

## Improving thermal comfort conditions through the optimization of the self-product residential buildings envelope. Case of a region with a hot and arid climate: Biskra

### *Amélioration des conditions de confort thermique à travers l'optimisation de l'enveloppe des bâtiments résidentiels autoproduits. Cas d'une région à climat chaud et aride : Biskra*

Sihem Latreche<sup>✉</sup>, Leila Sriti

Laboratoire de Conception et de Modélisation des Formes et des Ambiances Architecturales et Urbaines (LACOMOFA), Université de Biskra, B.P. 145 R.P. 07000, Biskra, Algeria

Received 24 March 2018

Published 23 June 2018

#### Keywords

Architectural envelope

Thermal comfort

Materials

Self-product Individual housing

Hot and arid climate

Biskra

**Abstract:** To improve the thermal comfort conditions of the occupants in the individual housing and to reduce the energy consumption induced by the heating and cooling needs in the building, it is necessary to act on the main element which controls the heat exchanges with the environment: the envelope. This refers to the building's outer skin that consisting of vertical opaque components (the walls ...), horizontal ones (roof ...) and various opening devices. The thermal performance of the envelope is mainly due to its geometrical and formal attributes, but the material characteristics of its components remain decisive for thermal exchanges with the environment. As part of the building at the interface of the indoor ambiances and the outdoor environment, the envelope is often the seat of a large number of heat exchange phenomena that affect not only the premises energy consumption but also the thermal comfort conditions of their occupants. This paper summarizes the main results obtained from an in-situ measurement campaign to evaluate the design parameters influencing the thermal comfort of self-produced individual housing relative to the hot and arid climate of Biskra. In addition, a thermal simulation carried out with the TYRNSYS 17 software has demonstrated the potential of improving the thermal comfort conditions of the self-produced individual housing thanks to adequate choices concerning the architectural and constructive attributes of the envelope.

© 2018 The authors. Published by the Faculty of Sciences & Technology, University of Biskra. This is an open access article under the CC BY license.

**Résumé :** Pour améliorer les conditions du confort thermique des occupants dans l'habitat individuel et réduire la consommation énergétique induite par les besoins de chauffage et de refroidissement dans le bâtiment, il est nécessaire d'agir sur l'élément principal qui contrôle les échanges de chaleur avec l'environnement : l'enveloppe. Celle-ci fait référence à la peau extérieure du bâtiment constituée de composants opaques verticaux (les murs,...) et horizontaux (toiture, comble...) ainsi que de différents dispositifs d'ouvertures. La performance thermique de l'enveloppe relève principalement de ses attributs géométriques et formels mais surtout des caractéristiques matérielles de ses composants. En tant qu'élément du bâtiment situé à l'interface de l'ambiance intérieure et de l'environnement extérieur, l'enveloppe est souvent le siège d'un grand nombre de phénomènes d'échanges thermiques qui influent non seulement sur la consommation énergétique des locaux mais également sur leur niveau de confort thermique. Ce papier résume les principaux résultats obtenus à l'issue d'une campagne de mesures réalisée in situ pour évaluer les paramètres de conception influençant le confort thermique de l'habitat individuel autoproduit relativement au contexte climatique chaud et aride de Biskra. Par ailleurs, une simulation thermique réalisée avec le logiciel TYRNSYS 17 a démontré le potentiel d'amélioration des conditions de confort thermique de l'habitat individuel autoproduit grâce à des choix adéquats portant sur les attributs architecturaux et constructifs de l'enveloppe.

**Mots clés :** Enveloppe architecturale, confort thermique, matériaux, habitat individuel autoproduit, climat chaud et aride, Biskra.

### 1. Introduction

A partir du 20ème siècle, le monde a connu une évolution notable dans tous les domaines et particulièrement l'architecture. Celle-ci, influencée par le mouvement moderne, n'était plus l'art de bâtir mais plutôt un exercice plastique ou encore, pour reprendre une célèbre citation de Le Corbusier "le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière" (De Smet 2005). Jusqu'aux années 60, le progrès technologique, le développement des procédés de construction, la recherche de la seule performance quantitative ou esthétique

(production rapide des bâtiments, architecture de verre et d'acier, préfabrication, ...), et enfin, l'évolution des modes de vie, ont entraîné une dépense énergétique de plus en plus croissante.

Pour les pays en développement, cette évolution et l'ouverture sur l'Occident ont provoqué une rupture avec le passé et finalement, ont favorisé l'apparition d'une architecture indifférente au climat en surestimant les possibilités technologiques et en les considérant aptes à remplacer l'enseignement des 'anciens'. Le résultat, malheureusement, était la production d'un cadre bâti standardisé, non intégré à

<sup>✉</sup>Corresponding author. E-mail address: Sihem.latreche21@gmail.com

l'environnement local, et souvent dépourvu des conditions minimales de confort.

Pour corriger cette situation d'inconfort, le bien être physiologique de l'utilisateur a été délégué à des installations dépendant d'une consommation excessive de l'énergie fossile.

A l'instar des autres pays du Maghreb, l'Algérie, a vécu depuis son indépendance une révolution dans la pratique architecturale qui s'est manifestée par la production d'un cadre bâti en rupture avec son environnement et, en conséquence, gros consommateur d'énergie.

Les raisons qui ont pu favoriser cette situation sont étroitement liées aux choix tant formels que constructifs adoptés par les bâtisseurs (architectes, auto-constructeurs,...) qui dans leur recherche de la 'modernité' ont contribué à éloigner l'architecture de sa dimension environnementale et de ses spécificités locales.

L'habitat individuel témoigne de l'ampleur des transformations survenues dans le secteur du bâtiment ; notamment, du fait de l'apparition de matériaux nouveaux et le recours à des techniques et procédés de construction mal maîtrisés. Malheureusement, la négligence des spécificités environnementales a engendré l'exploitation abusive et irrationnelle des ressources énergétiques (Latreche et Sriti 2016).

C'est ainsi que la consommation électrique du secteur résidentiel en Algérie, représente 40% de la consommation totale d'électricité. Cette consommation est essentiellement destinée à couvrir les besoins d'éclairage artificiel, chauffage et climatisation des habitants (MEM 2012).

La situation est alarmante au point qu'il est devenu nécessaire et urgent d'engager une réflexion sur les moyens de réaliser un habitat durable, performant et intégré dans son contexte climatique. L'enjeu est de taille, et il semble qu'une investigation sur la conception de l'enveloppe pourrait constituer une voie intéressante pour améliorer, aussi bien, les conditions de confort des habitants qu'une rationalisation de la consommation énergétique des bâtiments (APRUE, 2005).

