



L'apport de la compacité par rapport à la hauteur des murs & Cas d'une construction multizone

A. Benkhelifa ^{1,2*}, S.M.A. Bekkouche ¹, T. Allaoui ²

¹ Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie

² Université Ibn-Khaldoun Tiaret

* az_benkhelifa@yahoo.fr

Résumé — Cet article propose une approche afin de prédire la contribution de la taille des murs sur la température intérieure d'une construction multizone à Ghardaïa. Nous utilisons l'indice de compacité, parfois appelée le facteur de forme, qui est une valeur numérique et qui représente le degré auquel la forme est compacte. La méthode nodale a été utilisée pour décrire le comportement de la température de l'air soumis à des sollicitations diverses. Les approches adaptatives proposées ont été basées sur des constatations et des lois connues en thermique. Les calculs montrent que les meilleurs résultats peuvent être obtenus lorsque la hauteur des parois est plus élevée.

Mots-clés — Méthode nodale, Température, Indice de compacité, Facteur de forme, Modèle multizone, Hauteur des murs.

I. INTRODUCTION

En Algérie, le secteur du bâtiment représente plus de 34% de la consommation globale nationale qui avait atteint 30 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP), ces chiffres font de lui le plus grand consommateur d'énergie sur l'ensemble du secteur économique. L'énergie dépensée dans le chauffage des espaces occupées dans le secteur résidentiel vient en tête de liste avec 46% de la consommation totale dans le secteur du bâtiment, qui inclut la cuisson des aliments (22%), la production de l'eau chaude (13%), et les utilisations électriques (19%). A l'échelle mondiale, le secteur du bâtiment représente de 30 à 40% de la consommation d'énergie et contribue avec 30% dans l'ensemble des émissions de gazes à effet de serre.

Les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (HVAC), qui consomment de grandes quantités d'énergie, sont devenus une nécessité pour l'ensemble des bâtiments

(ASHRAE, 1992) afin d'assurer un environnement intérieur confortable. Cet environnement n'est pas lié uniquement aux conditions thermiques, il dépend aussi d'autres facteurs tels que la qualité de l'air intérieur, l'éclairage intérieur, et l'acoustique. L'interaction de ces paramètres les uns avec les autres, peut avoir des conséquences sur le confort intérieur global et sur la consommation énergétique du bâtiment. L'enjeu est comment améliorer le confort des occupants tout en réduisant la consommation de l'énergie, car lorsqu'on projette atteindre certaines conditions intérieures il doit être nécessaire de mentionner que c'est en terme de coût d'énergie, des études paramétriques doivent être réalisées pour trouver une solution optimale. Parmi les principaux aspects de l'environnement interne à prendre en considération, on peut citer : le confort thermique, la qualité de l'air, l'éclairage intérieur et le confort acoustique.

Dans ce travail, la simulation thermique a été effectuée pour différentes hauteurs des murs du bâtiment multizone afin d'établir l'effet de la variation de la taille des parois sur la température de l'air intérieur du bâtiment. Nous utilisons la compacité tant qu'indice qui représente le degré auquel la forme est compacte. La méthode nodale a été utilisée pour décrire le comportement de la température de l'air soumis à des sollicitations diverses.

II. EQUATIONS ET METHODE ADOPTEE

Au départ, les codes de calcul étaient le plus souvent monozones. C'était une hypothèse tout à fait réaliste sous réserve que les pièces aient un



comportement identique (mêmes conditions d'exposition, de traitement d'air, constitution des parois, ...). L'évolution s'est ensuite traduite par la prise en compte du multizonage. La modélisation d'un bâtiment dans sa globalité est en général constituée d'un réseau complexe de résistances et de capacités thermiques entre les différentes zones internes du bâtiment et entre ces zones et l'environnement du bâtiment. La connaissance des fondamentaux en thermique de l'habitat permettra de bien analyser ces flux d'énergie.

