



# L'influence de la compacité sur le confort et les épaisseurs énergétiques et financières de l'isolation thermique

S Bendara<sup>1</sup>, S M A Bekkouche<sup>2</sup>, T Benouaz<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Université de Tlemcen, BP. 119, Tlemcen R. p. 13000, Algérie.

<sup>2</sup>Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie

\*Contact : bendarasmail@yahoo.fr, phone +213-07-74 38 75 45

**Résumé** — La compacité et l'isolation sont des éléments passifs importants liés au confort thermique d'un bâtiment. L'objectif de cette contribution est de déterminer l'épaisseur optimale de l'isolation en fonction de la compacité. On vise chaque fois l'amélioration du confort thermique intérieur. Avec un modèle déjà validé et développé sous l'environnement de simulation "MATLAB", nous avons pu offrir la possibilité de minimiser le maximum l'épaisseur énergétique de l'isolation thermique vis-à-vis des sollicitations du milieu Saharienne. Les résultats obtenus donnent une idée générale aux concepteurs du bâtiment pour élaborer une solution fiable.

**Mots clés** — compacité, isolation thermique, épaisseur énergétique, épaisseur financière, confort thermique

## I. INTRODUCTION

Le secteur de la construction a connu un développement considérable dans le domaine des matériaux de construction, y compris le béton armé, caractérisé par sa facilité d'utilisation et sa grande tolérance. Mais l'inconvénient de ces matériaux est lié à leurs caractéristiques. L'isolation thermique est indispensable pour le confort thermique des bâtiments. Aujourd'hui au niveau mondial, le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie, il représente 40% de l'énergie totale en Europe [1], donc ce dernier représente un important gisement d'économies d'énergies, ainsi ce secteur est responsable d'environ 40 % des émissions de CO<sub>2</sub> [2].

Des études internationales ont révélé que l'isolation des bâtiments et des habitations est un moyen efficace pour réduire l'effet de serre. Mieux on isole, moins on consomme d'énergie, moins on émet de CO<sub>2</sub>. La quantité d'énergie consacrée à la fabrication d'isolation en polyuréthane est aussi limitée.

Avec l'absence des réglementations énergétiques spécifiques à différentes régions dans l'Algérie et pour guider les projets des infrastructures et surtout dans le domaine des bâtiments résidentiels, ainsi dans le contexte de diminution des ressources énergétiques, le problème posé aux acteurs de l'industrie du bâtiment est d'élaborer une solution intermédiaire entre le confort, la consommation énergétique et l'écologie du bâtiment. Quelques études [3] ont montré que l'isolation combinée des toitures et des murs en liège ou en

polystyrène de 5cm d'épaisseur, peut réduire jusqu'à 59.09% du gain thermique globale et atteint une réduction jusqu'à 69.96 % pour une épaisseur de 10 cm. L'objectif de notre étude est de proposer une stratégie de contrôle passif liée au confort thermique à savoir l'isolation thermique et la compacité de l'enveloppe. Ces concepts permettent la minimisation des déperditions énergétiques afin d'obtenir un habitat conçu pour être autant agréable l'été que l'hiver. Nous nous intéressons donc à l'étude de l'influence de la compacité sur l'épaisseur optimale de l'isolant thermique.

## II. DESCRIPTION DE L'ESPACE BUREAU

L'étude s'est focalisée sur un espace bureau avec une surface habitable de 13.50 m<sup>2</sup> (4.5 x 3.0) dont la hauteur des murs est de 2.0 m. Les parois extérieures en pierre de 40 cm d'épaisseur, entourée de deux couches ayant respectivement une épaisseur de 1,5 cm de plâtre, 1 cm de ciment mortier et un revêtement de finition intérieure. Les propriétés physiques sont comme suit :

Tableau 1. Les propriétés physiques des matériaux

Matériau	E <sub>p</sub> (m)	λ (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	ρ (kg m <sup>-3</sup> )	C <sub>p</sub> (Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
Pierre	0.40	1.40	3000	1000
Plâtre	0.01	0.56	1400	1000
Ciment mortier	0.02	1.41	1800	1000
Polystyrène	-	0.028	15	1000
Polyuréthane	-	0.030	35	837

## II. CALCULE DES EPAISSEURS ENERGETIQUE ET FINANCIERE

La facture énergétique ou la quantité d'énergie baisse exponentiellement en fonction de l'épaisseur d'isolant. Tandis que le coût de mise en œuvre et d'entretien augmente de façon linéaire avec cette épaisseur [4].



