

Optimisation énergétique d'un bâtiment résidentiel autoproduite à Biskra à travers ses caractéristiques matérielles

S. Latreche et L. Sriti

Laboratoire de Conception et de Modélisation
des Formes et des Ambiances, LaCoMoFA
Département d'Architecture, Faculté des Sciences et de la Technologie
Université de Biskra, B.P. 145 RP, 07000 Biskra, Algérie

(reçu le 25 Septembre 2018 - accepté le 30 Septembre 2018)

Résumé - Le secteur résidentiel en Algérie est responsable de 41 % de la consommation totale d'électricité au niveau national et il représente, de fait, le secteur le plus énergivore. Le présent travail est consacré à l'étude de la performance énergétique des bâtiments résidentiels à travers l'optimisation de l'enveloppe architecturale relativement à un climat chaud et aride. L'habitat individuel autoproduit à Biskra est choisi comme cas d'étude pour évaluer l'influence des paramètres propre à l'enveloppe (les murs, la toiture, les fenêtres, etc...) sur la consommation énergétique et le confort thermique. Des tests de simulation ont été effectués à l'aide du logiciel TRNSYS 17 durant la période de surchauffe. Plusieurs alternatives relatives aux caractéristiques de l'enveloppe de l'habitat individuel autoproduit à Biskra ont été étudiées, l'objectif étant d'améliorer les conditions de confort thermique à l'intérieur des maisons tout en réduisant la consommation énergétique.

Abstract - The residential sector in Algeria is responsible for 41 % of the total consumption of electricity at the national level and it represents, mostly, the most energy-consuming sector. The present work is dedicated to the study of the energy performance of residential buildings through the optimization of the architectural envelope with regard to a hot and dry climate. The self-product individual housing to Biskra is to be used to estimate the influence of the parameters to the envelope (walls, roof, windows etc.) on the energy consumption and the thermal comfort. Tests of simulation were made by means of the software TRNSYS 17 during the period of overheating. Several alternatives relative to the characteristics of the envelope of the self-product individual housing to Biskra were studied, the objective being to improve the conditions of thermal comfort.

Keywords: Envelope - Energy consumption - Materials - Self-product individual housing - Hot and arid climate.

1. INTRODUCTION

Après l'indépendance, l'Algérie a connu une croissance démographique excessive et une révolution remarquable dans le domaine de la construction, notamment dans le secteur résidentiel. Sous l'effet d'une demande croissante en logements, l'état a opté pour des solutions favorisant la construction rapide et en grande quantité.

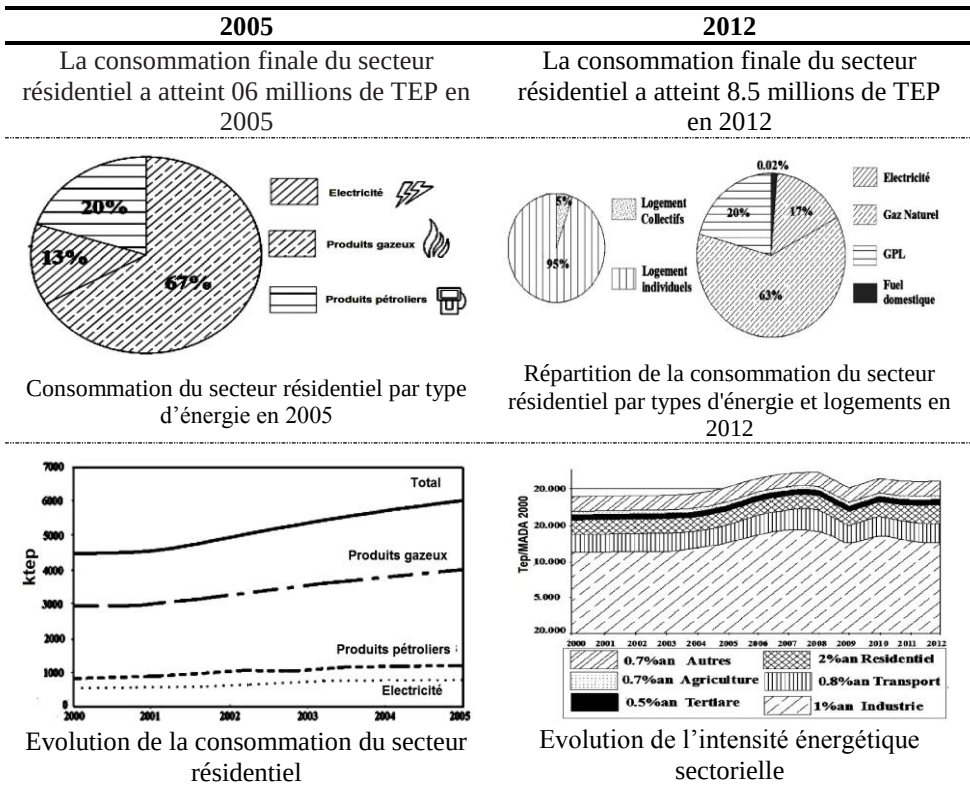
Malheureusement, cette révolution dans la pratique architecturale est passée à côté des spécificités du contexte climatique diversifié, négligeant et faisant peu de cas des solutions ancestrales développées sur des générations pour améliorer leurs habitats, ainsi, 'Pour faire face à cette crise croissante du logement, on a dû trouver des solutions rapides et pas très coûteuses. Des modèles étrangers se sont généralisés sur tout le territoire algérien, inappropriés, au contexte culturel, social et climatique du pays' [1].

