



Analyse du comportement thermo-aéraulique d'une maison traditionnelle

FEZZIOUI Naïma¹, DRAOUI Belkacem², Roulet Claude-Alain³

¹Laboratoire de mécanique de structures, LMS, université Tahri Mohamed, Béchar

²Laboratoire d'Energétique en Zones Arides ; ENERGARID université Tahri Mohamed, Béchar

³École Polytechnique Fédérale de Lausanne

naifez@gmail.com, bdraoui@yahoo.com, claire.roulet@epfl.ch

Résumé : Dans ce travail, nous étudions le comportement thermo-aéraulique d'une maison traditionnelle dans le sud algérien, en focalisant l'effet de ces éléments architecturaux d'aération. Plusieurs situations sont traitées afin de mieux comprendre l'effet de chaque élément sur le confort thermique et la qualité de l'air intérieur du bâtiment. L'étude est menée à l'aide du logiciel TRNSYS couplé au logiciel aéraulique COMIS, et cela en utilisant l'équation déterminant l'écoulement de l'air à travers les ouvertures zénithales [Blomqvist 2009]. Les résultats des simulations ont montré la contribution importante des ouvertures d'aération dans le rafraîchissement direct de la maison, ainsi que l'effet de l'isolation et de l'inertie thermique qui ne peut être important, dans ce type de maison, seulement en conjoint avec le refroidissement passif. La bonne gestion des heures de ventilation de chaque éléments d'aération est recommandée afin d'atteindre un bon confort tout en veillant à ne pas gêner la qualité de l'air intérieur ainsi que la sécurité de la maison.

Mots clés : Confort thermique, qualité de l'air, simulation numérique, débit d'air, climat chaud et sec

1. Introduction :

De tous temps, l'homme a essayé de tirer parti du climat pour gagner du confort et économiser l'énergie dans son habitation. De nos jours, les exigences du confort augmentent et se multiplient de plus en plus et les concepteurs semblent avoir négligé la fonction d'adapter le bâtiment au climat et la maîtrise de l'environnement intérieur et extérieur. En Algérie, il apparaît que la consommation d'électricité domestique par rapport à la consommation nationale finale s'est élevée de 19.2 % à 30.17 % durant la période 1996 à 2013 (qui est considéré comme un taux très important) [1].

Il y a lieu de signaler que les foyers algériens ont complètement changé leur mode de consommation en seulement quelques années. Dans un passé très récent, la puissance appelée par abonné ne dépassait guère les 2 kW. Aujourd'hui cette puissance est multipliée par 3, voire par 4 dans certaines régions. En effet alors que la consommation moyenne en électricité par foyer évoluait de moins de 1% entre 2003 et 2006, elle connaît un bond à 3,5% en 2007 pour atteindre près de 6% en 2014. Ce qui peut s'expliquer par l'accès des foyers au bien être de la climatisation.

Si la consommation moyenne des foyers algériens a augmenté en moyenne, il est intéressant de noter que cette hausse est tirée essentiellement par la consommation des clients du sud qui ne représentent pourtant qu'à peine 10% du nombre total des abonnés basse tension.

Cette particularité s'explique par l'utilisation massive de la climatisation, vu la spécificité climatique des régions sud caractérisée par des températures élevées durant plusieurs mois de l'année. La consommation moyenne des clients de la région nord s'explique par la densité de la population. Plus de 52% de la clientèle basse tension est située au nord du pays.

Dans les régions à climat chaud, aujourd'hui encore, le constat des conditions d'inconfort extrême que l'on rencontre dans les bâtiments est sévère : les conséquences néfastes pour les occupants sont nombreuses. Dans le sud-ouest algérien, connu pour son climat chaud et sec, Les modes de constructions traditionnels avait développé un savoir empirique, particulièrement orienté vers la réalisation du confort en saison chaude [2]. Le confort de l'utilisateur était assuré par une combinaison de plusieurs stratégies passives de contrôle thermique, résultats d'une connaissance approfondie des conditions climatiques.

Le travail présenté dans le cadre de cette communication est relatif à une tentative d'approche architecturale bioclimatique, visant à réduire la consommation d'énergie de chauffage et de refroidissement des bâtiments tout en améliorant leur confort thermique. Cette approche a pour but d'améliorer la qualité du cadre bâti en développant un modèle conceptuel nouveau ou actualisé, d'une part en valorisant les ressources naturelles locales, et d'autre

part en traitant l'information par des outils scientifiques. Notre but essentiel donc est d'étudier le comportement thermo-aéraulique d'une maison traditionnelle dans le sud algérien, en focalisant l'effet de quatre éléments architecturaux pertinents, à savoir :

L'ouverture zénithale ; la cage d'escalier ; Skifa (l'entrée en chicane) et les ouvertures d'aération (les petites ouvertures d'aération (orifices) situés en haut près du plafond donnant sur l'extérieur dans les chambres).

2. Comportement thermo-aéraulique de la maison d'étude

Afin de mener notre étude, notre choix s'est porté sur une maison traditionnelle à ouverture zénithale, une construction qui constitue une majorité des demeures modestes et correspond aux classes moyennes ainsi que dwiriyât au Ksar de Kenadsa [1]. Son plan est schématisé sur la figure 1.