Le coût total de l'isolation est la somme du facteur énergétique et le coût de la mise en œuvre et d'entretien. Comme conséquence, le coût total diminue d'abord puis tend à augmenter. Il est possible de calculer les épaisseurs d'isolant et les types de vitrage optimaux en tenant compte de la rigueur du climat et du coût global ou de la consommation d'énergie totale, tout en fixant ou non des conditions telles qu'un investissement donné ou un coût annuel donné [5].

Le prix ou la quantité d'énergie consommée pour la construction augmente avec l'épaisseur d'isolant. Par contre, le coût du chauffage ou l'énergie consommée pendant l'exploitation diminue avec cette épaisseur.

Si l'on cherche à minimiser soit le coût total (investissement et coût du chauffage sur la durée de vie totale de l'élément considéré), soit la consommation d'énergie totale (fabrication, montage et chauffage sur la durée de vie totale de l'élément considéré), on peut trouver une épaisseur optimale, eopt pour un isolant donné. Les expressions ci-dessous donnent les deux formules correspondantes au coût énergétique Cener [J] et au coût financier Cfin [DA], ainsi que les épaisseurs optimales correspondantes eopt,ener et eopt,fin[1] :

$$C_{ener} = E_i \cdot e + Dv \cdot Dj \cdot 86400 / \eta_{ch} \cdot (R_i + e/\lambda) \quad (01)$$

$$e_{opt,ener} = [Dv \cdot Dj \cdot \lambda \cdot 86400 / \eta_{ch} \cdot E_i]^{1/2} - R_i \cdot \lambda \quad (02)$$

$$C_{fin} = P_i \cdot e + Dv \cdot Dj \cdot P \cdot 86400 / \eta_{ch} \cdot (R_i + e/\lambda) \quad (03)$$

$$e_{opt,fin} = [Dv \cdot Dj \cdot \lambda \cdot P \cdot 86400 / \eta_{ch} \cdot P_i]^{1/2} - R_i \cdot \lambda \quad (04)$$

e : Epaisseur d'isolant [m].

E<sub>i</sub> : Coût énergétique de 1 m<sup>3</sup> d'isolant [J/m<sup>3</sup>].

λ : Conductivité thermique du matériau isolant considéré [W/mK].

P<sub>i</sub> : Prix du m<sup>3</sup> d'isolant [DA/m<sup>3</sup>]

R<sub>i</sub> : Résistance initiale de l'élément de construction "nu", sans l'isolant [m<sup>2</sup>K/W]. R<sub>i</sub>·λ est L'épaisseur d'isolant équivalent à l'élément nu.

Dj : Nombre de degrés-jour pour le climat considéré, à savoir la somme, sur tous les jours où elle est positive, des différences entre les températures intérieure et extérieure moyennes, durant une année :

$$Dj = \sum T_{iMoy} - \sum T_{eMoy} \text{ avec } T_i > T_e, T : \text{Température}$$

Dv : Durée de vie du bâtiment [années]

P : Prix de l'énergie [DA/J].

η<sub>ch</sub> : Rendement de la production de chaleur.

Pour notre étude nous choisissons le polyuréthane et le polystyrène chacun comme isolant thermique de l'enveloppe choisi. L'épaisseur optimale calculée est illustrée sur la figure.3. Nous cherchons à déterminer l'épaisseur optimale

énergétique, on connaît le prix actuel de l'énergie, mais quel sera-t-il dans 20 ans, alors que l'élément de construction sera toujours utilisé ? Un centimètre d'isolant en plus ne coûte pas cher à l'installation, mais peut coûter cher s'il manque à l'exploitation [1].

Les caractéristiques physiques de l'isolant influent directement sur l'épaisseur optimale de ce dernier. L'épaisseur optimale de polyuréthane est moins que celle du polystyrène à cause de ses caractéristiques physiques notamment la masse volumique et la capacité thermique (tableau 1). Ainsi l'épaisseur optimale de l'isolant varie selon le type d'énergie utilisé [6-7] par exemple GPL, l'électricité, le mazout, le charbon, le gaz naturel et l'énergie géothermique.