Dans la thermique du bâtiment, les variations de mass dans le temps représentent des quantités très faibles, la variation d'enthalpie peut être assimilée uniquement à la variation de la température. Le bilan énergétique d'une zone de l'habitat représenté par un nœud est un modèle de bilan de l'air de la zone, ce qui représente la capacité thermique du volume d'air de la zone. La variation de l'énergie de l'air de la zone dans l'intervalle de temps dt est donnée par l'équation 1 :

$$\rho_{\text{air}} C_{\text{air}} V_{\text{air}} \frac{dT_{\text{air}}}{dt} = Q_{\text{Gain}} + Q_{\text{Surf}} + Q_{\text{chauffr}} + Q_{\text{refr}} + Q_{\text{Inf}} + Q_{\text{Vent}} \quad (1)$$

L'énergie d'une couche active et l'énergie stockée dans les murs font partie de ce bilan et plus particulièrement du bilan détaillé de surfaces. L'énergie thermique due à l'échange entre l'air et les surfaces intérieures des murs est calculées par l'équation 2 :

$$Q_{\text{Surf}} = \sum Sh_{\text{Conv}} (T_{\text{Surf}} - T_{\text{air}}) \quad (2)$$

Le modèle proposé repose sur certaine hypothèses:

- La voûte céleste est assimilée à un corps noir pour les radiations de grandes longueurs d'ondes.
- Les transferts thermiques à travers les parois sont supposés unidirectionnels, perpendiculairement à ces parois
- La convection est naturelle.
- Les caractéristiques des matériaux sont constantes et indépendantes des conditions météorologiques.
- Le raisonnement est basé sur la méthode nodale.

Nous obtenons un système d'équations à N inconnues de telle sorte que chacun représente la température de l'air de la zone à considérer. Les températures de surfaces seront obtenues en faisant les bilans thermiques des faces internes des parois de l'enveloppe. La méthode numérique de Runge

Kutta d'ordre quatre a été utilisée pour décrire le comportement de la température de l'air de cette zone.

Dans ces travaux, nous considérons que les échanges thermiques, nous ne prenons pas en compte les échanges dus à l'infiltration et au renouvellement d'air, nous ne considérons pas aussi les échanges provenant des autres sources de chaleur. Pour plus de détail consulter les références [1-4].

III. PREDICTION ADAPTEE A L'ETUDE DE LA COMPACTITE PAR RAPPORT A LA TAILLE DES MURS

La forme d'un bâtiment est l'un des principaux paramètres à prendre en considération lors du processus de conception d'un nouveau projet architectural. Il influence aussi bien la demande en énergie pour refroidir ou chauffer l'espace occupé que les coûts de construction. Certains travaux [1,5] ont traité la relation entre la forme du bâtiment et la consommation d'énergie ou il a été mis au point une méthode d'analyse simplifiée pour prédire l'impact de la morphologie d'un immeuble de bureaux sur l'énergie nécessaire pour le refroidissement. Ils ont conclu que l'optimisation de la forme d'un bâtiment est un élément essentiel si on veut réduire les coûts de construction et réduire la consommation d'énergie.

Pour analyser l'effet de la géométrie d'une construction sur ses performances énergétiques, on a tendance à utiliser un indicateur, appelé facteur de forme ou indice de compacité qui est défini comme étant le rapport entre la surface de l'enveloppe du bâtiment S et son volume intérieur V . Lorsque l'indice de compacité prend des valeurs plus petites, le bâtiment est plus économe en énergie car on chauffe le même volume avec moins de surfaces déprédatives. Plus la surface de l'enveloppe est grande, plus les pertes de chaleur augmentent et par conséquent l'indice de compacité prend des valeurs plus élevées ce qui engendre plus de consommation d'énergie. Pour réduire le coût et la consommation d'énergie d'un bâtiment, la solution est d'opter pour une forme compacte, mais du point de vue



architectural un bâtiment hyper-compact n'est pas souhaitable, donc un compromis doit être trouvé lors de la conception du projet.