La ville de Biskra qui se caractérise par un climat chaud et aride, illustre l'ampleur de ce phénomène. Depuis l'indépendance, le cadre bâti produit dans cette ville ne répond plus aux conditions climatiques très rudes de la saison estivale, ce qui pousse les habitants à se tourner vers les moyens mécaniques pour assurer un certain niveau de confort dont le coût est chaque année plus élevé. Et c'est pour diminuer cette consommation énergétique et assurer un confort climatique optimal qu'il faut agir sur la conception architecturale.

A ce titre, les caractéristiques de conception de l'enveloppe affectent fortement le confort thermique des occupants, ainsi que la consommation énergétique du bâtiment. Par ailleurs, la performance thermique de l'enveloppe est tributaire des choix constructifs relatifs aux éléments architecturaux, notamment, les murs, la toiture et les ouvertures, généralement, considérés

comme facteurs déterminants dans les échanges thermiques entre le bâtiment et son environnement.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'impact des éléments architecturaux et constructifs de l'enveloppe sur le plan thermique. Ces éléments seront étudiés tels qu'ils se présentent dans l'habitat résidentiel auto-produit à Biskra. Le but ultime de notre recherche étant d'améliorer les performances thermiques de l'enveloppe architecturale de ce type d'habitat tout en respectant ses spécificités.

## 2. L'enveloppe du bâtiment et le confort thermique

L'homme, depuis sa création, n'a cessé d'améliorer son habitat pour assurer une protection toujours plus efficace contre les facteurs de l'environnement extérieur. Or, le confort thermique dans un bâtiment dépend principalement du comportement thermique de son enveloppe, lequel est tributaire des matériaux de construction ainsi que des caractéristiques architecturales (Givoni 1997) (Fig.1).

L'enveloppe extérieure du bâtiment est la première barrière de protection et se compose de deux types de parois : les parois opaques (murs et toiture) et les parois transparentes (fenêtres).

La toiture est responsable de 70.62% des gains thermiques reçus, les quatre façades de 27.11% et les fenêtres de 2.27% (Necib et al. 2016). Un traitement judicieux des parois de l'enveloppe en fonction des conditions climatiques chaudes et arides (choix des matériaux de construction à forte inertie thermique pour les murs et la toiture, réduction des dimensions des fenêtres, protections solaires,...etc.) permet de garantir un confort optimal à l'intérieur du bâtiment, même si les conditions extérieures sont défavorables (Izard et Guyot 1979).

Malheureusement, le cadre bâti produit à Biskra (Fig.2) ne tient pas compte des conditions climatiques particulièrement rigoureuses durant la saison chaude. Ce qui impose l'usage des moyens mécaniques de refroidissement pour des durées de plus en plus longues. Cette situation entraîne une consommation excessive de l'énergie électrique et augmente les émissions de gaz à effets de serre qui à leur tour accentuent le phénomène de l'îlot de chaleur urbain (Radhi et al. 2014).

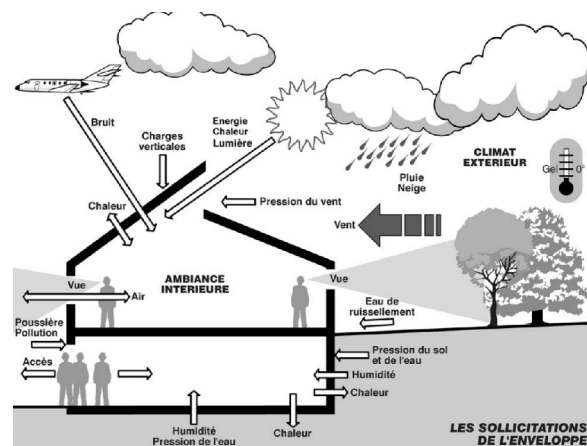


Fig. 1. Enveloppe extérieure subit de nombreuses agressions du climat local et de l'environnement (Hauglustaine et al. 2006).



Fig. 2. Habitat « auto-construit » dans la ville de Biskra.

### 3. Méthodologie

L'étude est basée sur une analyse climatique du cadre bâti résidentiel individuel réalisé dans des lotissements communaux produit à partir des années 90 à Biskra. Elle se propose d'évaluer l'impact de l'enveloppe sur le plan thermique de certains paramètres architecturaux et constructifs relevant des spécificités propres à cette forme d'habitat. Le travail est focalisé sur les principaux composants de l'enveloppe : les ouvertures, les parois verticales (murs) et horizontales (toiture), considérant que ces éléments ont un impact effectif sur le confort thermique et la consommation énergétique. Le travail analytique effectué s'articule autour de deux étapes :

**La première étape** concerne une enquête in situ destinée à évaluer l'influence des paramètres structurels et constructifs de l'enveloppe sur le confort thermique. Celui-ci est mesuré à partir de la température ambiante et surfacique, la vitesse de l'air, et l'humidité relative (Szokolay S.V., 2014) (Fig.3). L'instrument de mesure TESTO a été utilisé pour relever les variations des trois paramètres hygrothermiques précédents, alors que, la température de surface a été mesurée avec un thermomètre infrarouge.

Pour étudier l'impact des matériaux de construction utilisés au niveau de l'enveloppe architecturale, une enquête et une étude typologique portant sur un corpus de maisons sélectionnées dans le terrain d'étude, ont permis de définir cinq (05) cas de figures représentatifs des systèmes constructifs les plus utilisés au niveau des murs de façades dans la ville de Biskra. Pour donner une idée aussi précise que possible des conditions de confort thermique générées par les systèmes constructifs répandus dans l'habitat autoproduit en lotissement, l'orientation et la situation

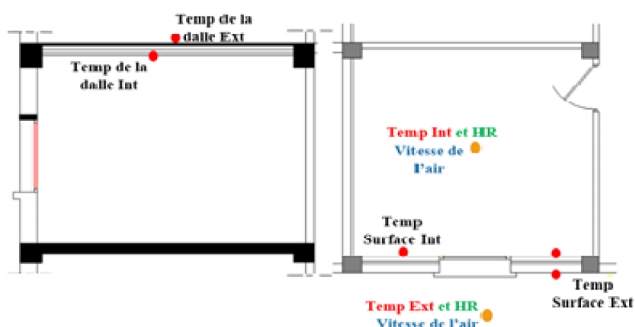


Fig. 3. Position des appareils de mesure dans une pièce.

du local par rapport au bâtiment (RDC ou étage et donc plancher ou toiture exposée) ont également été pris en considération. Finalement, l'échantillon étudié comprend 15 variantes définies selon le système constructif, soient 5 cas de figures (fig. 4), l'orientation et la situation (RDC ou R+1) (Tableau 1).