Très vite, cette rupture entre le cadre bâti et son environnement s'est manifestée dans la production d'un habitat dépourvu des conditions minimales de confort. On a cru pouvoir résoudre cette situation par le recours à la climatisation artificielle, mais simultanément, cela a entraîné une exploitation abusive et irrationnelle des ressources énergétiques.

Aujourd’hui, la consommation énergétique en Algérie, connaît une progression alarmante. D’après l’Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l’Utilisation de l’Energie, APRUE, la consommation énergétique globale en Algérie a atteint 17 millions de Tep en 2005 [2], cette consommation a presque doublé en 2012 pour atteindre 30 millions de Tep [3]. Au fait, cette augmentation de la consommation est proportionnelle à la croissance démographique puisqu’en 2005, la population qui comptait 32 906 millions d’habitants, consommait en moyenne 0.694 Tep/hab, alors provoqué une augmentation de la consommation énergétique de l’ordre de 0.750 Tep/hab.

A titre d’exemple, la consommation électrique du secteur résidentiel en Algérie, représente 38 % de la consommation totale d’électricité en 2005 et augmente en 2012 jusqu’à 40 %. Cette consommation est essentiellement destinée à couvrir les besoins d’éclairage artificiel, chauffage et surtout climatisation.

Tableau 1: Comparaison entre la consommation énergétique en 2005 et 2012. *Source- APRUE*



La consommation électrique du secteur **résidentiel** a atteint 807 kTep, ce qui représente 38 % de la consommation totale d’électricité. Ainsi, il représente le premier secteur grand consommateur d’énergie électrique au niveau national.

La consommation électrique du secteur **résidentiel** a atteint 1414 kTep, ce qui représente 40 % de la consommation totale d’électricité. 7056 kTep en produits gazeux, soit 60 % de la consommation totale des produits gazeux, sont également consommés. Le résidentiel reste, de ce fait, le premier secteur grand consommateur d’électricité.

A l'instar de toutes les villes algériennes, le secteur du bâtiment dans la ville de Biskra a connu une transformation radicale notamment du fait d'un changement dans la pratique architecturale, ainsi que de l'apparition de matériaux nouveaux et le recours à des techniques et procédés de construction mal maîtrisés ce qui a engendré la production d'un cadre bâti en rupture avec son environnement et en conséquence, gros consommateur d'énergie.

L'habitat individuel témoigne de l'ampleur des transformations survenues. Ce cadre bâti produit qui néglige les spécificités environnementales, notamment, les conditions climatiques estivales très rudes, s'est tourné vers la climatisation mécanique pour assurer des conditions minimales d'habitabilité, la dépendance énergétique qui en résulte est alarmante.

Ainsi, la consommation électrique de la ville de Biskra en 2012 est de 2 769 919 kWh/an pour un échantillon de 1667 abonnés d'une résidence individuelle, dont 1 501 214 kWh, soit plus de 54 % représente la consommation du troisième trimestre (Juillet, Août, Septembre), ce qui donne 3600 kWh/ménage [4]. La consommation électrique qui concerne les habitations individuelles augmente chaque année particulièrement dans la période estivale (figure 1) et (Tableau 2).