A. Modification du bilan sensible (y compris le modèle de conduction)

Par ailleurs, la variation de la hauteur des murs provoque une variation de la géométrie du bâtiment, ce qui implique un changement de l'indice de compacité. Compte tenu de cette raison, le présent travail étudie différents cas où la hauteur des murs est modifiée. Cette variation entraîne un changement de la forme géométrique du bâtiment. Cela provoque automatiquement une modification de la surface d'échange avec l'air intérieur (échange de chaleur par convection) et avec les autres surfaces qui entourent la même zone (échange de chaleur par rayonnement). Ce mode de transfert est identifié par l'expression $\sum_{i=1}^m S F_{Surf-i} \sigma (T_i^4 - T_A^4)$

incorporée dans le modèle de conduction global [1-4] et plus précisément dans l'équation suivante :

$$C_A \frac{dT_A}{dt} = \frac{T_M - T_A}{R_A} + \sum_{i=1}^m S F_{Surf-i} \sigma (T_i^4 - T_A^4) + S h_{conv} (T_{air} - T_A) \quad (3)$$

Ceci prouve que ce flux dépend des surfaces d'échange des différents murs opaques, des températures des murs et du facteur de forme entre les surfaces réceptrice et émettrice. De ce facteur, on peut décrire l'agencement d'une surface par rapport à l'autre. Par conséquent, la variation de la hauteur du mur évoque un changement radical de ce facteur qui est purement géométrique. En effet, la détermination du facteur de forme est généralement difficile, les chercheurs préfèrent utiliser des abaques quand ils existent, au lieu de chercher des solutions analytiques. Dans ce travail, nous allons utiliser des solutions analytiques qui ont de nombreux avantages, en particulier la précision. En résumé, nous pouvons conclure que lors du changement de la taille des murs, il y aura automatiquement des changements radicaux dans l'équilibre sensible et latent, car les flux de chaleur

échangés par conduction, convection et rayonnement seront également modifiés.

B. Calcul du facteur de forme [6]

Premièrement, nous sommes intéressés par le calcul du facteur de forme entre deux surfaces rectangulaires planes et parallèles, de dimensions quelconques, centrées et/ou non centrées. À cet égard, un schéma descriptif du problème géométrique est donné par la figure 1.

Supposons que :

$$MM=r, OO'=r_0(a_0, b_0, 0), O'M'=r'(X', Y', 0),$$

$$r^2 = (X - X' - a_0)^2 + (Y - Y' - b_0)^2 + d^2,$$

$$O'O' = d, \cos\theta = \cos\theta' = d/r$$

Dimensions des surfaces:

$$-a < X < +a \quad -b < Y < +b \quad -a' < X' < +a' \quad -b' < Y' < +b'$$

Le facteur de forme est calculé par la résolution de l'intégrale suivante :

$$F_{12} = \frac{1}{\pi S'} \iint_{S'} \frac{\cos(\theta) \cos(\theta') ds ds'}{r^2} = \frac{d^2}{\pi S'} \iint_{S'} \frac{ds ds'}{r^4} \quad (4)$$

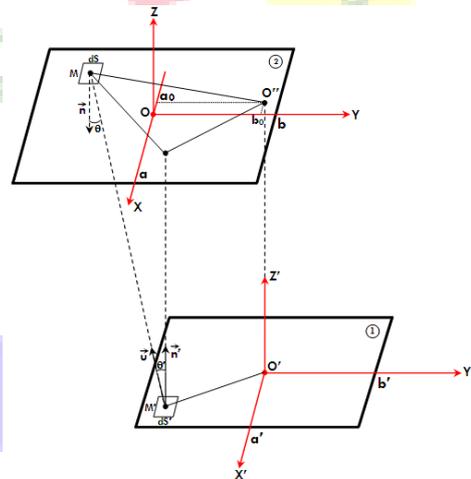


Fig. 1. Surfaces rectangulaires planes et parallèles

Afin de pouvoir généraliser les résultats, on introduira les dimensions réduites des surfaces que l'on notera ainsi.

$$X = a/d \quad Y = b/d \quad X_0 = a_0/d \quad X' = a'/d \quad Y' = b'/d \quad Y_0 = b_0/d$$