**La deuxième étape** de l'investigation est basée sur une simulation thermique effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS 17 (TRNSYS version 17). Les tests d'optimisation des caractéristiques de l'enveloppe en vue de l'amélioration du confort hygrothermique ont porté sur les éléments propres à l'enveloppe architecturale tels qu'ils se présentent dans les habitations appartenant au corpus de l'étude. La simulation a pris comme point de départ les cinq types de murs de façades représentatifs des systèmes constructifs répandus dans l'aire d'étude (soient Cas1, Cas2,...et Cas 5) (Tableau 1).

L'étude paramétrique a porté sur un modèle virtuel représentant une pièce de 16 m<sup>2</sup> et une hauteur de 3 m. Le modèle est menu d'une fenêtre unique à vitrage simple de 1 x1.2 m<sup>2</sup> avec un encadrement en bois léger (Fig. 5). Les surfaces en contact direct avec l'extérieur sont la toiture et une façade unique, la porte donne sur l'espace intérieur.

Selon Givoni (1978), pour assurer le confort hygrothermique sous un climat chaud aride, les bâtiments doivent être adaptés aux conditions d'été, partant du principe que les exigences d'hiver seront satisfaites par un bâtiment où le confort est assuré en été (Givoni 1978). Pour les deux études effectuées (in situ et simulation), on se limitera donc à la présentation des résultats obtenus durant la période estivale.

L'analyse des données climatiques de Biskra, a permis de déterminer la période de surchauffe qui s'étale sur approximativement une semaine -précisément du 28 Juillet au 3 Aout- cette période représente les conditions hygrothermiques les plus défavorables pour la saison estivale.

Pour l'étude in situ, l'enregistrement des mesures s'est effectué à deux intervalles de la journée soient de 14h à 16h de l'après midi et de 9h à 11h de la matinée. La température ambiante, l'humidité relative et la vitesse de l'air ont été mesurées à l'aide

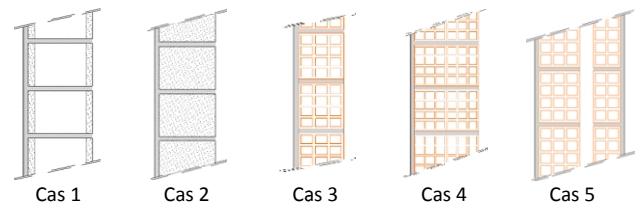


Fig. 4. Présentation graphique des cinq systèmes constructifs et des variantes étudiées.

Tableau 1. Répartitions des 15 variantes de pièces étudiées selon le matériau de construction.

Cas 1	Murs en parpaing creux (2 variantes)
Cas 2	Murs en parpaing plein (1 variante)
Cas 3	Murs simple en brique de 15cm (4 variantes R+1)
Cas 4	Murs double en brique de 15cm X2 (2 var. RDC, 3 var. R+1)
Cas 5	Murs double brique avec lame d'air (1var. RDC, 2var.R+1)

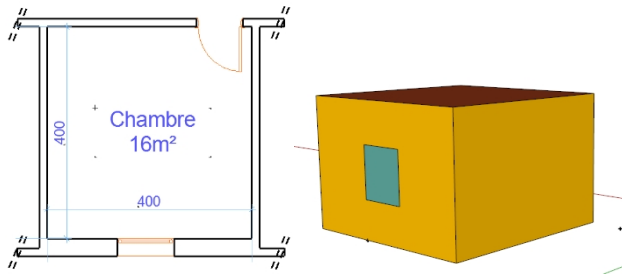


Fig. 5. Modèle virtuel.

de l'appareil de mesure TESTO, alors que les températures surfaciques des parois et de la toiture sont relevées avec un thermomètre infrarouge.

Concernant la simulation, l'analyse a porté sur la température ambiante obtenue en variant les caractéristiques matérielles du modèle virtuel selon cinq variantes correspondant chacune à un type de murs de façades. Ensuite, pour chaque variante, les moyens d'améliorer la performance thermique en agissant sur les paramètres propres à l'enveloppe ont été testés. Les scénarios d'amélioration ont été proposés dans le respect des spécificités de la maison autoproduite en lotissement à Biskra (Tableau 2).

**Tableau 2.** Présentation des scénarios d'optimisation en agissant sur les caractéristiques de l'enveloppe.

#### Les murs

Cas 1	Enduit Ext. 1.5cm, Parpaing creux 20cm, Enduit Int. 1cm
Cas 2	Enduit Ext. 1.5cm, Parpaing plein 20cm, Enduit Int. 1cm
Cas 3	Enduit Ext. 1.5cm, Brique creux 15cm, Enduit Int. 1cm
Cas 4	Enduit Ext. 1.5cm, 2xBrique creux 15cm, Enduit Int. 1cm
Cas 5	Enduit Ext. 1.5cm, Brique creux 15cm, Lambe d'air 5cm, Brique creux 10cm, Enduit Int. 1cm

#### La toiture

T1	Béton armé 4cm, Hourdi creux 16cm, Enduit mortier Int 1.5cm
T2	Béton armé 4cm, Corps creux de terre cuite 16cm, Enduit mortier 1,5cm
T3	Carrelage 3cm, Mortier de ciment 3cm, Béton armé 4cm Hourdi creux 16cm, lame d'air 5cm, Faux plafond 2,5cm
T4	Carrelage 3cm, Mortier de ciment 3cm, Béton armé 4cm, Hourdi creux 16cm Enduit mortier 2cm

#### Dimensions des fenêtres

F1 : 0,6 x 1m ; F2 : 1 x 1,2m ; F3 : 1,2 x 1,5

#### Type de vitrage

V1	Vitrage simple
V2	Double vitrage avec lame d'air
V3	Double vitrage avec gaz d'argon

#### Protections des fenêtres

PS	Sans protection (Cas de référence)
PP	Protection partielle ajourée (Mouchrabieh)
PT	Protection totale ombragée (Obstacle)

#### Les couleurs

CCL	Couleurs claire (absorption solaire 0.2)
CSB	Couleurs sombre (absorption solaire 0.7)

#### Isolation des murs

SI	Sans isolation
IIN	Isolation intérieure (polystyrène)
IEX	Isolation extérieure (polystyrène)

#### Isolation de la toiture

TSI : Sans isolation ; Tiso : Isolation avec polystyrène

## 4. Résultats et discussion

### 4.1 Mesures in situ

Les résultats obtenus à l'issue de la campagne de mesures, sont présentés sous forme d'un tableau 3. Ce tableau permet de comparer les conditions de confort thermique réalisées dans des pièces sélectionnées à travers le corpus de maisons étudiées. Les exemples présentés dans le tableau 3 se distinguent selon leurs caractéristiques matérielles de manière à faire prévaloir les cinq systèmes constructifs considérés.