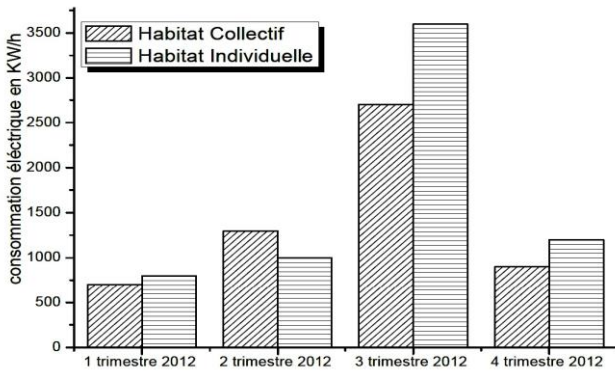


Fig. 1: Consommation électrique spécifique annuelle (par trimestre) en kWh dans les résidences collectives et individuelles à Biskra. *Source- Djelloul et al., 2013*

Tableau 2: Consommation électrique dans les résidences individuelles en 2011 et 2012. *Source- Djelloul et al., 2013*

	2011 Trimestre			2012 Trimestre		
	Nbre Abonnés	Cons (kWh)	Cons (Spécif)	Nbre Abonnés	Cons (kWh)	Cons (Spécif)
1	418	323262	773	417	349476	838
2	415	359015	865	417	430223	1032
3	418	1287918	3081	417	1501214	3600
4	418	492458	1178	416	489006	1175
Total année	1669	246253	1476	1667	2769919	1662

Plusieurs recherches ont été menées pour optimiser la consommation de l'énergie dans le secteur résidentiel. A cet effet, les chercheurs confirment qu'une bonne conception architecturale de l'enveloppe impliquant des choix appropriés pour les matériaux, la forme, l'orientation, etc..., peut assurer le confort thermique et réduire la consommation énergétique jusqu'à 40 %. L'enveloppe architecturale, à travers ses composants opaques verticaux (les murs) et horizontaux (la toiture) ainsi que ses différents dispositifs d'ouvertures, joue un rôle très important dans les échanges thermiques entre le bâtiment et son environnement.

C'est l'élément qui sépare l'intérieur de l'extérieur et qui, en même temps, protège les occupants contre les conditions météorologiques ainsi que les autres agents externes (bruit, pollution, etc...). Les caractéristiques de conception de l'enveloppe affectent fortement les conditions de confort thermique et visuel des occupants, elles permettent également de réduire la consommation d'énergie générée par le fonctionnement du bâtiment.

En effet, la performance climatique et énergétique de l'enveloppe est tributaire, en premier lieu, des choix conceptuels formels et constructifs relatifs aux éléments structurels, 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 principal à atteindre pour assurer une enveloppe performante énergétiquement et thermiquement est de réduire ces transmissions de chaleur en opérant des choix judicieux à deux niveaux: 1) celui des propriétés thermo-physiques des matériaux; 2) celui des caractéristiques formelles et constructives des parois, notamment l'épaisseur des différentes couches constituant les parois, leurs dispositions et leurs orientations.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des éléments architecturaux et constructifs de l'enveloppe sur la consommation énergétique et le confort thermique, en faisant prévaloir les caractéristiques de l'habitat résidentiel autoproduite à Biskra. Le but ultime de notre recherche est d'améliorer les performances thermiques et énergétiques de l'enveloppe architecturale de ce type d'habitat tout en respectant ses spécificités.

2. PRESENTATION DU TYPE D'HABITAT ETUDIE

Biskra est une ville du Sud-Est algérien située à une latitude de 34.80° Nord et caractérisée par un climat chaud et aride (figure 2). Le type de logements le plus utilisé en plus de l'habitat collectif est l'habitat individuel qui se concentre dans les lotissements. La maison unifamiliale est la typologie dominante dans les lotissements planifiés. Influencées par la forme de la parcelle (rectangulaire), la plupart des constructions réalisées sont parallélépipédiques. Leur hauteur varie entre un et trois niveaux, ce qui en comptant le mur de la terrasse conduit à des constructions de 5 à 12 m de hauteur. Le retrait par rapport à la rue, bien qu'institué par le règlement en vigueur, n'est du reste pas toujours respecté.