L'équation 4 devient :



$$F_{12} = \frac{1}{8\pi X' Y'} \left(\begin{aligned} & (X - X_0 + X', Y - Y_0 + Y') - F(X - X_0 + X', Y - Y_0 - Y') \\ & + F(X - X_0 + X', Y + Y_0 - Y') - F(X - X_0 + X', Y + Y_0 - Y') \\ & - F(X - X_0 - X', Y - Y_0 + Y') + F(X - X_0 - X', Y - Y_0 - Y') \\ & + F(X - X_0 - X', Y + Y_0 - Y') + F(X - X_0 - X', Y + Y_0 - Y') \\ & + F(X + X_0 + X', Y - Y_0 + Y') - F(X + X_0 + X', Y - Y_0 - Y') \\ & + F(X + X_0 + X', Y + Y_0 - Y') - F(X + X_0 + X', Y + Y_0 - Y') \\ & - F(X + X_0 - X', Y - Y_0 + Y') + F(X + X_0 - X', Y - Y_0 - Y') \\ & + F(X + X_0 - X', Y + Y_0 - Y') - F(X + X_0 - X', Y + Y_0 - Y') \\ & - F(X + X_0 - X', Y - Y_0 + Y') + F(X + X_0 - X', Y - Y_0 - Y') \\ & + F(X + X_0 - X', Y + Y_0 - Y') - F(X + X_0 - X', Y + Y_0 - Y') \end{aligned} \right)$$

Avec

$$F(u, v) = u\sqrt{v^2 + 1} \operatorname{Arctg} \frac{u}{\sqrt{v^2 + 1}} + v\sqrt{u^2 + 1} \operatorname{Arctg} \frac{v}{\sqrt{u^2 + 1}} - \frac{1}{2} \operatorname{Ln}(u^2 + v^2 + 1) \quad (6)$$

Cette formule complexe, mais facile à programmer, est d'une grande importance. Elle contient tous les cas de figures pour calculer les facteurs de formes de n'importe quelles surfaces planes et parallèles, rectangulaires ou carrées, centrées ou non.

Le deuxième cas correspond à des surfaces planes rectangulaires formant un dièdre droit figure 2. Supposons que :

$$\begin{aligned} MM' &= r, \quad OM' = \rho'(X', Y', 0), \quad OM = \rho(0, Y, Z), \\ \cos \theta' &= (Z/r) \cos \theta = X'/r \quad r^2 = X'^2 + (Y - Y')^2 + Z^2 \end{aligned}$$

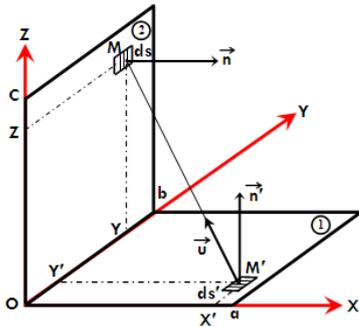


Fig. 2. Surfaces rectangulaires planes formant un dièdre droit

Le facteur de forme est calculé par la résolution de l'intégrale suivante :

$$F_{12} = \frac{1}{\pi S'} \iint_{S' S} \frac{X' Z ds' ds}{r^4} \quad (7)$$

Nous introduisons les coordonnées réduites suivantes.

$$X = a/b \quad Z = c/b$$

Nous obtenons l'équation suivante:

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi X} (F(X, Z) - F(X, 0) - F(0, Z)) \quad (8)$$

Avec

$$F(u, v) = -4\sqrt{u^2 + v^2} \operatorname{Arctg} \frac{1}{\sqrt{u^2 + v^2}} + (u^2 + v^2 - 1) \operatorname{Ln}(u^2 + v^2 + 1) - (u^2 + v^2) \operatorname{Ln}(u^2 + v^2) \quad (9)$$

C. Plan descriptif de la maison étudiée

L'étude a été réalisée sur une maison réelle située à L'URAER-Ghardaïa. La figure 3 représente un schéma descriptif de l'appartement, il dispose d'une surface de 95,74 m² avec un espace de vie de 71,3 m², la hauteur des murs est égale à 2,8 m. Le système constructif est un système poteaux poutres, avec des planchers à corps creux. Il existe deux variétés de murs, les murs d'extérieur qui se composent de plusieurs matériaux de construction (pierre, ciment, enduit, sable...etc.). À l'inverse, les murs de l'intérieur (les cloisons) se composent de pierre, ciment, enduit, sable...etc (voir tableau 1). Les façades de cet immeuble se subdivisent en deux types, l'une est principale et l'autre secondaire. Les deux façades principales, la première est orientée Nord-est et la deuxième est orientée Sud-ouest, comprennent plusieurs ouvertures. Les deux façades secondaires, la première est orientée Sud-est, la deuxième est orientée Nord-ouest, ne portent aucune ouverture