La lecture des résultats se fera à travers l'analyse des mesures des trois paramètres de confort (température, humidité relative et vitesse de l'air).

#### 4.1.1 La température de l'air

Selon Bennadji (1999), la soustraction des températures moyennes extérieures de celles de l'intérieur du local permet d'apprécier l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Le tableau 3, montre qu'une différence de 2°C est relevée entre les températures à l'intérieur et à l'extérieur dans une maison construite en simple mur (simple paroi). La valeur maximale de la température ambiante est enregistrée dans les maisons construites en parpaing creux et plein ; pour ces cas de figure, la température intérieure est de l'ordre de 36°C à 39°C au moment où la température extérieure atteint les 40°C. Ce choix constructif est visiblement inadapté au climat chaud et aride. Pour les pièces construites à l'étage la situation d'inconfort est à son extrême ; par exemple pour une pièce construite en simple mur de brique de 15cm, l'écart moyen de température est de l'ordre de 3°C.

Par contre dans les maisons construites en double cloison, l'écart de température est plus appréciable. A titre d'exemple, pour des doubles parois en Brique de 15 cm, elle est de 4°C (la température intérieure atteint 37.5°C, à l'extérieur elle est de 42.6°C). Dans le cas de parois en double mur avec lame d'air, l'écart thermique entre l'intérieur et l'extérieur est optimal de l'ordre de 4.5°C à 5°C.

En conclusion, il apparait que les températures intérieures les plus élevées sont enregistrées dans les pièces construites en simple mur avec des matériaux de faible résistance thermique comme le parpaing creux et plein. Par contre, les murs en double parois donnent des résultats plus intéressants du point de vue du confort thermique dans la période estivale. A noter que les températures ambiantes mesurées sont également tributaires d'autres facteurs tels que l'orientation et les fluctuations climatiques extérieures.

#### 4.1.2 Les valeurs de la température de surface

Selon Givoni (1978), la température de la surface externe à de grands effets sur les conditions thermiques intérieures. Par ailleurs, elle varie avec la clarté de la couleur et la vitesse de l'air en contact avec la surface (Givoni 1978). Selon les résultats obtenus (Tableau 3), il apparait que les températures des surfaces internes sont plus élevées que la température ambiante lorsque les parois sont exposées au rayonnement solaire. Ainsi,

plus la température de surface externe augmente du fait du manque d'ombrage et de l'absence de protections solaires au niveau des ouvertures, plus la température ambiante s'élève, proportionnellement, à la première. La température de l'air et la température surfacique sont donc liées à la fois par la quantité du rayonnement solaire incident et les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction lesquels retardent le transfert de la chaleur à l'intérieur.

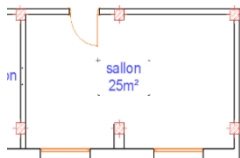
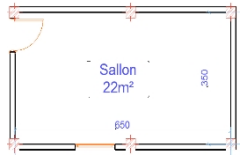
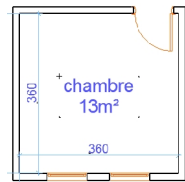
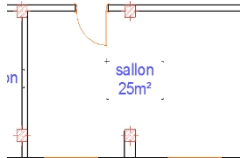
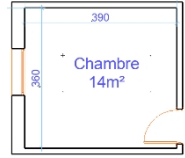
#### 4.1.3L'humidité relative et la vitesse de l'air

A la lecture des résultats des mesures (Tab.3), il est possible de constater que l'humidité relative extérieure est faible par rapport

à l'humidité intérieure : à l'extérieur elle varie généralement entre 15 % et 19% et à l'intérieur elle se situe entre 22% et 31%. Ces résultats peuvent s'expliquer du fait de la vapeur du métabolisme humain et des activités domestiques et aussi le manque d'aération dans la maison.

D'après, Liébard et De Herde (2005), la vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection dans l'habitat et généralement cette vitesse ne dépasse pas 0.2m/s (Liébard A, 2005). Ceci est confirmé par la campagne de mesure puisque les mesures enregistrées montrent que la vitesse de l'air dans les pièces testées ne dépasse pas 0.1m/s, notamment du fait du manque de ventilation transversale.

**Tableau 3.**Exemples de résultats des mesures in situ dans des pièces illustrant les cinq systèmes constructifs considérés.

			Matin			Après-midi			
			max	min	moy	max	min	moy	
Cas 1	Température ambiante C°	Int	32,5	32	32,1	37,7	34,7	36,5	 <p>Mur Brique creux 15+15 (32 cm) situé à l'étage, Orientation Nord-Ouest</p>
		Ext	35,3	34	35	41,1	36,3	37	
	Température de surface C°	Int mur	31,5	/	31,2	37,5	/	36,4	
		Ext mur	35,8	/	35,4	45,5	/	45,2	
	Humidité relative %	Int	30,7	26,7	29	26,7	20	21,8	
		Ext	23,2	20,4	21,6	15,4	14,8	15,5	
Vitesse de l'air m/s	Int	0,3	0	0,1	0,3	0	0		
	Ext	1,9	0,3	0,7	0,5	0	0,3		
Cas 2	Température ambiante, C°	Int	37,5	36,8	37,1	40,3	40,1	40,2	 <p>Sallon 22m² Mur en parpaing plein (20cm) situé au RDC, orientation OUEST</p>
		Ext	40	39	39,7	41	40,9	41	
	Température de surface, C°	Int mur	37,4	/	37,1	42,1	/	41,7	
		Ext mur	41,2	/	41	45,4	/	45	
	Humidité relative, %	Int toit	37,1	/	37	44,7	/	44,3	
		Ext toit	39,2	/	38,6	50,6	/	49	
Vitesse de l'air, m/s	Int	1,2	0	0	0,1	0	0		
	Ext	1,4	0,4	0,8	0,5	0	0,3		
Cas 3	Température ambiante, C°	Int	37,5	37,1	37,2	40	39,1	39,8	 <p>chambre 13m² Mur en Brique creux (17cm) situé à l'étage orientation EST</p>
		Ext	40	39,5	39,7	43,4	42,4	43	
	Température de surface, C°	Int mur	41,2	/	41	42	/	41,7	
		Ext mur	48,5	/	45	44,6	/	44,2	
	Humidité relative, %	Int toit	38,4	/	38	42,3	/	42,1	
		Ext toit	37,3	/	37	50,1	/	49,8	
Vitesse de l'air, m/s	int	30	24,4	26,2	22,5	19,1	20,8		
	ext	24,1	20,5	21,5	16,1	15,3	15,6		
Cas 4	Température ambiante, C°	Int	35,6	35	35,3	38	37,6	37,8	 <p>sallon 25m² Mur Brique creux 15+15 (32 cm) situé à l'étage, Orientation Nord-Ouest</p>
		Ext	39,6	38	39,2	42,8	34,3	42,6	
	Température de surface, C°	Int mur	30,5	/	30	38,5	/	38	
		Ext mur	38,4	/	38	45,5	/	44,7	
	Humidité relative, %	Int toit	38,4	/	38,4	38,8	/	38,7	
		Ext toit	35,8	/	34,7	47,5	/	47,1	
Vitesse de l'air, m/s	Int	30,7	26,7	29	26,7	20	21,8		
	Ext	23,2	20,4	21,6	15,4	14,8	15,5		
Cas 5	Température ambiante, C°	Int	34,9	34,2	34,6	35,8	35,1	35,4	 <p>Chambre 14m² Double mur en Brique avec lame d'air 33cm situé à l'étage, orientation Nord/Ouest</p>
		Ext	39	34,6	38	40	35,6	39,5	
	Température de surface, C°	Int mur	35,8	/	35,8	37	/	37	
		Ext mur	40,1	/	40,3	41,7	/	41,7	
	Humidité relative, %	Int toit	36,8	/	36,4	37,5	/	37,3	
		Ext toit	37	/	36,8	37,9	/	37,5	
Vitesse de l'air, m/s	Int	35,9	27,8	31	36	31,1	33,4		
	Ext	41,8	24	35,8	38,4	28,8	32,9		
	Int	0,3	0	0,1	0,2	0	0,1		
	Ext	1,2	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3		