La plupart des constructions surtout celles qui font partie des plus anciens lotissements se sont volontiers passées de la véranda en s'ouvrant de plein pied sur la rue. Les ouvertures sont de faibles dimensions, placées en hauteur occultées par différents dispositifs (persiennes, treillis en bois, moustiquaire, rideaux épais...). Dans le cas où la véranda est maintenue, les murs de clôtures sont maçonnés et hauts. Les décrochements sont rares, sauf en ce qui concerne les encorbellements par contre fréquents (balcons, volumes saillants de pièces en étage...) (figure 3).

Les habitants auto producteurs de leurs logements font largement usage du béton: béton armé pour l'ossature (plateau-poutre, dalle), agglomérées de béton (parpaing plein et creux) pour le remplissage des murs et les cloisons, hourdis pour les planchers etc.... Il faut aussi signaler que cet habitat autoproduit, ne tient pas compte des conditions climatiques particulièrement rigoureuses durant la saison chaude. Cette situation impose l'usage des appareils électriques de refroidissement pour des durées de plus en plus longues, ce qui entraîne une consommation excessive de l'énergie électrique et augmente les émissions de gaz à effets de serre.



Fig. 2: Ville de Biskra. Source- Google Earth



Fig. 3: Habitat autoproduit dans la ville de Biskra. Source- Auteur, 2016

3. METHODOLOGIE

Cette étude porte sur le cadre bâti résidentiel autoproduite à Biskra. Elle est fondée sur une approche expérimentale par simulation à l'aide du logiciel TRNSYS V17 [5]. Les tests de simulation ont été effectués pour la saison chaude, troisième trimestre (soient les mois de Juin, Juillet et Août). L'investigation a porté sur les principaux composants de l'enveloppe: les ouvertures, les parois verticales (les murs) et horizontales (les toitures), considérant que ces éléments ont un impact effectif sur le confort thermique et la consommation énergétique.

L'étude paramétrique s'est basée sur un modèle virtuel défini à l'issue d'une analyse typo-morphologique qui a porté sur l'habitat individuel autoproduite à Biskra. Les systèmes constructifs les plus utilisés au niveau de l'enveloppe dans la ville de Biskra ont été testés (**Tableau 3**). Le modèle correspond à une pièce de forme carrée d'une superficie de 16 m^2 et d'une hauteur sous plafond de 3 m. Le modèle est menu d'une fenêtre unique à vitrage simple de $(1 \times 1.2)\text{ m}^2$ avec un encadrement en bois léger (figure 4). Les surfaces en contact direct avec l'extérieur sont la toiture et une façade unique, la porte donne sur l'espace intérieur.

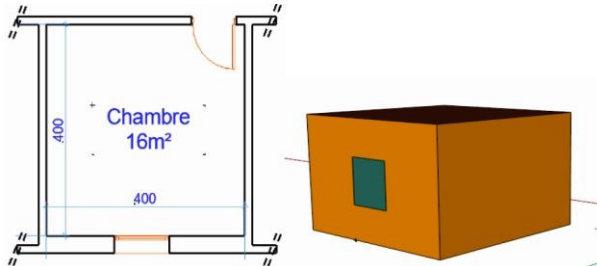


Fig. 4: Modèle virtuel. Source: Auteur, 2017

Les tests visent à évaluer la performance énergétique de cinq différentes variantes représentant des typologies d'enveloppe utilisées dans l'habitat individuel autoproduite à Biskra, on calculera les besoins énergétiques à l'intérieur de la pièce (modèle virtuel) qui sera simulée selon les conditions définissant les caractéristiques de la variante considérée. On proposera, ensuite, pour chaque cas les moyens d'améliorer la performance énergétique de la variante en agissant sur les paramètres propres à l'enveloppe. Les scénarios d'amélioration ont été proposés dans le respect des spécificités de la maison autoproduite à Biskra, et avec l'utilisation du système constructif employé dans la région (**Tableau 3**).