Sur le plan aéraulique, cette maison se caractérise par quatre éléments architecturaux pertinents, à savoir :

- L'ouverture zénithale « AD », cette maison inspire son appellation de cette ouverture horizontale,
- la cage d'escalier,
- Skifa,
- et les ouvertures d'aération (petites ouvertures d'aération (orifices) situés en haut près du plafond donnant sur l'extérieur dans les chambres).

Généralement ces types de maisons à ouverture horizontale sont avec un escalier, à deux volées formant une cage couverte munie d'une porte en haut, menant du patio au toit-terrasse. Sur le plan aéraulique, Cet escalier a une grande influence sur le débit entre le patio et l'extérieur. Si la porte au haut de la cage d'escaliers est ouverte, un grand débit peut sortir du patio par les escaliers si le patio est plus chaud que l'extérieur. L'ouverture zénithale du patio, qui est plus basse que la porte, peut alors servir d'ouverture d'entrée, avec un débit unidirectionnel lorsque la porte de Skifa est fermée, toutes les autres fuites étant toujours faibles par rapport à la porte de l'escalier [1].

On peut noter que l'influence de la seconde ouverture dans le toit, la porte en haut de l'escalier, a un effet plus important qu'on peut le penser au premier abord. Trois facteurs en sont la cause [1]:

- 1- la réduction complexe du débit dans l'ouverture zénithale du patio avec une oscillation du débit peut diminuer l'afflux d'air dans cette ouverture par un facteur trois,
- 2- Le débit dans l'ouverture zénithale du patio peut devenir bidirectionnel, ce qui réduit d'un facteur deux, puisque les débits entrant et sortant doivent passer chacun la moitié de l'ouverture chacun. La réduction est probablement plus forte, les débits opposés causant une réduction supplémentaire du coefficient de décharge.
- 3- La hauteur de tirage pour une ouverture horizontale est la moitié de la hauteur de l'ouverture, tandis que la hauteur de tirage entre la porte d'escalier et l'ouverture zénithale est la différence totale entre les milieux des ouvertures, ce qui réduit la pression de moitié et le débit d'un facteur d'environ 1,4 (racine de deux).

Le facteur de réduction global peut donc être de l'ordre de grandeur de $3 \times 1,4$ soit environ 8. Si les deux ouvertures, la porte et une ouverture zénithale, sont de la même taille, le débit diminue encore de racine de 2, puisque les deux ouvertures sont en série (le débit doit passer les deux ouvertures, avec la même différence de pression). Dès lors le facteur peut être réduit à 6 au lieu de 8.

Toutefois, les débits dus à la poussée hydrostatique et le transfert d'énergie associé au sein de la cage d'escalier sont importants par rapport aux économies d'énergie, le confort thermique, la conception architecturale, la prévention des incendies et le contrôle des niveaux de contaminants dans l'environnement intérieur dans les bâtiments. Des études expérimentales et numériques axées sur les transferts de masse et de chaleur dans les cages d'escalier ont été effectuées. On cite [3] [4] [5] [6] qui ont étudié les flux par la poussée hydrostatique dans des bâtiments réels à l'aide de simulation des grandes échelles, par des modèles CFD [7] et [8], ou par couplage CONTAM au programme CFD [9].

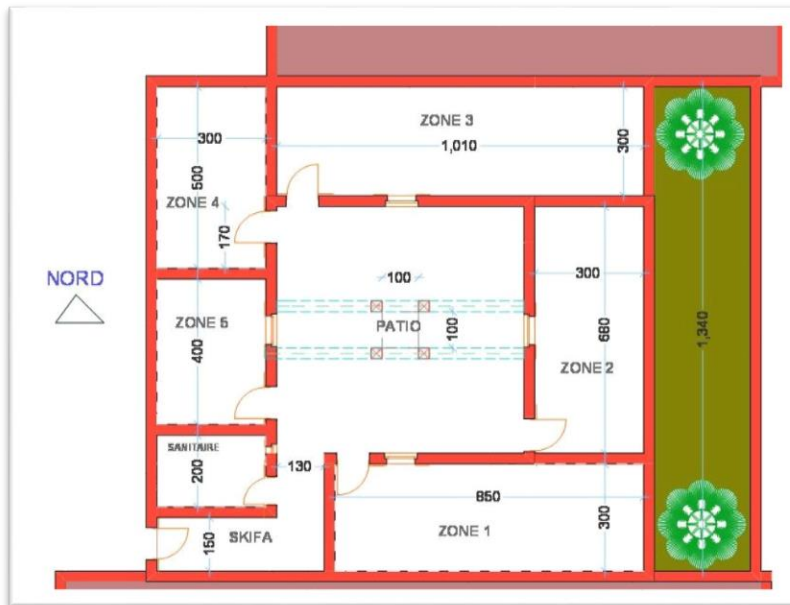


Figure 1 Plan de la maison traditionnelle étudiée

3. Simulation numérique

Le plan de la maison étudiée dans ce travail est illustré sur la figure 1. Nous avons supposé que notre maison abritait 7 personnes. Le niveau d'activité métabolique est de 1.5 met de 08h à 23h l'été (08h à 21h hivers), et d'1 met de 23h à 08h l'été (21h à 08h l'hiver). En ce qui concerne la résistance thermique des vêtements égale à 0.5 clo (vêtement léger d'été) l'été (1.5 clo en hivers) [Roulet, 2010]. Le scénario d'occupation de chaque zone est donné sur l'histogramme de la figure 2.