**4.2 Simulation et optimisation**

**4.2.1 Effet de l'orientation sur le confort thermique**

Les premiers tests ont été effectués pour déterminer l'effet de l'orientation (Nord, Sud, Est et Ouest) sur la température intérieure pour les cinq variantes simulées (Cas1, Cas2,...) en faisant prévaloir les caractéristiques de l'enveloppe extérieure propres à chaque variante. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 6.

Les graphes (Fig. 6) montrent que les orientations Nord et Sud présentent des températures internes plus basses que les orientations Est et Ouest, et ce, pour les cinq variantes simulées. Cette différence s'explique par la quantité du rayonnement solaire incident sur l'enveloppe et les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction lesquels retardent le transfert de la chaleur à l'intérieur.

Pour les Cinq variantes simulées, les courbes de température moyenne intérieure dans les modèles orientés Nord et Sud sont presque superposées. La température moyenne intérieure enregistrée pour les modèles orientés Est et Ouest est de 0.5 à 1°C supérieure aux cas orientés Nord et Sud. D'après les résultats obtenus pour les Cinq variantes, on peut dire que l'orientation optimale pour le confort thermique intérieur est soit le Nord soit le Sud, alors que les orientations Est et Ouest sont à proscrire.

**4.2.2 Amélioration de la performance thermique des variantes de base**

Après avoir montré que l'orientation optimale pour les cinq cas simulés est soit le Nord soit le Sud, ce paramètre va être maintenu constant à une orientation Nord pour effectuer la deuxième série de simulations, l'objectif étant d'améliorer la

performance thermique de l'enveloppe. Pour ce faire, on a commencé par simuler chaque variante d'enveloppe en faisant prévaloir les caractéristiques les plus récurrentes dans la réalité (cas de référence) et en considérant l'orientation Nord (Fig.7).

Ensuite, pour chaque variante, on a maintenu le système constructif, utilisé au niveau des murs extérieurs, et on a procédé à des modifications relativement à certains éléments de l'enveloppe et à leurs caractéristiques, notamment : le type de toiture, les dimensions des fenêtres, le type de vitrage, les protections solaires, la couleur extérieure, l'isolation des murs et de la toiture. Les modifications effectuées sont détaillées dans le tableau 2.

Les Figures de 9 à 15 illustrent les résultats obtenus en introduisant les modifications successives sur les Cinq variantes de base. Parmi toutes les possibilités d'optimisation envisagées dans le tableau 2, seuls les scénarios réalistes et effectivement réalisés seront retenus.

La figure 7 illustre les résultats obtenus pour les Cinq variantes de base selon leur état initial, les améliorations ne sont pas encore introduites. On voit que l'enveloppe qui fait prévaloir des murs extérieurs en double parois de brique (Cas 5 : Brique15 +10) est la plus performante.

**4.2.2.1 Toiture optimale**

La Figure 8 montre qu'en simulant les Cinq cas de référence, la température intérieure la plus basse est enregistrée avec la toiture T3, soit : [Carrelage (3cm) +Mortier de ciment (3cm) +Béton armé (4cm) +Hourdi creux (16cm) +lame d'air (5cm) +Faux plafond (2.5cm)].