Tableau 3: Présentation des scénarios d'amélioration au niveau de l'enveloppe. *Source: Auteur, 2017*

Les murs	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
	-Enduit Ext1.5cm -Parpaing creux 20cm -Enduit Int. 1cm	-Enduit Ext1.5cm -Parpaing plein15cm -Enduit Int 1cm	-Enduit Ext 1,5cm -Brique creux 15cm -Enduit Int. 1cm	Enduit Ext 1,5cm Brique creux 15cm Brique creux 15cm Enduit Int 1cm	Enduit Ext. 1,5cm Brique creux 15cm Lame d'air 5cm Brique creux 10cm Enduit Int. 1cm
Les toitures	T1	T2	T3	T4	
	Béton armé 4cm Hourdi creux 16cm Enduit mortier Int 1.5cm	Béton armé 4cm Corps creux de terre cuite 16cm Enduit mortier 1.5cm	Carrelage 3cm Mortier de ciment 3cm Béton armé 4cm Hourdi creux 16cm lame d'air 5cm Faux plafond 2.5cm	Carrelage 3cm Mortier de ciment 3cm Béton armé 4cm Hourdi creux 16cm Enduit mortier 2cm	
Dimensions des fenêtres	F1	F2	F3		
	0,6 x 1m	1 x 1,2m	1,2 x 1,5		
Type de vitrage	V1	V2	V3		
	Vitrage simple	Double vitrage avec lame d'air	Double vitrage avec gaz d'argon		
Protections des fenêtres	PS	PP	PT		
	Sans protection (Cas de référence)	Protection partielle ajourée (Moucharabieh)	Protection totale ombragée (Obstacle)		
La couleur extérieure	CCL	CSB			
	Couleur claire (absorption solaire 0.2)	Couleur sombre (absorption solaire 0.7)			
Isolation des murs	SI	IN	EX		
	Sans isolation	Isolation intérieure (polystyrène)	Isolation extérieure (polystyrène)		
Isolation de la toiture	TSI	TIso			
	Sans isolation	Isolation avec polystyrène			

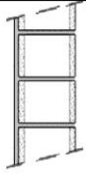
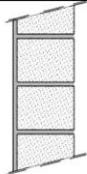
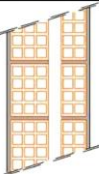
On a supposé que la pièce abrite deux personnes dont la chaleur sensible est de 71 W/pers et la chaleur latente est de 60 W/pers (DTR C3.4), le niveau de l'activité métabolique en été est de 1.2 selon EN ISO7730 et la résistance thermique des vêtements est égale à 0.5 clo tenue d'été (EN ISO7730), enfin, la vitesse relative de l'air est égale à 0.1m/s. La pièce est munie d'un éclairage artificiel (25 W/m²); elle est équipée d'un micro-ordinateur avec moniteur couleur (230 W) et une télévision (150 W) [6]. En période d'été, le climatiseur est mis en route lorsque la température intérieure passe au-dessus de 25 °C, l'infiltration et la ventilation sont fixées à 0.6 volume par heure. Pour calculer la consommation énergétique, on a choisi l'Output Q Cool: l'énergie sensible consommée pour refroidir l'espace.

4. RESULTATS ET INTERPRETATION

L'objectif de la série de simulation effectuée, est de savoir jusqu'à quel point on peut améliorer la performance énergétique de l'habitat autoproduit à Biskra, en d'autres termes quels dispositifs architecturaux faut-il éviter et quelles sont les solutions à adopter pour ce type d'habitat en faisant prévaloir les conditions climatiques chaudes et

arides de la région. Cinq cas de figure désignés par Cas1, Cas2, etc..., représentant les modalités les plus utilisées à Biskra pour construire les murs extérieurs, ont été étudiés (Tableau 4).

Tableau 4: Présentation des cinq cas étudiés. Source: Auteur, 2017

Cas 1 :Mur en parpaing creux	Cas 2 :Mur en parpaing plein	Cas 3 :Mur simple en brique de 15cm	Cas 4 :Mur double en brique de 15cm x 2	Cas 5 :Mur double en brique avec lame d'air
				

4.1 Effet de l'orientation sur la consommation énergétique

La première série de tests a été effectuée pour déterminer l'effet de l'orientation (Nord, Sud, Est et Ouest) sur la consommation énergétique pour les cinq variantes(Cas1, Cas2, ...etc.), pour chaque cas, on a fait prévaloir les caractéristiques de l'enveloppe extérieure propres à chaque variante. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 5.