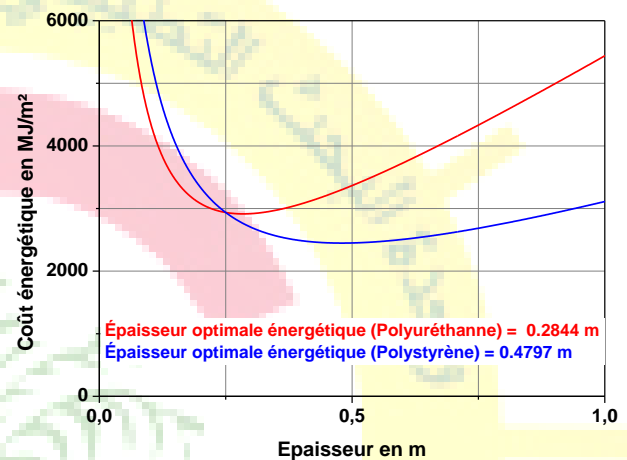


Fig. 1 Epaisseur énergétique

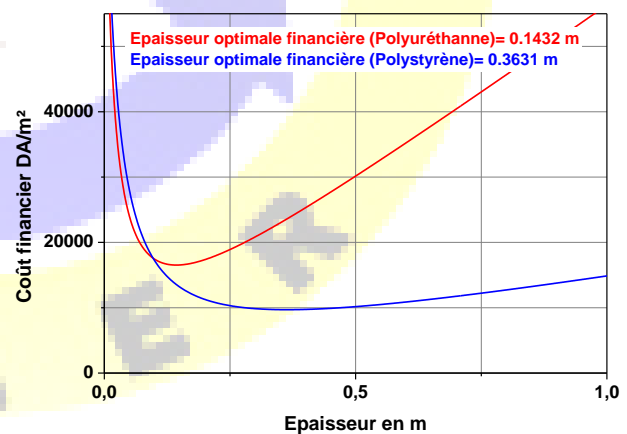


Fig. 2 Epaisseur financière

### III. BILAN GLOBAL ET PARAMETRES DU CONFORT

Dans la majorité des applications à l'habitat, les problèmes traitent les murs plans à frontières isothermes. En effectuant



# Le 5<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 5<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

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



une analogie thermoélectrique, la méthode nodale conduit à la mise en place d'un réseau électrique complexe. On se base sur un modèle proposé par Rumianowski et al [8, 9] en 1989 et repris par Con et al en 2003. Il est souvent utilisé lorsque nous nous intéressons à la détermination de la température d'un nœud à l'intérieur d'un mur. Le bilan énergétique d'une zone de l'habitat qui est un modèle de bilan de l'air de la zone est donné par l'équation suivante :

$$\rho.C.V. \frac{dT_{air}}{dt} = Q_{Gain} + Q_{Surf} + Q_{Ch} + Q_{Ref} + Q_{Inf} + Q_{Vent} \quad (05)$$

L'énergie thermique due à l'échange entre l'air et les surfaces intérieures des murs est calculée par l'équation suivante :

$$Q_{Surf} = \sum S.h_{Con}(T_{surf} - T_{air}) \quad (06)$$

- T : Température (K)  
 ρ : Densité de l'air (kg m<sup>-3</sup>)  
 C : La chaleur spécifique de l'air est supposée constante et estimée à 1008 (m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>, jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)  
 V : Volume d'air (m<sup>3</sup>)  
 Q<sub>Ch</sub> : La puissance thermique fournie par un appareil de chauffage (w), est égale à 0 lorsque le système est sans source d'énergie.  
 Q<sub>Ref</sub> : Puissance thermique fournie par l'équipement de refroidissement (w), est égale à 0 lorsque le système est sans source de refroidissement.  
 Q<sub>Inf</sub> : Gain de puissance thermique due à l'infiltration de l'air (p).  
 Q<sub>Ven</sub> : Gain de puissance thermique due à la ventilation de l'air (p).  
 Q<sub>Surf</sub> : Puissance thermique due à l'échange entre l'air et les murs surfaces intérieures (i), les fenêtres (ii) et les portes (w).  
 Q<sub>Gain</sub> : Gain d'énergie solaire directe grâce à des ouvertures (w), il est supposé que les ouvertures sont fermées, par conséquent, elle est égale à 0.  
 T<sub>air</sub> : Température de l'air à l'intérieur du bâtiment (K)  
 T<sub>Surf</sub> : Température air- surfaces intérieures des murs (K)  
 h<sub>Con</sub> : Coefficient de transfert convectif (w m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>)  
 S : Surface (m)