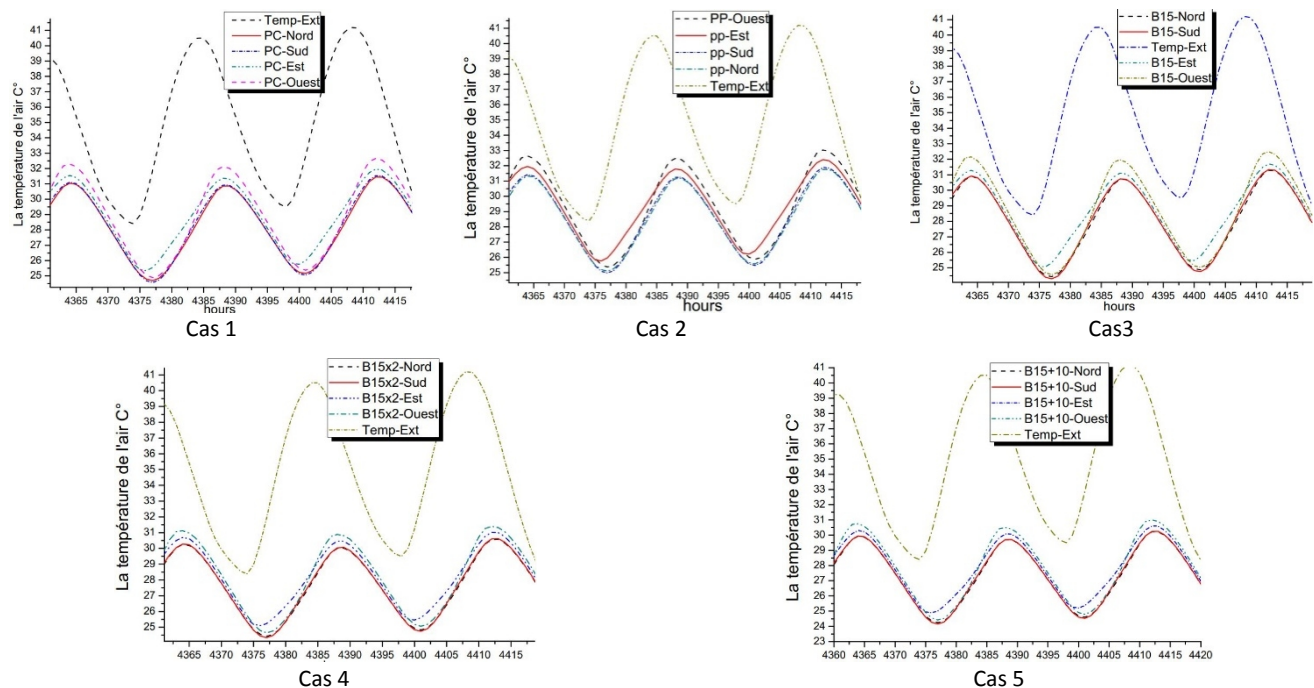


Fig. 6. Comparaison entre les températures intérieures obtenues pour les cinq variantes simulées selon différentes orientations.

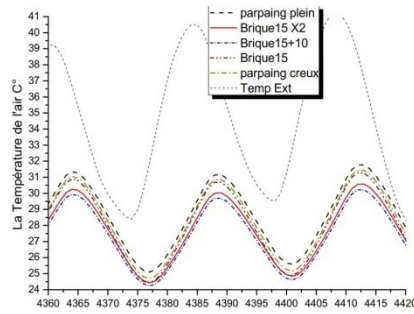


Fig. 7. Comparaison entre le fonctionnement thermique des Cinq variantes de base avant l'introduction des améliorations. : Enveloppe selon les cas de référence et l'orientation Nord.

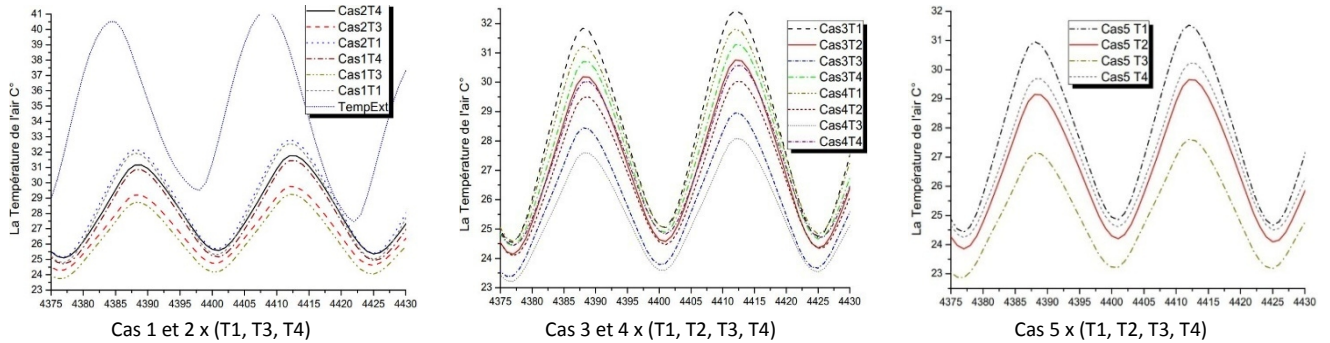


Fig. 8. Comparaison entre le fonctionnement thermique des Cinq variantes de base en testant plusieurs alternatives de toitures.

**4.2.2.2 Dimension des fenêtres (ratio d'ouverture)**

Le ratio d'ouverture est un facteur déterminant pour la quantité d'énergie solaire pénétrant à l'intérieur d'un local. Pour un climat chaud et aride, l'augmentation de la taille de la fenêtre provoque des problèmes d'éblouissement et de surchauffe.

Dans les simulations effectuées (fig. 9), on voit que le ratio F1 (0,6x1) m2 donne les meilleurs résultats, cependant, pour assurer à la fois un niveau d'éclairage suffisant dans la pièce et un confort thermique acceptable le ratio F2 (1x1,2) m2 sera retenu. A noter que pour cette série de simulations, l'orientation est Nord et la toiture est optimale T3.

**4.2.2.3 Type de vitrage**

Une troisième série de simulations est effectuée, l'orientation est Nord, la toiture est choisie dans sa forme optimale T3 et le ratio d'ouverture est F2 (1x1,2) m2.

En comparant les graphes obtenus (Fig. 10), il apparaît que le vitrage V3 est meilleur que V2 et V1. Cependant, pour des raisons de faisabilité, on optera pour V2 (Double vitrage avec lame d'air)

du fait de sa disponibilité contrairement à V3 (Double vitrage avec gaz d'argon).

**4.2.2.4 Protections solaires**

L'effet des protections solaires est de contrôler la pénétration de l'énergie solaire incidente à travers les ouvertures, et donc de limiter le rayonnement solaire direct. La quatrième série de simulations effectuée concerne l'optimisation de l'enveloppe par l'utilisation des protections solaires.

Les conditions de la simulation sont : l'orientation est Nord, la toiture est optimale T3, le ratio d'ouverture est F2 (1x1,2) m2, et le vitrage est V2 (double avec lame d'air). En comparant les graphes obtenus (Fig. 11), il apparaît que la protection totale PT (bâtiment voisin avec une grande hauteur) et la protection partielle ajourée PP (Mouchrabieh) donnent des résultats presque identiques en termes de performance thermique puisque les deux graphes de température qui leurs correspondent sont superposés. L'absence de protection (PS), par contre, influe nettement sur l'augmentation de la température intérieure et représente l'alternative la plus défavorable.