TABLE I.
PROPRIETES THERMIQUES, EPAISSEURS DES MURS ET CARACTERISTIQUES DE L'ENVELOPPE

	Matériaux et composition des murs	L (m)	λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)	ρ (kg m ⁻³)	Cp (J kg ⁻¹ K ⁻¹)
Murs extérieurs	Mortier de ciment	0,015	1,4	1800	1000
	Pierre	0,4	2,3	2000	1000
	Mortier de ciment	0,015	1,4	1800	1000
	Plâtre	0,01	0,56	1400	1000
Murs intérieurs	Mortier de ciment	0,015	1,41	1800	1000
	Plâtre argile	0,01	0,45	1200	840
	Pierre	0,15	2,3	2000	1000
	Plâtre argile	0,01	0,45	1800	1000
Sol	Carrelages	0,025	6,14	2300	875
	Ciment	0,02	1,4	1800	1000
	Béton dense	0,2	2,4	2400	800
Toiture	Plâtre	0,015	0,56	1400	1000
	Béton léger	0,12	0,33	800	719
	Mortier de ciment	0,015	1,4	1800	1000

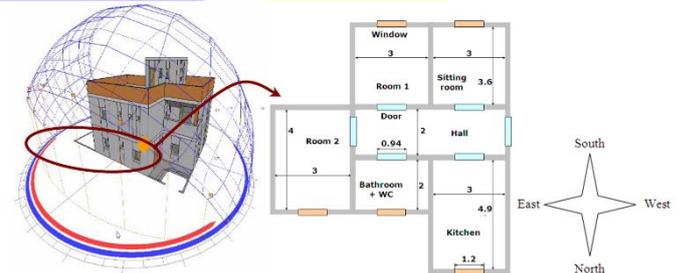


Fig. 3. Plan descriptif de l'appartement

La division de la maison en zones thermiques provoque un réseau de nœuds de température. Nous avons attribué un type à chaque nœud. Les nœuds sont concernés par des phénomènes différents. Pour un même bâtiment, lorsque la



structure de nœud est établie, il est facile de remplir chaque élément du modèle mathématique.

D. Variation de la Hauteur des Murs

La mesure de la compacité d'une forme, parfois appelée le facteur de forme, est une valeur numérique qui représente le degré auquel la forme est compacte. Plusieurs mesures de compacité sont utilisées. Cependant, dans tous les cas, ce sont des nombres sans dimension, indépendants de l'échelle et de l'orientation, et peuvent être appliqués à toutes les formes géométriques. Le principal impact de la compacité d'un bâtiment du point de vue climat intérieur est son effet sur la surface de l'enveloppe par rapport à la surface du plancher ou le volume de l'espace, et donc, le taux de l'échange de chaleur de l'édifice avec l'extérieur. Les mesures de compacité peuvent être définies généralement comme des fonctions de volume et de surface. Les mesures de compacité les plus courantes sont fonction du quotient de compacité, indiquée par le rapport S/V , S : la surface de l'enveloppe du bâtiment, V : volume du bâtiment.

Plusieurs études ont prouvé que ce facteur est un indice très déterminant pour le confort thermique. Le but de cette partie numérique entre dans ce contexte, nous voulons voir comment la hauteur des murs peut affecter la température de l'air intérieur. Nous sommes intéressés à l'identification de la température de l'air intérieur en faisant varier la taille des parois opaques. Par conséquent, comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, la variation de la hauteur des murs évoque un changement radical dans le facteur de forme. Les tableaux 2-3 en annexe présente un état récapitulatif des valeurs calculées pour chaque zone et pour des différentes hauteurs.

E. Résultats et discussions

Les simulations réalisées permettent d'illustrer l'effet de la hauteur des murs sur la température de l'air intérieur. Nous avons obtenu des résultats pour différentes hauteurs. Toute variation de la hauteur des murs engendre un changement de l'indice de compacité du bâtiment. Il y aura donc des changements radicaux dans l'équilibre sensible car les flux de chaleur échangés par conduction, convection et rayonnement seront également modifiés.