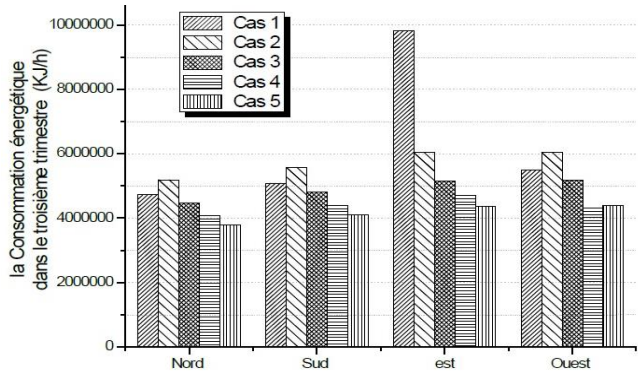


Fig. 5: Comparaison entre la consommation énergétique obtenue dans le troisième trimestre selon différentes orientations. Source: Auteur, 2017

La figure 5 montre que pour les cinq variantes simulées, les orientations Est et Ouest augmentent les besoins énergétiques nécessaires pour refroidir l'espace intérieur en été par rapport aux orientations Nord et Sud. 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. D'après les résultats obtenus pour les cinq variantes, on peut dire que les orientations Nord et Sud sont optimales pour réduire les besoins énergétiques.

4.2 Optimisation de l'enveloppe selon le type de système constructif des murs extérieurs

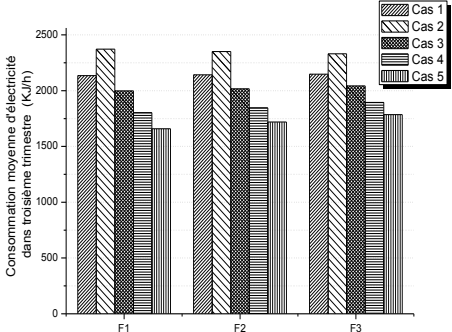
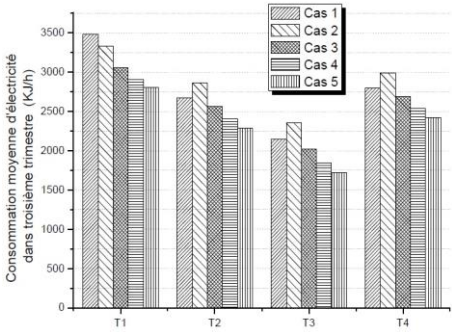
Après avoir montré que l'orientation optimale pour les cinq cas étudiés est soit le Nord soit le Sud, nous avons choisit l'orientation Nord pour effectuer la deuxième série de simulations, l'objectif étant d'améliorer la performance énergétique de l'enveloppe. Pour ce faire, on a commencé par simuler chaque variante d'enveloppe en faisant

prévaloir les caractéristiques les plus récurrentes dans la réalité. 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.

A chaque modification effectuée, la valeur optimale pour le paramètre concerné est retenue pour la modification suivante; à titre d’exemple le type de toiture T3 est retenu comme valeur optimale, puisqu’il permet d’enregistrer la consommation électrique la plus basse en comparaison avec les autres types (T1, T2, et T4) (**Tableau 5**). Cette valeur (le type de toiture T3) va être maintenue constante pour la suite des améliorations, et on procédera de la même manière pour la suite des modifications envisagées; à chaque nouveau test la valeur optimale de l’élément est retenue jusqu’à arriver à caractériser l’enveloppe la plus performante en terme de consommation énergétique. Les modifications effectuées sont détaillées dans le **Tableau 3**.

Tableau 5: Présentation des résultats des améliorations successives effectuées sur les cinq cas étudiés. *Source- Auteur 2017*

1- Toiture (T1, T2, T3, T4	2- Dimension des fenêtres (F1, F2, F3)
Les 5 Cas x (T1, T2, T3, T4)	[Les 5 Cas + T3] x (F1, F2, F3)



Un bon choix de type de la toiture permet de réduire la consommation d’énergie et aussi diminue la transmission de chaleur à l’intérieur de bâtiment surtout dans la période estivale. Pour les cinq cas simulés, on remarque que la consommation électrique la plus basse est enregistrée avec la toiture **T3**.