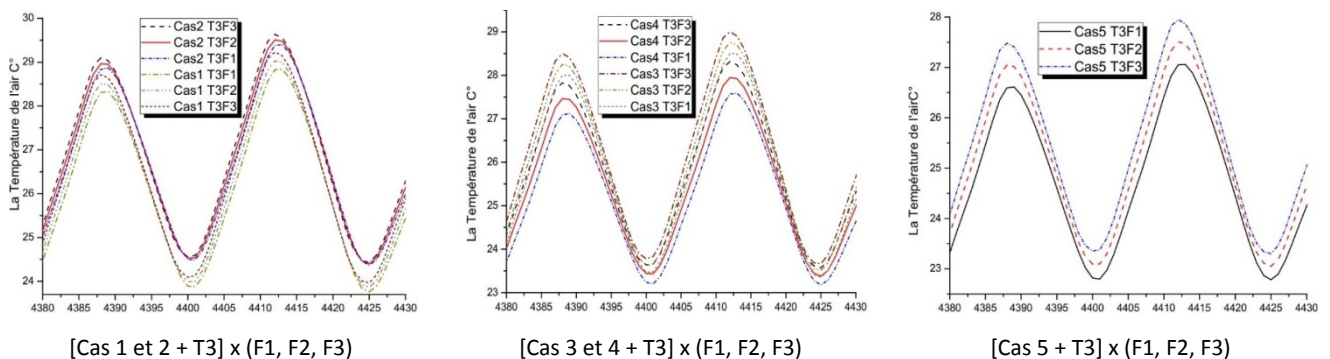


Fig. 9. Comparaison entre le fonctionnement thermique des Cinq variantes de base en testant plusieurs alternatives de ratio d'ouvertures.

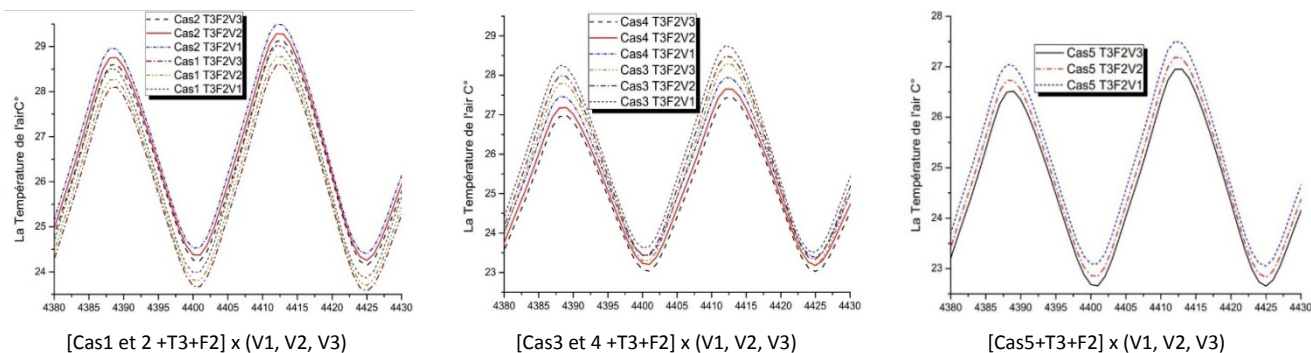


Fig. 10. Comparaison entre le fonctionnement thermique des Cinq variantes de base en testant plusieurs alternatives de vitrages.

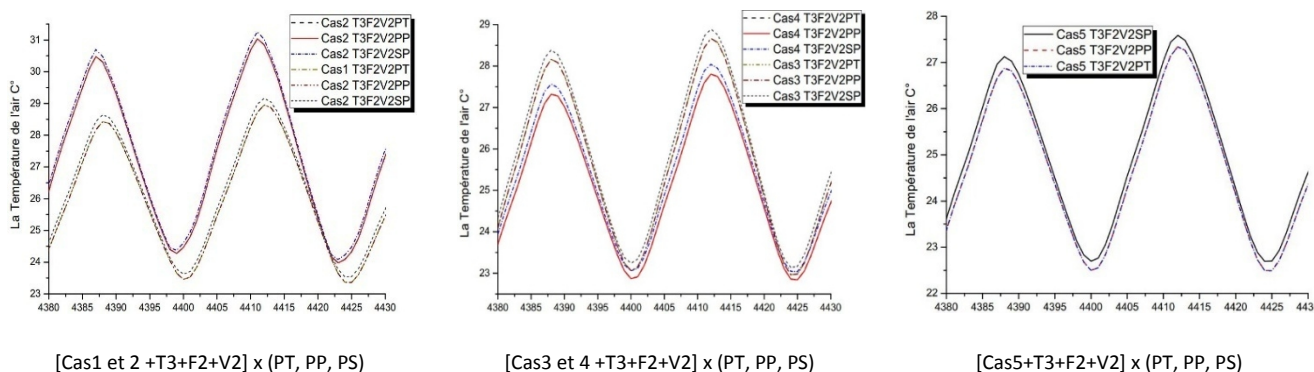


Fig. 11. Comparaison entre le fonctionnement thermique des Cinq variantes de base en testant les trois alternatives de protections solaires.

4.2.2.5 La couleur extérieure

En maintenant les paramètres de l’enveloppe (orientation, type de toiture, ratio d’ouverture, type de vitrage et protections solaires) dans leurs formes optimales, deux autres séries de simulations sont effectuées en vue d’évaluer l’effet de la couleur extérieure des façades sur la température intérieure. Deux alternatives de couleurs sont testées : la couleur claire CCL et la couleur sombre CSB.

La Figure 12 montre que les couleurs claires assurant une faible absorption solaire (de l’ordre de 0.2) donnent des températures ambiantes plus basses que les couleurs sombres (absorption solaire de 0.7). En effet, plus le facteur d’absorption solaire est réduit plus la réflexion de la lumière est grande et plus le transfert de chaleur par conduction est minimisé.

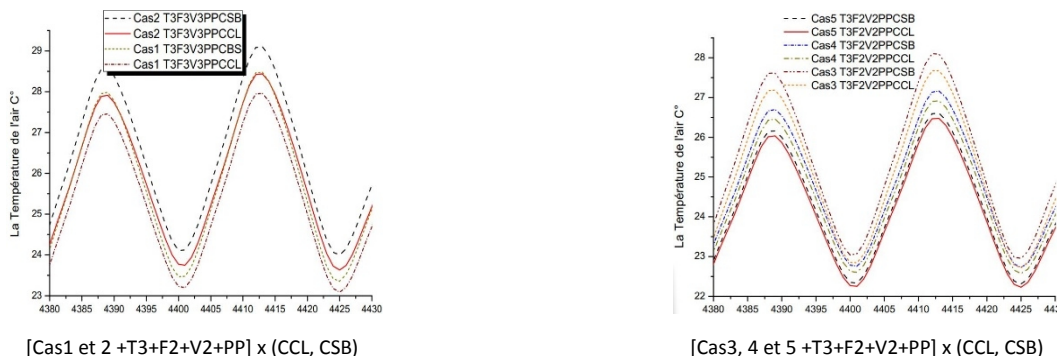


Fig. 12. Comparaison entre le fonctionnement thermique des Cinq variantes de base en fonction de la couleur extérieure.

