cause de l'inertie thermique de ce type de matériaux de construction (cas du bois lourd (Fig. 6.d) et bois léger (Fig. 6.e)).



(a)

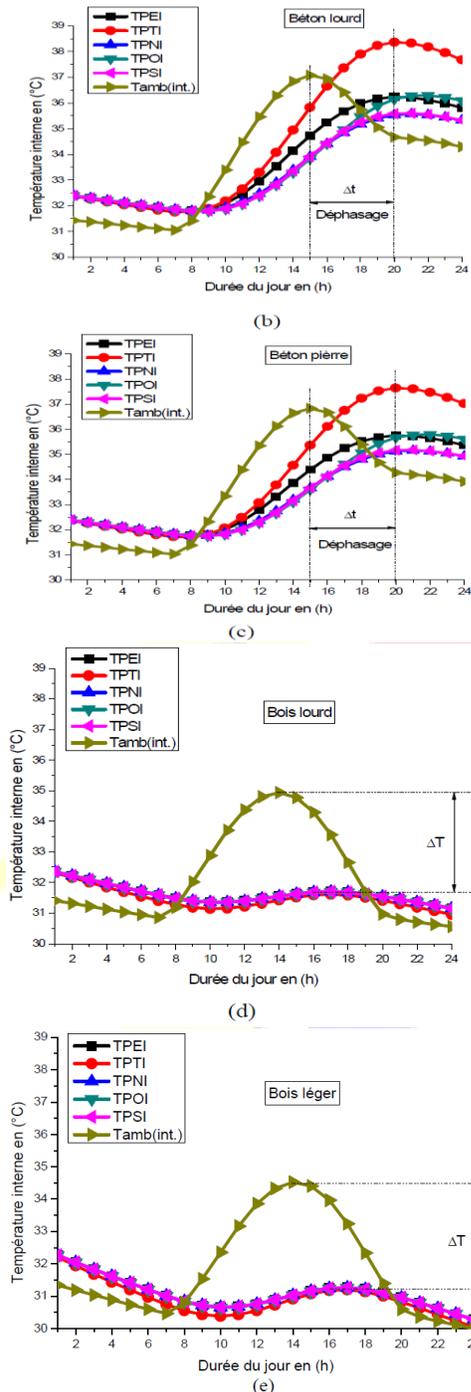


Fig.6. Evolution des températures de l'ambiance interne des façades internes des parois de l'habitat pour différents matériaux de construction.

C. Evolution de la température opérative pour les quatre journées typiques saisons de l'année

Dans la figure 7, 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 comprises 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.

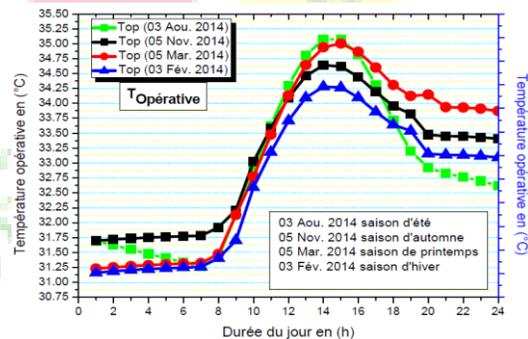


Fig.7. Evolution de la température opérative de l'habitat pour différentes saisons de l'année 2014 en fonction du temps local.

D. Evolution horaire de la température du confort thermique de l'enveloppe habitable

La figure 8 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 8 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).

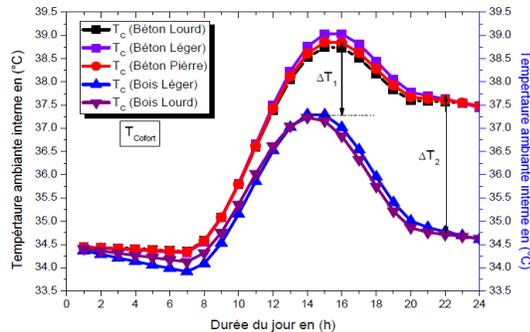


Fig.8. Evolution de la température du confort thermique et de l'espace chauffé au sien de l'enveloppe habitable pour différents catégories de matériaux de construction dans la journée typique de l'année 2014.

E. Positionnement sur le diagramme bioclimatique de la température du confort pour des différents matériaux de construction

La figure 9 présente le positionnement sur le diagramme bioclimatique de la température du confort thermique au sein de l'enveloppe habitable pour différentes catégories de matériaux de construction de la journée typique (17 Juillet 2014). On peut constater que la température du confort thermique pour une construction d'habitat en utilisant différentes catégories du béton (lourd, léger et pierre) est positionné dans la zone MM' (zone d'inertie thermique), alors que pour les deux types du bois (lourd et léger) est positionné dans la même zone que celle des catégories du béton, sauf que la température du confort pour une construction du béton varie entre de 38°C et 39°C et la température d'une construction du bois varie entre 34°C et 36°C.