Pour une hauteur de 3,6 m, l'indice de compacité est de 1,319; pour une hauteur égale à 5m, on aura un indice qui égale à 1.241 et pour une hauteur égale à 10m, l'indice de compacité deviendra cette fois-ci 1.141. La taille (hauteur) des murs est donc proportionnelle par rapport à l'indice de compacité.

Pour exposer quelques résultats illustratifs, nous avons choisi les jours du 28-30 janvier 2015 correspondant au site de Ghardaïa. Les courbes tracées donnent une idée sur les variations instantanées de l'éclairement solaire sous un ciel

totallement clair, la température ambiante et la vitesse du vent respectivement.

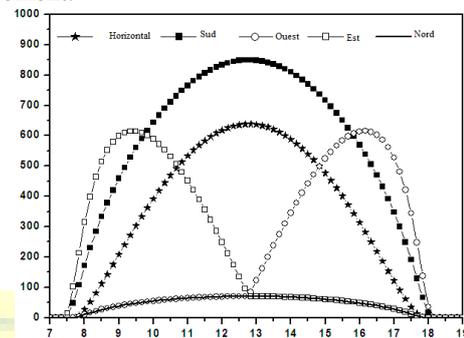


Fig. 4. Eclairement solaire incident sur les différents murs extérieurs, Ghardaïa le 28 janvier

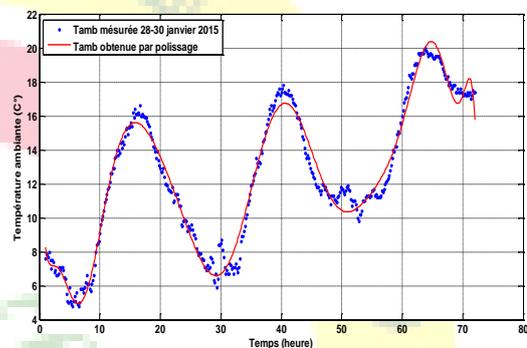


Fig. 5. Variation de la température ambiante, Ghardaïa les 28-30 janvier 2015

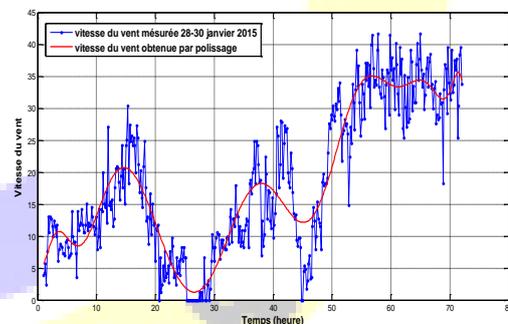


Fig. 6. Variation de la vitesse du vent, Ghardaïa les 28-30 janvier 2015

La figure 7 est un exemple qui permet de montrer la variation des températures de l'air intérieur de la salle de séjour selon les différents cas proposés.

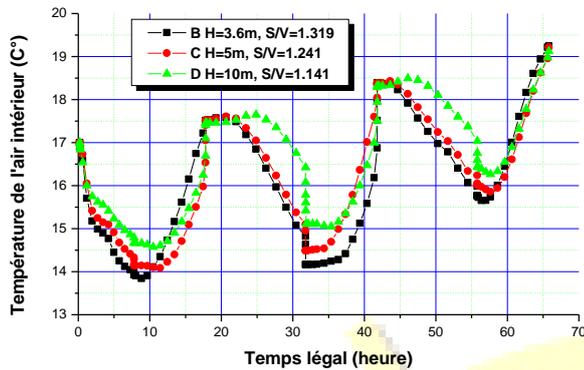


Fig. 7. Température de l'air intérieur de la salle de séjour

Selon les résultats obtenus, nous confirmons que la géométrie la plus favorable est celle qui correspond au plus faible indice. Le confort est inversement proportionnel par rapport à l'indice de compacité. Les variations des températures intérieures seront plus perceptibles lorsque la hauteur des murs prend des valeurs plus élevées.