4.2.2.6 Isolation des murs et de la toiture

La figure 13 met en évidence l’effet de l’isolation sur la température intérieure. Ainsi, l’isolation des murs de l’intérieur (IN) ou de l’extérieur (EX) diminue la température intérieure en comparaison avec des parois sans isolation (SI). De la même manière, un toit isolé (Tiso), assure un abaissement de la température de 0.7 C°.

4.2.3 Les Cinq variantes de l’enveloppe selon leurs caractéristiques optimales

Pour les Cinq variantes étudiées, la température intérieure a pu être diminuée de 5.5 à 6C° par l’application des solutions d’amélioration au niveau de l’enveloppe (Fig.14).



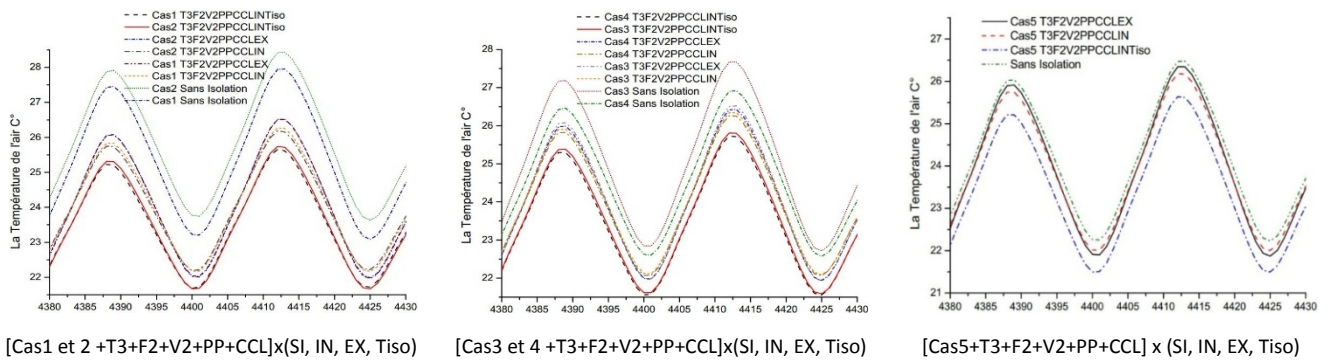


Fig. 13. Comparaison entre le fonctionnement thermique des Cinq variantes de base en testant plusieurs alternatives d'isolation.

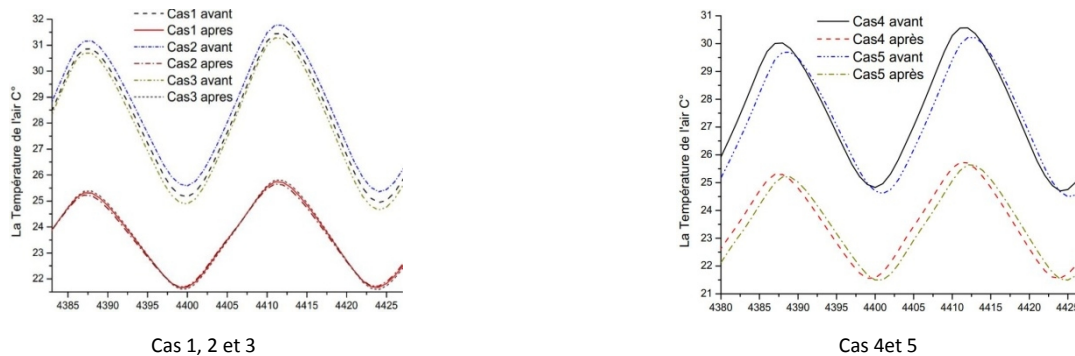


Fig. 14. Comparaison entre les cinq variantes modélisées selon les caractéristiques optimales de l'enveloppe.

## 5. Conclusion

Pour évaluer et optimiser le fonctionnement thermique de l'enveloppe des bâtiments relevant de l'habitat individuel autoproduit à Biskra tout en préservant l'essentiel de ses spécificités, une étude basée sur des mesures in situ et une simulation par TRNSYS 17, a été effectuée. Cette étude a mis en évidence l'impact des attributs architecturaux et constructifs de l'enveloppe sur les conditions de confort durant la période estivale. Les résultats obtenus ont montré que parmi les cinq types de murs de façades représentatifs des systèmes constructifs utilisés dans l'habitat individuel autoproduit, les murs en double parois offrent des avantages certains du point de vue du confort thermique durant la période estivale. Par ailleurs, les tests d'optimisation ont révélé qu'un abaissement de la température intérieure de 5.5 à 6 C° est possible grâce à l'application de quelques stratégies élémentaires d'adaptation climatique pouvant améliorer le fonctionnement thermique de l'enveloppe sans altérer ses caractéristiques. Ces stratégies concernent, notamment, le choix judicieux des matériaux de construction au niveau des murs et de la toiture, le ratio d'ouverture, le type de vitrage, les protections solaires et la couleur extérieure.

## Références

- Bennadji, A. (1999) Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du sud-est Algérien. Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille1-Université de Provence.
- De Smet, C. (2005) Le Corbusier : Un architecte et ses livres. Editeur Lars Müller Publishers, Switzerland, 128 pages.
- Givoni, B. (1978) L'homme l'architecture et le climat. Editions Le Moniteur, Paris, France.
- Givoni, B. (1997) Climate Considerations in Building and Urban Design. Editions John Wiley & Sons, New York.
- Hauglustaine, J.M., F. Simon, C. Baltus, S. Liesse (2006) la conception globale de l'enveloppe et l'énergie : Guide pratique pour les architectes, Région Wallonne, Belgique.
- Izard, J.L., A. Guyot (1979) Archi Bio. Editions Parenthèses, Roquevaire.
- Latreche, S., L. Sriti (2016) Etude de l'impact des choix constructifs de l'enveloppe d'un bâtiment sur sa performance thermique. Cas de l'habitat individuel autoproduit à Biskra, Séminaire International sur les Matériaux Locaux et la Construction Durable (SIMaLoCoD), Adrar, le 04 et 05 décembre, 2016.
- Liebard, A., A. De Herde (2005) Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Editions Le Moniteur, Paris, France.
- MEM (2012) Consommation Énergétique Finale de l'Algérie, Ministère de l'énergie et des mines, MEM, Alger.
- Necib, H., R. Belakroum, K. Belakroum (2016) Amélioration de l'isolation thermique des habitats dans les régions chaudes et arides. Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetic and Pollution (ICEMAEP) Constantine, Algeria, 2016.
- Radhi, H., E. Assem, S. Sharples (2014) On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions. Building and Environment 72: 162-172.
- Szokolay, S.V. (2014) Introduction to Architectural Science. Third Edition, Routledge.
- TRNSYS 17, version 17, User Manual, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison. USA.