Les dimensions des ouvertures (ratio de vitrage)est un facteur déterminant pour la quantité d’énergie solaire pénétrant à l’intérieur d’un espace, ce rayonnement solaire peut provoquer des surchauffes surtout dans le climat chaud et aride. Dans les simulations effectuées, le ratio **F1** (0.6 x 1 m²) donne les meilleurs résultats, cependant pour satisfaire aux conditions de l’éclairage naturel et assurer le confort lumineux dans la pièce, nous avons retenu le ratio **F2** (1 x 1.2 m²).

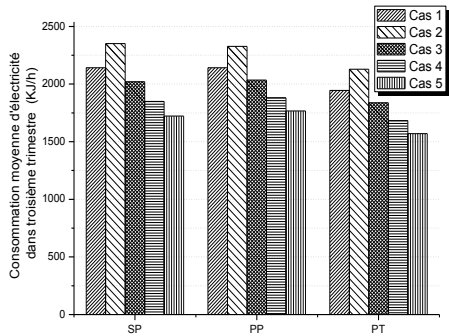
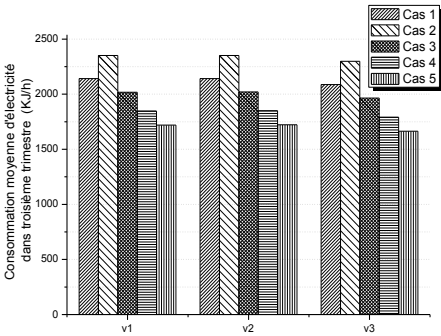
3-Type de Vitrage(V1, V2, V3)	4-Protection solaire (PT, PP, PS)
[Les 5 Cas +T3+F2] x (V1, V2, V3)	[Les 5 cas + T3 T3+F2+V2] x (PT, PP, PS)
Les caractéristiques physiques des vitrages influencent fortement la	D’après les résultats d’études antérieures, les protections solaires permettent jusqu’à

consommation énergétique de l'enveloppe.

Après avoir effectué des simulations avec 3 types de vitrages différents, il apparait 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).

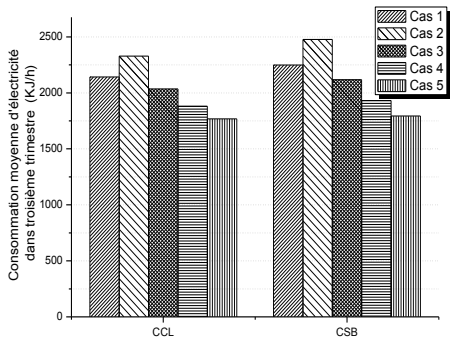
10% d'économies d'énergie.

En ce qui concerne les tests qu'on a effectués, on remarque que la protection totale PT (bâtiment voisin avec une grande hauteur) et la protection partielle ajourée (mouchrabieh) consomme moins d'énergie par rapport à l'absence de protection (PS) qui consomme plus d'énergie. On retiendra la protection PP.



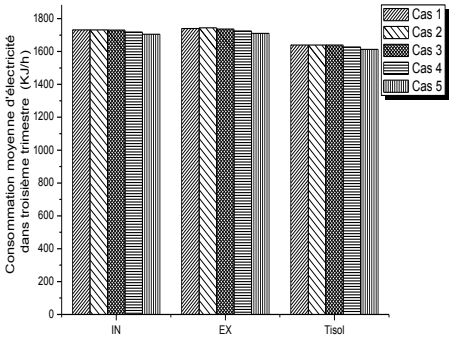
5- La couleur extérieure (CCL, CSB)

[Les 5 Cas + T3 + F2 + V2 + PP] x (CCL, CSB)



6-Isolation des murs(SI, IN, EX) et de la toiture(Tiso)

[Les 5 Cas + T3 + F2 + V2 + PP + CCL] x (SI, IN, EX, Tiso)



Dans les simulations effectuées, on voit que la couleur claire avec une absorption solaire de 0.2 donne une consommation électrique plus basse que la couleur sombre (absorption solaire 0.7).