Tableau 1 Description des cas présentés

Cas	Description
AD1	en parpaing, avec une ouverture zénithale de 1X1 m ² de dimensions sans ouverture d'aération ni cage d'escalier et en maintenant la porte de Skifa fermée en permanence,
AD2	en parpaing avec une ouverture zénithale de 2X2m ² de dimensions, dimensions sans ouverture d'aération ni cage d'escalier et en maintenant la porte de Skifa fermée en permanence,
AD3	de même que AD1 en introduisant une isolation dans les parois extérieures et une isolation de la toiture comme le montre le tableau 3
AD4	Avec ouvertures de la porte externe du Skifa
AD5	Avec escalier
AD6	Avec ouverture d'aérations
AD7	Avec ouvertures de la porte extérieure du Skifa, Escalier et ouvertures d'aération,
AD8	ouvertures de la porte extérieure du Skifa, Escalier et ouvertures d'aération, introduisant une isolation dans les parois extérieures et une isolation de la toiture comme le montre le tableau 3

Le tableau 2 donne les scénarios d'ouvertures des ouvrants de la maison en question pour chaque configuration.

La simulation numérique est menée à l'aide du logiciel thermique TRNSYS [11] couplé au logiciel de simulation aéraluque COMIS. Nous nous sommes servis de la formule empirique de Blomqvist [10] afin de simuler l'ouverture zénithale [11]. Le calcul de coefficient de pression est effectué à l'aide du logiciel Cp Generator.

Afin de vérifier la fiabilité de notre modèle, Notre choix est porté sur le travail de [12], [11]. Dans cette communication, nous ne voulons pas présenter les résultats en termes d'indicateurs de confort; mais plutôt en comparaison directe avec les différentes situations envisagées. Notre choix c'est porté sur les configurations présenté sur le tableau 1:

Tableau 2 Scénarii d'ouvertures des ouvertures de la maison. L'ouverture zénithale est ouverte en permanence.

Cas	Période	Fenêtres		Portes		Portes de Skifa		Ouvertures d'aérations		Cage d'escalier	
		Ouvertes	Fermées	Ouvertes	Fermées	Ouverte	Fermée	Ouverte	Fermée	Ouverte	Fermée
AD1, AD2, AD3	Eté	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7- 13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%			0-24	-	-	-	-
	Hiver	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7- 13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%			0-24	-	-	-	-
AD4	Eté	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7- 13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%		6-10 et 18-22	10-18 et 22-6	-	-	-	-
	Hiver	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7- 13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%		6-10 et 18-22	10-18 et 22-6	-	-	-	-
AD5	Eté	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7- 13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%			0-24	-	-	18-11	11-18
	Hiver	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7- 13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%		11 – 16 à 50%		-	-	0-24	0-24
AD6	Eté	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7-13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%			0-24	18-11	11-18	-	-
	Hiver	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7-13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%		11 – 16 à 50%		18-11	11-18	-	-
AD7, AD8	Eté	20-7à 50% et 7-20 à100%		22-7 à 50% et 7-13à 100% 13-18 à 50% 18-22 à 100%		6-10 et 18-22	10-18 et 22-6	18-11	11-18	18-10	10-18
	Hiver						0-24				