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air, que l'on définit comme la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné par rapport au maximum qu'il pourrait contenir à une température et une pression données [10]. Nous utilisons la formule empirique de Nadeau et Puiggali, 1995. L'humidité spécifique peut être donnée en fonction de l'humidité relative par les relations suivantes :

$$H_s = \frac{0.622 P_{sat}(T) Hr}{101325 - P_{sat}(T) Hr} \quad P_{sat}(T) = e^{23.3265 - \frac{3802.7}{T} \left[ \frac{472.68}{T} \right]^2} \quad (7)$$

L'Humidex est un indice qui est élaboré à partir de la combinaison de l'humidité et de la température. Il permet d'évaluer l'intensité des conditions météorologiques supportées par les gens [11]. Un indice Humidex de :

- Moins de 15, correspond à une sensation de fraîcheur ou de froid.
- De 15 à 19, Peu de gens sont incommodés.
- De 20 à 29, Sensation de bien-être.
- De 30 à 34, Sensation de malaise plus ou moins grande.
- De 35 à 39, Sensation de malaise assez grande. Prudence. Ralentir certaines activités en plein air.
- De 40 à 45, Sensation de malaise généralisée. Danger. Éviter les efforts.
- De 46 à 53, Danger extrême. Arrêt de travail dans de nombreux domaines.
- Au-dessus de 54, Coup de chaleur imminent (danger de mort) [12].

La formule actuelle de l'indice Humidex a été développée au Canada en 1979 par J. M. Masterton et F. A. Richardson [13]. Son calcul est assez compliqué :

$$H = T + h \quad (8)$$

T : température relevée sous abri normalisé (°C)

$$h = 0.55 (e - 10) \quad (9)$$

e : tension de vapeur saturante telle que

$$e = 6.11 e^{(5417.7530((1/273.16) - (1/Tr)))} \quad (10)$$

Tr : température du point de rosée (°C)

Le point de rosée est une donnée thermodynamique caractérisant l'humidité dans un gaz.

Le point de rosée de l'air est la température à laquelle la pression partielle de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante. Il s'agit donc de la température à laquelle il faut refroidir un volume d'air, à pression et humidité constantes, pour qu'il devienne saturé [14].

Pour calculer la température Tr, nous utilisons la formule d'Heinrich Gustav Magnus-Tetens :

Domaine de validité :

- T, température mesurée : 0 °C < T < 60 °C
- Hr, humidité relative : 1 % < R<sub>H</sub> < 100 %
- Tr, point de rosée : 0 °C < Tr < 50 °C

$$Tr = \frac{b \alpha (T, Hr)}{a - \alpha (T, Hr)} \quad (11)$$

Avec:



$$\alpha(T, Hr) = \frac{aT}{b+T} + \ln(Hr) \quad (12)$$

a = 17, 27 et b = 237, 7 (°C).

#### IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La modélisation-simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable [15]. Avec un programme développé sous l'environnement de simulation "MATLAB", [16-17], on pourra décrire l'évolution des températures intérieures, les humidités relatives et l'Humidex que se soit en été ou en hiver pour une teneur en eau de l'air constante.

Notre étude consiste à voir l'influence de la compacité. Le premier cas correspond à une enveloppe exposée à tous niveaux (toit et ses quatre façades  $Sp/V=1.32$ ). Le deuxième

correspond à un espace dont uniquement le mur extérieur Sud est exposé aux conditions extérieures ( $Sp/V=0.31$ ). L'indice de compacité ( $Sp/V$ ) est par définition le rapport entre la surface de l'enveloppe en contact avec l'extérieur et le volume de l'espace. On s'intéresse à la température et à l'humidité afin d'améliorer l'indice de confort Humidex. Les courbes tracées ci-dessous donnent les différents profils en faisant une comparaison entre deux épaisseurs d'isolation : 0.05 m et l'épaisseur énergétique optimale. Les épaisseurs énergétiques optimales sont celles du polystyrène ( $e_{pener} = 0.47m$ ) et du polyuréthane ( $e_{pener} = 0.28m$ ).

Le polystyrène est utilisé pour avoir les résultats affichés de la figure 3 pour une période hivernale.