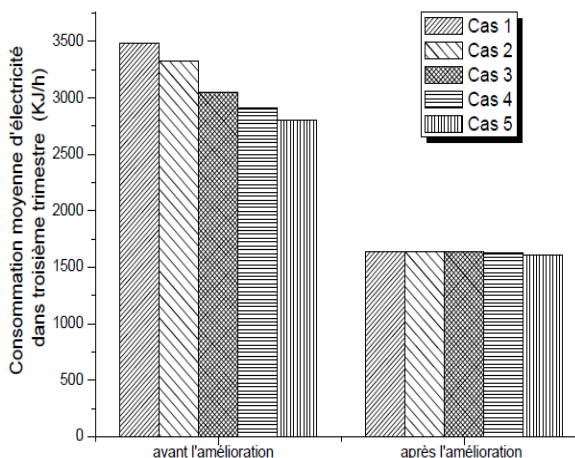
La réflexion de la lumière sur les surfaces extérieures entrave le stockage de la chaleur et réduit la quantité de gain calorifique vers l'intérieur.

Dans un climat chaud et aride, les surfaces externes devraient être peintes

Après la comparaison entre les résultats obtenus en appliquant l'isolation des murs soit à l'intérieur (IN) soit à l'extérieur (EX) et au niveau de la toiture (Tiso), il apparait que l'isolation donne de meilleurs résultats en termes de réduction de la consommation énergétique pour les besoins de refroidissement.

avec des couleurs claires. On retiendra la valeur CCL.

Comparaison entre les cinq variantes modélisées avant et après l'application des solutions d'optimisation au niveau de l'enveloppe



Après comparaison entre les cinq variantes étudiées, la quantité moyenne d'énergie consommée durant le troisième trimestre pour rafraîchir l'espace intérieur est sensiblement réduite après avoir appliqué des modifications par rapport aux caractéristiques des composants de l'enveloppe.

En effet, dans les murs à faible inertie comme le parpaing creux, la réduction est de l'ordre de 1842.05311 kJ/h et pour le parpaing plein elle est de l'ordre de 1691.29968 kJ/h. De même pour un mur simple en brique de 15cm, l'écart moyen de consommation atteint 1414.81821 kJ/h. Par contre pour les variantes construites en double cloison, l'écart de consommation est plus appréciable.

A titre d'exemple, pour des doubles parois en brique de 15 cm, elle est de l'ordre de 1283.69519 kJ/h. Dans le cas d'une paroi en double mur avec lame d'air, l'écart énergétique après l'introduction des améliorations est optimal et correspond à 1190.5168 kJ/h.

En conclusion il est possible de diminuer la consommation énergétique dans un bâtiment à travers un choix judicieux des éléments de l'enveloppe et de 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.

5. CONCLUSION

Cette étude consacrée à l'amélioration du fonctionnement énergétique de l'enveloppe de l'habitat individuel autoproduite à Biskra, a mis en évidence l'impact des éléments architecturaux et constructifs de l'enveloppe sur la consommation énergétique durant la période estivale.

Les résultats de l'étude paramétrique ont montré qu'il est possible d'améliorer la performance thermique et énergétique de ce type d'habitat tout en préservant l'essentiel de ses spécificités, de même qu'un mauvais choix effectué au niveau des éléments de

l'enveloppe peut entraîner des dépenses énergétiques excessives pour assurer le confort hygrothermique optimal pour les occupants.

Les tests d'optimisation ont montré que l'application des solutions climatiques au niveau de certains éléments et caractéristiques de l'enveloppe permet jusqu'à 1842.05311 kJ/h de réduction dans la consommation moyenne d'énergie et par conséquent de l'émission des gaz à effet de serre.

REFERENCES

- [1] A. Ould Henia, '*Choix Climatique et Construction. Zone Aride et Semi Arides. La Maison à Cour de Bou Saada*', Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique de Lausanne, 'EPFL', Lausanne, 181 p., 2003.
- [2] Ministère de l'Energie et des Mines, '*Consommation Energétique Finale de l'Algérie*, Chiffre Clé -Année 2005.
- [3] Ministère de l'Energie et des Mines, '*Consommation Energétique Finale de l'Algérie*, Chiffre Clé -Année 2012.
- [4] A. Djelloul, B. Draoui et N. Moummi, '*Simulation du Comportement Energétique des Bâtiments Résidentiels Au Sud Algérien*', Courrier du Savoir, N°17, pp. 113 - 119, Décembre 2013.
- [5] TRNSYS version 17, User Manual, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA.
- [6] Document Technique Réglementaire des Bâtiments d'Habitation DTR. C 3-4, '*Règles de calcul des apports calorifiques - Climatisation des bâtiments*', Centre National de l'Etude et de Recherche Ingénieur du bâtiment 1998.