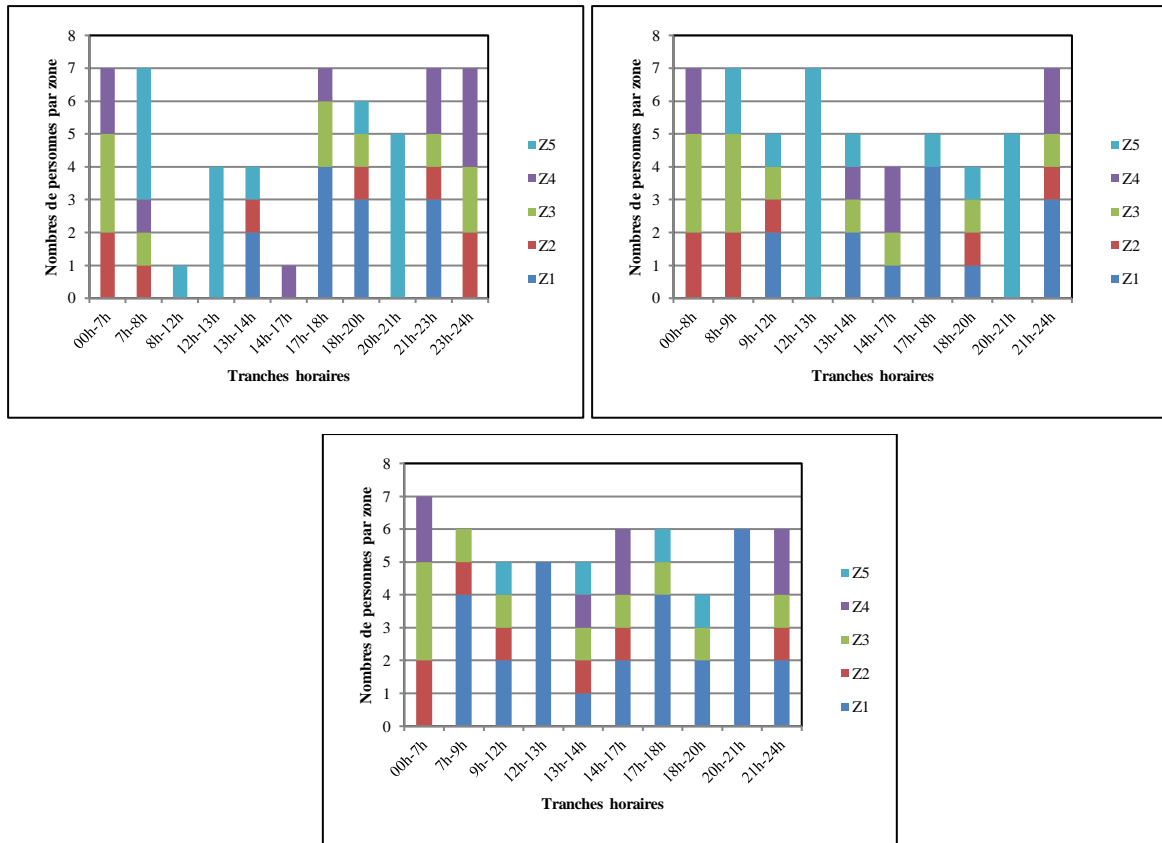


Figure 2 Scénarii d’occupation des différentes zones de la maison d’étude : en haut en hivers ; en bas : en été

Tableau 3 Description de l’enveloppe des cas retenus par notre étude

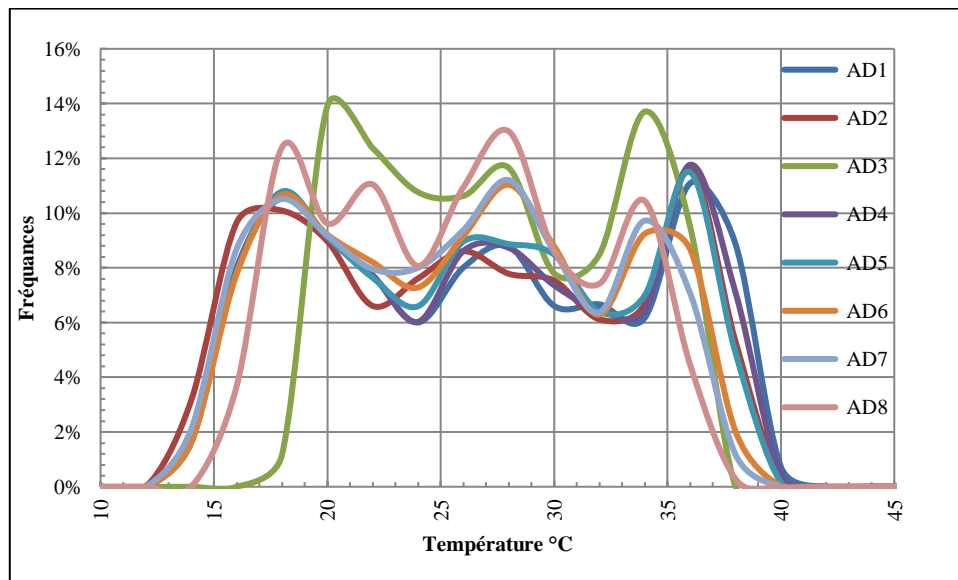
Paroi	Matériaux de construction de l’intérieur à l’extérieur	Epaisseur	U W/m²K
Mur extérieur AD1, AD2, AD4, AD5, AD6, AD7	Enduit intérieur	2cm	1.78
	Parpaing creux	25cm	
	Enduit au ciment	2cm	
Mur extérieur AD3, AD8	Enduit intérieur	2cm	0.651
	Brique	15 cm	
	Polystyrène	3cm	
	Brique	10 cm	
Mur intérieur	Enduit au ciment	2cm	2.308
	Enduit intérieur	2 cm	
	Parpaing creux	10 cm	
Toiture AD1, AD2, AD4, AD5, AD6, AD7	Enduit intérieur	2cm	0.312
	Hourdis	16 cm	
	Béton armé	4 cm	
	Sable	2 cm	
	Mortier de ciment	2cm	
Toiture AD3	Carreaux en plâtre	3cm	1.469
	Polystyrène	10 cm	
	Hourdis	16 cm	
	Béton armé	4 cm	
	Etanchéité	1cm	
	Sable	2cm	
Mortier de ciment	2cm		
Toiture	Carreaux en plâtre	3cm	1.469

AD8	Lame d'air	20 cm	1.565
	Hourdis	16 cm	
	Béton armé	4 cm	
	Etanchéité	1cm	
	Sable	2cm	
	Mortier de ciment	2cm	
Plancher bas sur terre plane	Carrelage	3cm	
	Mortier de ciment	2 cm	
	Sable	2 cm	
	Béton armé	4 cm	
	Herissonnage en pierre	40 cm	

4. Résultats et discussion

Pour quantifier cette analyse, et effectuer ainsi un diagnostic de ce type de maison, nous se servons des heures chaudes et les heures froides, correspondant aux nombres d'heures pendant lesquelles on se trouve hors la catégorie de confort (III) ; une limites de confort satisfaisant 85% des occupants selon EN 15251, comme indicateurs de performance thermique, et des besoins énergétiques pour le chauffage et le refroidissement comme des indicateurs de performance énergétique. Nous avons aussi retenue la notion de la ventilation effective comme indicateurs d'aération et de qualité d'air.