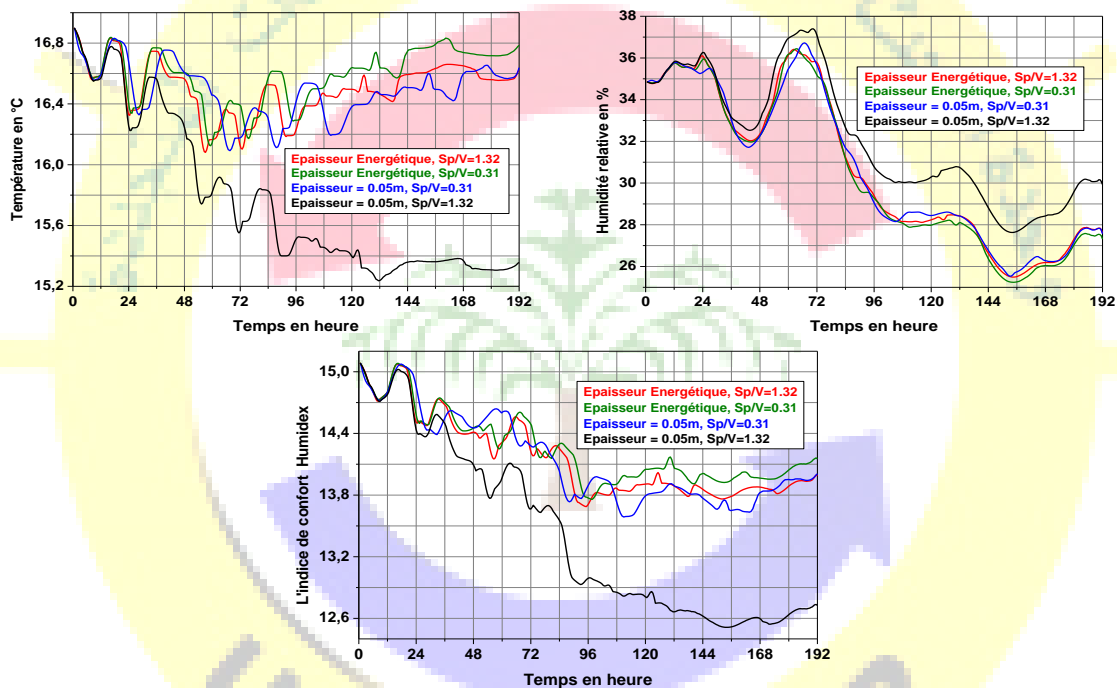


Fig.3: Température, humidité relative et l'Humidex pour l'air intérieur d'un espace bureau isolé par une couche du polystyrène, du 26/12/2014 au 03/01/2015.

Le polyuréthane est utilisé pour les résultats affichés de la figure 4 au cours d'une période froide