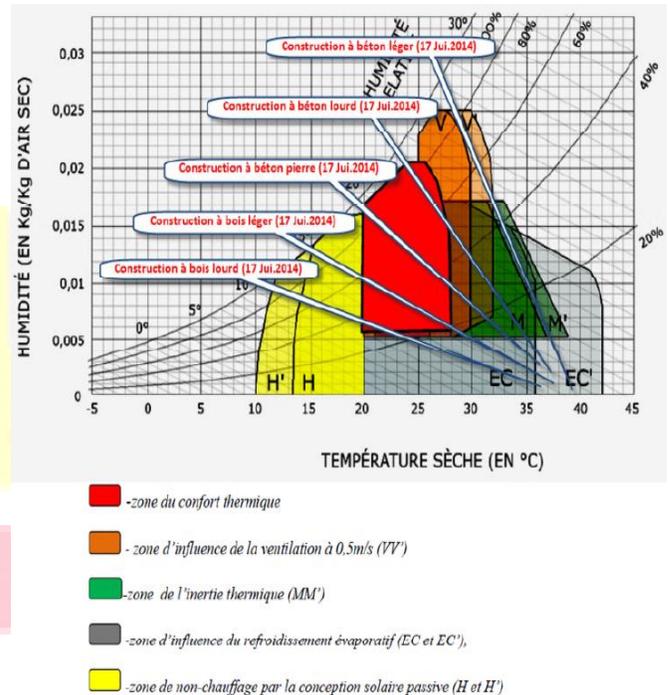


Fig.9. Positionnement des températures du confort thermique au sien de l'enveloppe habitable pour différents matériaux de construction au cours de la journée typique (17 Juillet 2014).

F. Positionnement de température du confort sur le diagramme bioclimatique pour les journées typiques des quatre saisons de l'année

D'après la figure 10 représentant le positionnement des températures du confort thermique de l'enveloppe habitable sur le diagramme bioclimatique pour les journées typiques des quatre saisons choisies de l'année 2014, on constate que, la seule journée typique qui vérifie les normes du confort thermique est celle du 05 mars, alors que, les positionnements des températures de l'ambiance interne pour les trois autres journées (05 Nov., 03 fév. et 03 Août) sont en dehors de la zone du confort thermique conventionnelle selon le diagramme bioclimatique de Givoni.

	<p>Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables</p> <p>The 5th International Seminar on New and Renewable Energies</p> <p>Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa – Algeria 24 - 25 Octobre 2018</p>	
---	---	---

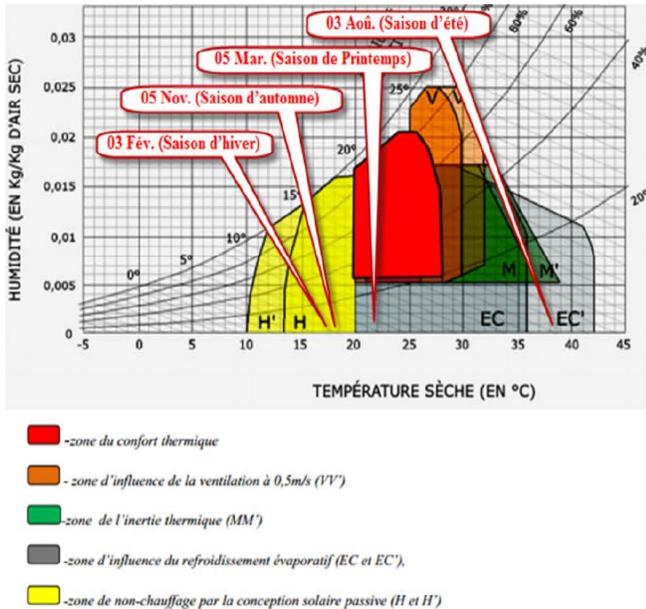


Fig.10. Positionnement des températures du confort thermique de l'enveloppe habitable pour les journées typiques choisies des quatre saisons de l'année 2014.

A partir des 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 le diagramme bioclimatique de Givoni, 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'extérieur et les matériaux de base utilisés pour la construction.

VII. CONCLUSION

VIII. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [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), URA CNRS 1652, 2007.
- [2] G. Nassima, Etude numérique des transferts thermiques couplés dans une cavité fermée, thèse de magister de l'université de Ferhat Abbas-Sétif, 2001.
- [3] F. Sam, Réhabilitation thermique d'un local dans une zone aride : cas de Ghardaïa, thèse de magister de l'université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.
- [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-Comté, France, 2012.
- [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] EnerMENA High Precision Meteorological Station of Research Unit for Renewable Energies in the Saharan Environment in Adrar, Algeria, 2014.
- [10] A. Oudrane, Contribution à la modélisation et au développement des systèmes de chauffage solaire à usage individuel, thèse de doctorat d'Ecole Nationale Polytechnique d'Oran - Maurice Audin, 2018.
- [11] B. Givoni, L'Homme, L'Architecture et le Climat, Edition, Le Moniteur, paris, pp39, 1978.
- [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, France, 2007.
- [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, pp.61, 2007.

- [14] F. Richieri, Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères, thèse de doctorat soutenue à L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, pp.302, 2008.
- [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) de Lyon, France, 1997.