Ces résultats de comparaison sont présentés sous forme d'histogramme, la figure 4, indiquant le pourcentage du temps pendant lequel l'intérieur est à une certaine température en été, en hiver et sur un an.



(a)

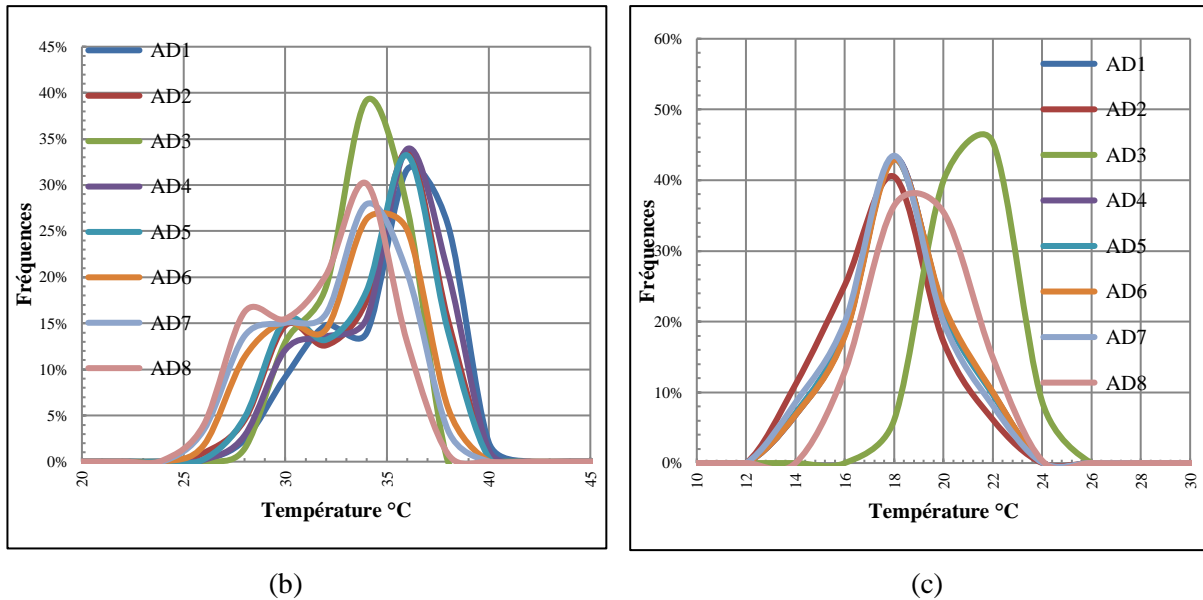


Figure 4 Histogramme du pourcentage du temps pendant lequel l'intérieur est à une certaine température, dans la maison étudiée pour différentes situations tableau 1: (a) annuelle ; (b) été ; (c) hiver

On voit clairement que les cas AD3 et AD8 présentent les meilleures conditions de confort thermiques autant en hiver qu'en été. On observe des légères différences entre les différentes courbes en été. On peut voir très clairement dans le cas AD8 l'effet combiné de l'isolation du bâtiment ainsi que la bonne aération engendrée par la stratégie proposée d'ouverture des orifices d'aération, de la porte de Skifa ainsi que de la porte de la cage d'escalier. La température, pour ce cas, se situe la plupart du temps en dessous de 35°C. En hiver et comme le montre la figure 4, il présente une température hivernale se situant entre 14 et 24°C. Ce cas est suivi du cas AD7 qui a donné les meilleurs résultats d'été parmi les autres situations. Il présente même une température acceptable en été où la température estivale obtenue varie entre 26 et 36. La fréquence la plus élevée (38%) pour ce dernier cas est observée pour une température de 34°C contre 19% obtenu pour une température de 32°C et 17% pour une température de 30°C. Les autres cas ont une performance similaire en hiver, mais AD6 et 7 sont aussi bons en été qu'AD3.