# Le 5<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 5<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

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

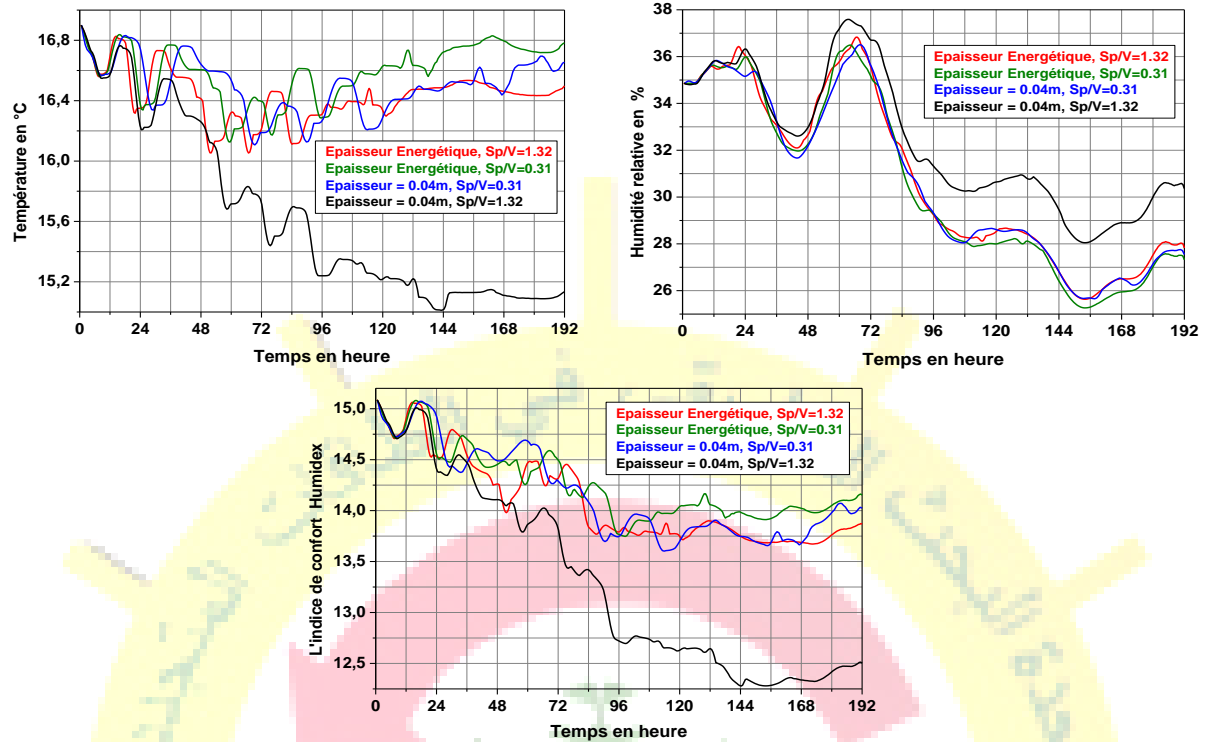


Fig.4: Température, humidité relative et l'Humidex pour l'air intérieur d'un espace bureau isolé par une couche du polyuréthane, du 26/12/2014 au 03/01/2015.

Les mêmes démarches vont être suivies pour la période estivale, la figure 5 donne les différents profils en choisissant le polystyrène. Pour le polyuréthane les courbes obtenues sont décrits dans la figure 6.

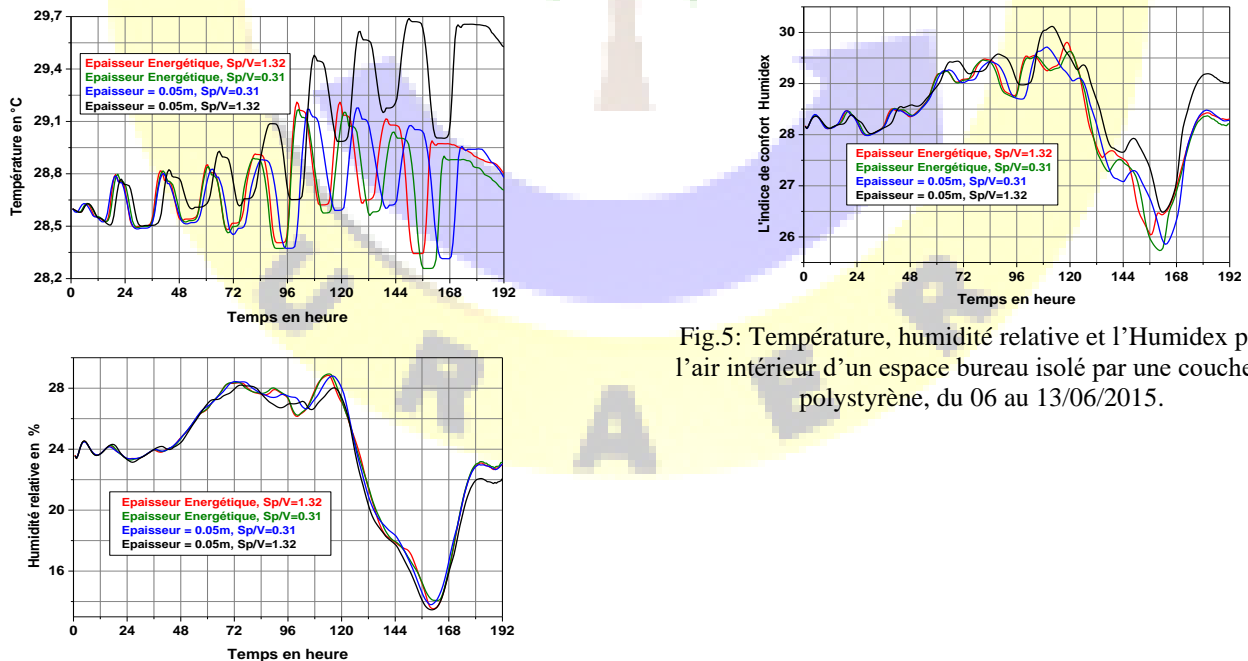


Fig.5: Température, humidité relative et l'Humidex pour l'air intérieur d'un espace bureau isolé par une couche du polystyrène, du 06 au 13/06/2015.