IV. CONCLUSION

Vu l'intérêt évident de ce sujet, on peut dire que nous avons acquis à la mise au point d'un modèle mathématique qui peut prédire les températures intérieures. Ce modèle intègre à la fois les propriétés géométriques et physiques d'une maison individuelle. Le traitement de ce sujet nécessite une simulation qui permet des calculs parfaitement ciblés en rapport avec des compétences précises qu'il s'agit de les mettre en jeu. Les approches adaptatives proposées ont été basées sur des constatations et des lois connues en thermique. Elles prouvent que l'enveloppe est, naturellement, le lieu privilégié des relations entre espaces intérieurs et extérieurs. Il s'agit, alors, de gérer simultanément le rôle que joue la paroi du bâtiment, et celui qu'elle assure comme élément de contrôle des échanges intérieurs/extérieurs.

Privilégier une forte compacité revient, à limiter la surface de déperdition du bâtiment par rapport au volume habitable. Les variations des températures intérieures seront plus perceptibles lorsque la hauteur des murs prend des valeurs plus élevées. La compacité dépendant directement de l'architecture du bâtiment, il est difficile de lui donner des limites chiffrées.

Dans un contexte urbain, la liberté en termes de volumes est souvent fortement limitée. Des démarches doivent être respectées, qui contraignent parfois l'architecture. C'est pourquoi une compacité performante et une bonne inertie sont préconisées pour que la maison soit réellement économe.

NOMENCLATURE

h_{Conv}	: coefficient de flux de chaleur échangé par convection ($w m^{-2} K^{-1}$)
T	: température (K)
ρ_{air}	: densité de l'air ($kg m^{-3}$)
C_{air}	: la chaleur spécifique de l'air est supposée constante et estimée à $1008 (m^2 s^{-2} K^{-1}, j kg^{-1} K^{-1})$
V_{air}	: volume d'air (m^3)
Q_{Chauff}	: la puissance thermique fournie par un appareil de chauffage (w), est égale à 0 lorsque le système est sans source d'énergie.
Q_{refr}	: puissance thermique fournie par l'équipement de refroidissement (w), est égale à 0 lorsque le système est sans source de refroidissement.
Q_{Inf}	: gain de puissance thermique due à l'infiltration de l'air (p).
Q_{Vent}	: gain de puissance thermique due à la ventilation de l'air (p).
Q_{Surf}	: puissance thermique due à l'échange entre l'air et les murs surfaces intérieures (i), les fenêtres (ii) et les portes (w).
Q_{Gain}	: 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.

REFERENCES

- [1] S.M.A Bekkouche, *Judicious choice of the building compactness to improve thermo-aerulic confort in hot climat*, *Journal of Building Engineering*, 20015.
- [2] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. K. Cherier, M. Hamdani, M. R. Yaiche 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.
- [3] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.K. Cherier, M. Hamdani, N. Benamrane, M.R. Yaiche, *Thermal resistances of local building materials and their effect upon the interior temperatures case of a building located in Ghardaïa region*, *Construction and Building Materials* 52 (2014) 59-70.
- [4] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. K. Cherier, M. Hamdani, R. M Yaiche, R. Khanniche (2013), *Influence of building orientation on internal temperature in Saharan climates, building located in Ghardaïa region (Algeria)*, *International Scientific Journal, Thermal Science*, 2013, Vol. 17, No. 2, pp. 349-364.
- [5] P. Depecker, C. Menezo, J. Virgone, Lepers, S. 2001. Design of buildings shape and energetic consumption, *Building and Environment* 36:627-635.
- [6] G. Ritoux, *Evaluation numérique des facteurs de forme*, *Revue Physique Appliquée*, 1982.