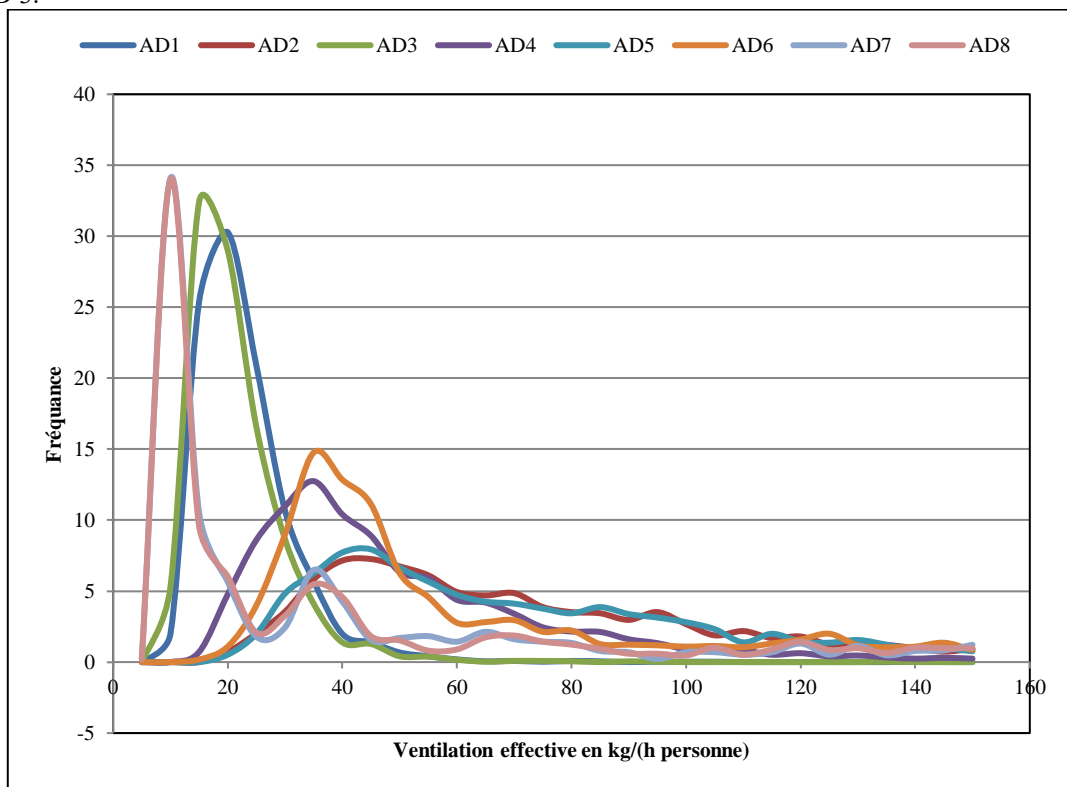


Figure 5 Fréquence de la ventilation effective par personne pour l'été pour les différentes situations

Le cas AD4 donne des résultats médiocres assez proches de ceux du cas de référence AD1. En fait, la fermeture de la porte de Skifa pendant les heures fraîches des soirs, à cause de problèmes de sécurité, empêche la ventilation nocturne. Son effet se résume à l'apport supplémentaire de débit d'air dans la maison.

La figure 5 présente les fréquences de la ventilation effective pour chaque configuration du tableau 1. Ces allures sont bien distinctes. Ces courbes peuvent être classées en trois catégories : AD1 se présente de même la façon qu'AD3 ; la courbe d'AD7 est confondue avec AD8, AD2 identique à AD5. Les cas AD4 et AD6 restent un peu distinct même si on a l'impression qu'ils se ressemblent.

Cette ventilation est meilleure pour les cas AD8 et AD7 suivi par AD6 et AD5 qui ont engendré une ventilation effective allant jusqu'à 150 kg/h personne.

En outre, l'aération des différentes pièces de la maison dans le cas AD3, avec les ouvertures d'aération, a fait diminuer d'une façon significative les débits d'air qui pénètrent dans la maison via l'ouverture zénithale ; certes ces orifices permettent une ventilation effective satisfaisante selon les normes (nous rappelons que les DTR fixent une valeur minimale de 15m³/h d'air neuf à introduire (voir tableau 6.3 [DTR C3-4, 1998]) mais demeure avec des valeurs inférieures par rapport aux cas AD4 et AD5 dont l'apport de l'air s'effectue, respectivement, par la porte de Skifa et par la porte de la cage d'escalier.

L'étude des différentes situations voit qu'il n'est pas facile à y remédier sans climatisation.

Notre but à travers l'étude de ces situations, est de chercher des solutions simples en examinant les différents éléments architecturaux de ce type de maison afin de pouvoir créer des moments de confort agréables ou une ambiance supportable en dehors des heures des après-midi (où la température atteint son maximum) et les nuits et cela dans le but de réduire le temps d'utilisation de ces climatiseurs et donc leur consommation d'énergie. Le calcul des besoins énergétiques de refroidissement, comme indicateur de performance énergétique, est l'un des résultats attendus dans ce travail.

Pour cela, et après avoir analysé les performances thermiques de chaque situation, nous présentons sur la figure 6 ci-dessous les besoins énergétiques de refroidissement et de chauffage pour ces configurations décrites au tableau 4. Nous voulons examiner l'effet des matériaux constituant l'enveloppe du bâtiment sur ces besoins, d'où notre choix c'est porté sur le cas traditionnel en adobe, AD01, indiqué sur le tableau 5 ; le parpaing AD02 comme le montre le tableau 3 (AD1, AD2) cas AD02 et AD03 illustrées sur le tableau 4 afin de jurer l'effet d'introduire les isolants dans l'enveloppe de ce type de bâtiment.