# Le 5<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 5<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

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

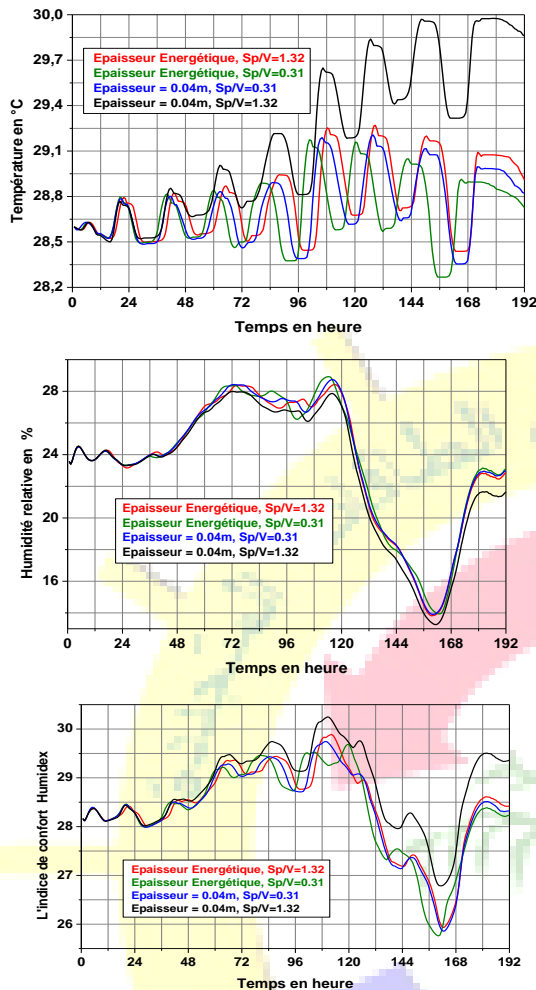


Fig.6: Température, humidité relative et l'Humidex pour l'air intérieur d'un espace bureau isolé par une couche du polyuréthane, du 06 au 13/06/2015.

Les résultats obtenus sont presque identiques, ce qui justifie que l'épaisseur optimale du polyuréthane est équivalente à l'épaisseur optimale du polystyrène, ceci donne une crédibilité à ce modèle mathématique (équations 1, 2, 3 et 4). Il est constaté aussi que la compacité influence sensiblement pour des faibles épaisseurs en les comparant par rapport aux épaisseurs optimales. Par contre cette influence est quasiment négligeable pour des épaisseurs optimales.

Les résultats indiquent une divergence en température entre les trois premiers cas et le quatrième qui représente le cas où l'édifice est couvert par une isolation de 0.05 m d'épaisseur en polystyrène ou de 0.04 m de polyuréthane pour une mauvaise compacité ( $Sp/V = 1.32$ ). Ceci est dû certainement à la différence de compacité entre les cas. Une bonne compacité pour une épaisseur optimale permet de maintenir les températures intérieures et minimiser ses

fluctuations. En ce qui concerne l'humidité relative de l'air, sa variation dans cet exemple est inversement proportionnelle par rapport à la température optimale. La cause principale est due à la valeur du débit massique de l'air entrant qui est considéré nul, donc, la teneur en eau de l'air restera constante. Si cette teneur est variable, c'est-à-dire qu'il aura un débit massique de l'air entrant, l'humidité se comporte différemment par rapport à la température et elle ne sera pas par la suite inversement proportionnelle. Le comportement se différencie complètement dans ce type de situation.

Cependant, l'indice du confort Humidex prouve qu'il y avait un certain inconfort pour le quatrième cas (mauvaise compacité et avec une épaisseur thermique non optimale). Pour les autres cas, et durant cette période, les valeurs de l'Humidex sont conformes aux normes du confort vu que les valeurs sont inférieures à 30. En hiver, une sensation de fraîcheur s'est indiquée puisque les valeurs au cours de cette période sont inférieures à 15. En effet, il est clair que les trois premiers cas sont les plus favorables en terme de confort par rapport au quatrième. Pour obtenir un confort satisfaisant, notamment des valeurs de l'Humidex supérieures à 20, la solution proposée consiste à varier les conditions initiales à l'intérieur du bâtiment. Comme exemple, en augmentant la température intérieure initiale du bâtiment vers 25 °C, on pourra améliorer sensiblement le confort atteint.