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 et 25 Octobre 2016



TABLE III.
FACTEURS DE FORME CALCULEES POUR DIFFERENTS HAUTEURS DES MURS: SEJOUR, CHAMBRES 1 ET 2

Séjour et chambre 1					Chambre 2				
Facteur de forme	Hauteur des murs				Facteur de forme	Hauteur des murs			
	2.8	4	5	6		2.8	4	5	6
F_3-9/ F_28-34	0.1646	0.1997	0.2192	0.2333	F_53-56	0.2111	0.2391	0.2547	0.2660
F_3-12/ F_28-37	0.1762	0.1494	0.1301	0.1143	F_53-59	0.2258	0.1795	0.1522	0.1315
F_3-16/ F_28-41	0.1646	0.1997	0.2192	0.2333	F_53-63	0.1235	0.1183	0.1093	0.0995
F_3-19/ F_28-44	0.1034	0.1420	0.1642	0.1806	F_53-66	0.0309	0.0193	0.0138	0.0102
F_3-22/ F_28-47	0.0338	0.0296	0.0262	0.0234	F_53-69	0.1721	0.2082	0.2284	0.2431
F_3-23/ F_28-48	0.1762	0.1494	0.1301	0.1143	F_53-72	0.0390	0.0309	0.0263	0.0229
F_6-9/ F_31-34	0.0412	0.0325	0.0276	0.0240	F_53-73	0.2258	0.1795	0.1522	0.1315
F_6-12/ F_31-37	0.0441	0.0243	0.0164	0.0118	F_56-59	0.2284	0.1793	0.1508	0.1296
F_6-16/ F_31-41	0.0412	0.0325	0.0276	0.0240	F_56-63	0.1267	0.1542	0.1696	0.1809
F_6-19/ F_31-44	0.1206	0.1892	0.2464	0.3035	F_56-66	0.0317	0.0251	0.0214	0.0186
F_6-22/ F_31-47	0.0394	0.0394	0.0394	0.0394	F_56-69	0.1820	0.2221	0.2436	0.2589
F_6-23/ F_31-48	0.0441	0.0243	0.0164	0.0118	F_56-72	0.0412	0.0330	0.0281	0.0244
F_9-12/ F_34-37	0.2217	0.1734	0.1455	0.1249	F_56-73	0.2284	0.1793	0.1508	0.1296
F_9-16/ F_34-41	0.2158	0.1874	0.1639	0.1434	F_59-63	0.1265	0.1544	0.1689	0.1788
F_9-19/ F_34-44	0.1293	0.1602	0.1773	0.1899	F_59-66	0.0316	0.0251	0.0213	0.0184
F_9-22/ F_34-47	0.0422	0.0333	0.0283	0.0246	F_59-69	0.1738	0.2082	0.2254	0.2369
F_9-23/ F_34-48	0.2217	0.1734	0.1455	0.1249	F_59-72	0.0394	0.0309	0.0260	0.0223
F_12-16/ F_37-41	0.2069	0.2312	0.2426	0.2498	F_59-73	0.2412	0.1820	0.1460	0.1187
F_12-19/ F_37-44	0.1292	0.1597	0.1754	0.1861	F_63-69	0.1377	0.1791	0.2028	0.2204
F_12-22/ F_37-47	0.0422	0.0333	0.0281	0.0241	F_63-72	0.0312	0.0266	0.0234	0.0208
F_12-23/ F_37-48	0.2336	0.1743	0.1387	0.1119	F_63-73	0.1806	0.1544	0.1352	0.1192
F_16-19/ F_41-44	0.1293	0.1602	0.1773	0.1899	F_66-69	0.0344	0.0291	0.0256	0.0227
F_16-22/ F_41-47	0.0422	0.0333	0.0283	0.0246	F_66-72	0.0492	0.0492	0.0492	0.0492
F_16-23/ F_41-48	0.2217	0.1734	0.1455	0.1249	F_66-73	0.0452	0.0251	0.0170	0.0123
F_19-23/ F_44-48	0.1661	0.1438	0.1263	0.1116	F_69-73	0.1862	0.1561	0.1352	0.1184
F_22-23/ F_47-48	0.0542	0.0299	0.0202	0.0145	F_72-73	0.0422	0.0232	0.0156	0.0112

TABLE IIIII.
INDICES RELATIFS A DIFFERENTES SURFACES POUR LE CALCUL DES DIFFERENTS FACTEURS DE FORME

Séjour	Indice	03	06	09	12	16	17	19	20	22	23
	Mur	Sud	Fenêtre	Ouest	Toit	Est	Nord extérieur	Nord intérieur	Porte extérieure	Porte intérieure	Sol
Chambre 1	Indice	28	31	34	37	41	42	44	45	47	48
	Mur	Sud	Fenêtre	Ouest	Toit	Est	Nord extérieur	Nord intérieur	Porte extérieure	Porte intérieure	Sol
Chambre 1	Indice	53	56	59	63	66	69	70	72	73	
	Mur	Sud	Est	Toit	Nord	Fenêtre	Ouest	Porte extérieure	Nord intérieur	Sol	