Tableau 4 Description des cas retenus

Cas	Description
AD01	AD en Adobe
AD02	AD en parpaing
AD03	AD03
AD04	AD7
AD05	AD1 avec escalier
AD06	AD1 avec ouverture d'aérations
AD07	AD1 avec ouvertures et escaliers

Tableau 5 description du cas AD01 (AD en adobe)

Paroi	constitution (de l'intérieur vers l'extérieur)	épaisseur
mur extérieur/mur intérieur	Mortier de chaux	2 cm
	Brique de terre	40cm
	Mortier de chaux	2cm
toiture	Stipe de palmier/ nervures de palmier	10cm
	Sable argileux	20cm
	Mortier de chaux	2cm
plancher bas sur terre-plein	Carrelage	3cm
	Sable	2cm
	argile	8cm
	Pierre	40cm

Pour chaque cas les besoins de refroidissement et de chauffage ont été déterminés pour une année. Sauf les zones Z1, Z2, Z3 et Z4 qui sont considérées par le conditionnement puisqu'elles constituent les pièces principales. La zone Z5 « la cuisine » ainsi que le centre de la maison Z7 ne sont pas pris par ce conditionnement, quoique Z7 constitue une salle de séjour et de rencontre familiale. Pour évaluer les besoins de chauffage et de refroidissement, dans le cas conditionné, nous avons adopté des températures de consigne $T_c=18^\circ\text{C}$ en hiver et $T_c=28^\circ\text{C}$ en été. On constate pour les sept cas examinés que les charges de climatisation sont supérieures aux charges de chauffage et que le refroidissement de la maison est requis sur une plus longue période que le chauffage. La demande de puissance pour refroidissement atteint sa pointe au mois de Juillet tandis que la pointe de demande de puissance en chauffage se situe en Janvier.

Ces besoins présentent des écarts considérables entre eux. L'isolation de la toiture diminue considérablement les besoins de refroidissement de 66% par rapport au cas AD02 en parpaing, son besoin de chauffage apparaît nettement plus faible mais supérieur à celui obtenu par le cas AD01 et par le cas AD04. Ce dernier cas demeure le moins énergivore en hiver par rapport à tous les cas examinés dans cette partie d'étude. En fait, la forte isolation de la toiture favorise l'impact des apports internes mais affaiblit l'effet des apports solaires des après midi pendant l'hiver. L'utilisation du faux plafond en plâtre, AD03, laisse, d'une sorte, bénéficier des apports solaires hivernaux en conservant la chaleur dégagée dû aux apports internes. Les ouvertures d'aération, même si elles engendrent une bonne température l'été comme on vient de le voir sur la figure 4, ont donné les charges de refroidissement les plus élevées. Cela s'explique par le débit d'air supplémentaire qui entre dans les pièces par ces orifices, qui contribue à l'augmentation des besoins de refroidissement.

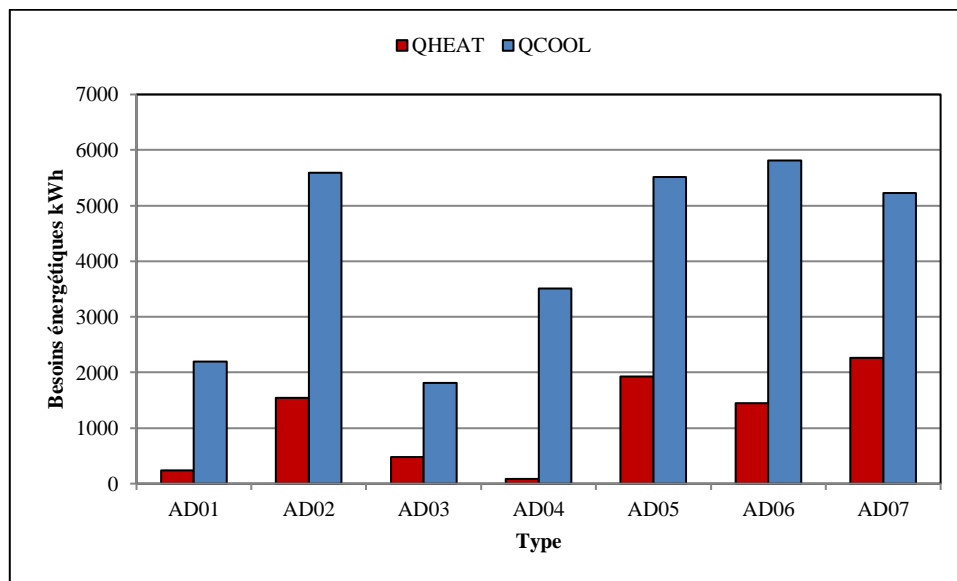


Figure 6 Besoins énergétiques de la maison AD dans différentes situations

Les besoins de refroidissement obtenu par l'effet combiné des escaliers et ouvertures d'aération présentés dans le cas AD07 sont nettement moins bons que les cas avec isolation des parois et toiture AD04 et AD03 et avec AD01 d'une importante inertie. Cependant il demeure moins énergivore que les cas avec ouvertures d'aération AD06 et celle avec présence d'escalier AD05. Néanmoins, les besoins de chauffage qu'il engendre sont les plus élevés parmi ces cas examinés, cela s'explique par le taux d'infiltration d'air qui pénètre dans les pièces à travers les joints des orifices et la porte de la cage. Les besoins de climatisation sont plus élevés aussi pour le cas AD02 qui vient juste après le cas AD06. Aussi la faible inertie du parpaing entraîne un besoin en chauffage assez important pour ce cas où le taux d'aération est très faible (pas d'ouvertures donnant sur l'extérieure sauf la porte de Skifa qui est considérée fermée en continu et l'ouverture zénithale).