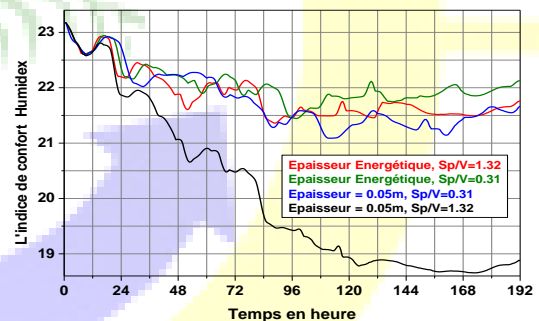


Fig.7 : L'indice du confort Humidex pour une période hivernale allant du 26/12/2014 jusqu'au 03/01/2015, le matériau isolant est le polystyrène

### V. CONCLUSION

La réduction des consommations d'énergie dans le bâtiment est un enjeu majeur pour faire face à la raréfaction des ressources énergétiques fossiles et au problème du changement climatique. Pour répondre à ce défi, l'utilisation des paramètres passifs tel que l'isolation des bâtiments est une nécessité et représente un moyen efficace et rentable. Dans notre étude on peut conclure d'après les résultats obtenus que la compacité influence directement sur l'épaisseur optimale d'isolation thermique et minimiser ce



## Le 5<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 5<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

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



dernier jusqu'aux 1/3 pour le polyuréthane et 1/5 pour le polystyrène, ces valeurs sont inférieures à l'épaisseur financière de chaque isolant choisi. Ainsi l'avantage de cette étude est de négliger le choix de l'utilisation de l'isolant thermique puisque 0.05 m de polystyrène s'avère équivalent à 0.04 m de polyuréthane pour une bonne compacité. Ces aspects permettent de minimiser aussi le coût de construction et le coût de consommation énergétique du bâtiment. Selon les résultats, nous devons privilégier l'utilisation de :

- L'épaisseur optimale pour les bâtiments isolée (à 4 façades).
- L'épaisseur de 0.05 m de polystyrène pour un bâtiment à bonne compacité.

#### REFERENCES

- [1] C. A. Roulet, Énergétique du bâtiment I et II. Presses Polytechniques et Universitaires, Romandes, Lausanne, 1987.
- [2] Philippe Deshayes, « Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : logiques d'innovation et/ou problématiques du changement », Innovations 2012/1 (n°37), p. 219-236. DOI 10.3917/inno.037.0219S.
- [3] h. necib, r. belakroum, k. belakroum Amélioration de l'isolation thermique des habitats dans les régions chaudes et arides Université de kasdimerbah, bp 511, 30000 Ouargla, n.hichem1@gmail.com
- [4] <https://maison-en-conception.fr/pourquoi-il-existe-une-epaisseur-optimale-disolant-pour-votre-maison-et-comment-la-connaître/>
- [5] Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. Livre de Claude-Alain Roulet
- [6] AhmetFertelli determination of optimum insulation thickness for different building walls in turkey
- [7] A study on determination of optimum thermalinsulation thickness using life cycle cost analysis
- [8] Laurent MORA, Prédiction des performances thermo-aérauliques des bâtiments par association de modèles de différents niveaux de finesse au sein d'un environnement orienté objet, Thèse de doctorat en génie civil, université de la Rochelle UFR sciences fondamentales et sciences pour l'ingénieur, Septembre 2003.
- [9] P. Rumianowski, J. Brau, J.J Roux, An adapted model for simulation of the interaction between a wall and the building heating system. In Proceedings of the thermal performance of the exterior envelopes of buildings IV Conference Orlando, USA, p. 224-233, 1989.
- [10] <http://www.meteo-mussidan.fr/hum.php>.
- [11] Application de quelques notions de la conception bioclimatique pour l'amélioration de la température interne d'un habitat Thèse de doctorat en sciences physiques (P : 99) option : physique électronique et modélisation par Mr : Haddam Muhammad Abdalkhalq Chuayb.
- [12] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice\\_humidex](https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice_humidex)
- [13] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Point\\_de\\_ros%C3%A9](https://fr.wikipedia.org/wiki/Point_de_ros%C3%A9)
- [14] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. K. Cherier, M. Hamdani, M. R. Yaïche et N Benamrane, Influence of the Compactness Index to Increase the Internal Temperature of a Building in Saharan Climate, Elsevier, Energy and Buildings Vol.66 (2013) pp. 678-687
- [15] S.M.A. Bekkouche, Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires, Thèse de Doctorat en Physique Electronique et Modélisation, Université de Tlemcen, Mai 2009.
- [16] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz and A. Cheknane, A modelling Approach of Thermal Insulation Applied to a Saharan Building. Thermal Science, Vol 13 (2009), No. 4, pp. 233-244.