5. Conclusion

Dans cette partie de notre travail, nous avons tenté d'examiner, à travers les différentes situations, le comportement thermique de ce type de maison traditionnelle et l'impact des différents éléments architecturaux qui la caractérise à savoir : ouverture zénithale AD, cage d'escalier, porte de Skifa, ouvertures d'aération.

Nous avons défini les scénarii de ventilation naturelle en fonction des habitudes et du comportement des occupants de ce type d'habitat pour mieux comprendre leur adaptation au climat dans ce type de maison. En effet, dans la majorité de ces maison avec ouverture zénithale de dimension supérieure à 1X1 m², les occupants procèdent à la fermeture de l'ouverture zénithale par des couvertures ou par des plaque en bois pendant les heures de l'après-midi afin d'éviter les rayons du soleil qui entrent par cette ouverture. Ce cas n'a pas donné des résultats assez intéressants vu que les débits d'air qui entrent pendant la période de l'après-midi par cette ouverture horizontale se réduisent, parce que la température intérieure du centre de la maison est inférieure à celle de l'extérieur [11]. Le matériau traditionnel de construction a donné des résultats plus intéressants mettant en évidence l'adaptation de ce type d'habitat avec les matériaux traditionnels tels que l'adobe !

D'autre part, l'ajout d'un isolant dans les parois extérieures ainsi que dans la toiture avec faux plafond en plâtre et une lame d'air de 20cm (cas AD3) a contribué à l'amélioration du confort par rapport au cas en parpaing mais reste moins important que le cas où nous avons introduit une forte isolation de la toiture (AD7), qui a engendré moins d'heures chaudes que dans le cas en parpaing et en AD3.

L'impact de l'ouverture de la porte d'escaliers, en cas de leur présence dans ce type de maison, présente des résultats assez similaires au cas avec ouverture de la porte de Skifa mais plus important que cette dernière.

Les ouvertures d'aération ont un effet direct sur la réduction des heures chaudes par ventilation nocturne. Tandis que l'effet combiné de ces trois aérations, par ouvertures d'aérations, la porte de la cage d'escalier et la porte de Skifa contribuent nettement à l'amélioration du confort thermique de la maison et de sa bonne aération, quoiqu'elle engendre des besoins en froid très élevés. Une bonne gestion des heures de ventilation pour ces éléments architecturaux, constituant la base de ce type d'habitat dans la région d'étude, est recommandée afin de d'atteindre un bon confort tout en veillant à ne pas gêner la qualité de l'air intérieur ainsi que la sécurité de la maison.

Références

- [1] N. Fezzioui, Analyse et Caractérisation du Bilan d'Energie d'un Habitat Traditionnel 'région Sud-Ouest', Thèse de doctorat en science, Université Tahri Mohamed, Bechar, Algérie
- [2] Mefiteh
- [3] A.S. Zohrabian, M.R. Mokhtarzadeh-Dehghan, A.J. Reynolds, B.S.T. Marriot, An experimental study of buoyancy-driven flow in a half-scale stairwell model, *Build. Environ.* 24 (1989) 141–148.
- [4] S. Ergin-Özkan, M.R. Mokhtarzadeh-Dehghan, A.J. Reynolds, Experimental study of natural convection between two compartments of a stairwell, *Int. J. Heat Mass Transfer* 38 (12) (1995) 2159–2168
- [5] A.A. Peppes, M. Santamouris, D.N. Asimakopoulos, Experimental and numerical study of buoyancy-driven stairwell flow in a three storey building, *Build. Environ.* 37 (2002) 497–506.
- [6] M.R. Mokhtarzadeh-Dehghan, Natural convection between two floors of a building via a horizontal opening-measurements in a one-half scale model, *Int. J. Heat Mass Transfer* 50 (2007) 3141–3151.
- [7] T.X. Qin, Y.C. Guo, C.K. Chan, K.S. Lau, W.Y. Lin, Numerical simulation of fire-induced flow through a stairwell, *Build. Environ.* 40 (2005) 183–194.
- [8] X.Q. Sun, L.H. Hu, Y.Z. Li, R. Huo, W.K. Chow, N.K. Fong, Gigi C.H. Lui, K.Y. Li, Studies on smoke movement in stairwell induced by an adjacent compartment fire, *Appl. Therm. Eng.* 29 (13) (2009) 2757–2765.
- [9] Wang L.; Coupling of multizone and CFD programs for building airflow and contaminant transport simulations. Thèse de doctorat, Université de Purdue 2007
- [10] C. Blomqvist, "Distribution of Ventilation Air and Heat by Buoyancy Forces Inside Buildings An experimental study, KTH, University of Gävle, Sweden, 2009."
- [11] N. Fezzioui, B. Benyamine, B. Draoui, C. A. Roulet, "The traditional house with horizontal opening: a trend towards zero-energy house in the hot, dry climates"; SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep, 5-7 October 2016, Tallinn and Helsinki
- [12] R. S. Priya, M.C. Sundararaja, S. Radhakrishnan, L. Vijayalakshmi, "Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India – a qualitative and quantitative analysis; *Energy and Buildings* 49 (2012) 50–61