Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°4 (2015) 657 – 666
DOI: https://doi.org/10.54966/jreen.v18i4.537

Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie

Boualem Djebri [1], Lotfi Derradji [2], Farid Boudali Errebai [2], Mohamed Amara [2] et Yassine Maoudj [2]

[1] Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme L.V.A.P., EPAU
Route de Beaulieu, B.P. 177, El-Harrach 16200, Alger, Algérie
[2] Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées au Bâtiment, CNERIB
Cité Nouvelle El-Mokrani, Souidania, Alger, Algérie

(reçu le 10 Novembre 2015 – accepté le 27 Décembre 2015)

Abstract - *Our work is interested in the experimental study of a rural house with a low energy consumption, which was carried within the framework of the Med-Enec project (Energy efficiency in the sector of the building for the Mediterranean countries). The aim of this work is the study the thermal behavior of a low energy consumption house. In order to do this, 13 thermocouples of the type K and 04 thermo-hygrometers were installed inside the house in order to measure the relative humidity, the air temperature and the temperatures of the walls. Five thermocouples were installed outside the house to monitor the temperatures of the external sides of the walls as well as the air temperature.*

Résumé - *Notre travail s'intéresse à l'étude expérimentale d'une maison rurale à faible consommation d'énergie, qui a été réalisée dans le cadre du projet MED-ENEC (Efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment pour les pays méditerranéens). Ce travail a pour but d'étudier le comportement thermique de cette maison à faible consommation d'énergie. Pour ce faire, treize thermocouples de type K et quatre thermo-hygromètre sont installés à l'intérieur due logement pour mesurer l'humidité relative et la température de l'air, ainsi que la température des surfaces environnantes. Cinq thermocouples sont installés à l'extérieur pour connaître la température des faces externes des parois, ainsi que la température de l'air.*

Mots-clés: Comportement thermique - Confort thermique - Efficacité énergétique - Maison solaire - Isolation thermique – BTS - Thermocouples.

1. INTRODUCTION

Le travail réalisé dans ce projet est une contribution à l'effort de la maîtrise de l'énergie dans le secteur de l'habitat qui est une des priorités de préoccupation du gouvernement algérien.

Cette préoccupation s'est traduite par l'adoption:

- de la Loi N°99-09 du 28 Juillet 1999 relative à la Maîtrise de l'Energie,
- du Décret exécutif N°2000-90 du 24 Avril 2000, portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs,
- du DTR C3-2: 'Réglementation thermique des bâtiments d'habitation – Règle de calcul des déperditions calorifiques' [1],
- du DTR C3-4: 'Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments – Climatisation' [2].

Ce travail a pour but d'étudier le comportement thermique d'une maison économique réalisée par le CNERIB dans le cadre du projet MED-ENEC. Pour ce faire, des instruments de mesures ont été mis en place afin de, quantifier l'environnement intérieur global et en particulier l'ambiance thermique qui est caractérisée par trois grandeurs physiques: la température de l'air, la température des parois et l'humidité de l'air.

2. DESCRIPTION GENERALE DE LA MAISON ETUDIEE

La maison qui fait l'objet de cette étude possède une surface habitable de 90 m², elle est implantée dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souïdania (figure 1). Cette région fait partie de la zone climatique A (Latitude 36,70 N, Longitude 03,20 E) qui est caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide. La maison contient deux chambres, la chambre 1 est positionnée du côté Sud-Ouest et la chambre 2 est positionnée du côté Nord-Ouest. La salle de séjour a une grande fenêtre orientée vers le sud pour bien profiter de l'éclairement naturel en laissant pénétrer le maximum de lumière et une porte-fenêtre orientée vers l'Est. La cuisine est du côté Est, et enfin la salle de bain et les toilettes sont orientées vers le Nord.

Cette maison solaire réalisée par le Centre National d'Etude et de Recherche Intégré du Bâtiment possède certaines caractéristiques d'une maison solaire passive, à savoir: une surface vitrée importante orientée Sud et une grande masse thermique. De plus, elle possède d'autres caractéristiques d'une maison solaire active, par l'incorporation de capteurs solaires pour assurer les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

Fig. 1: Vue du coté Sud et du coté Est de la maison prototype étudiée

■ *Résistance thermique des parois*

L'efficacité énergétique de cette maison est augmentée par une isolation thermique renforcée de l'enveloppe (murs extérieurs, plancher bas, toiture et fenêtres en double vitrage pour limiter les déperditions thermiques).

Les caractéristiques thermiques et les matériaux qui composent les éléments de la maison sont donnés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1: Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison

	Composition	Epaisseur (m)	$R = e / \lambda$ (m^2K/W)	R_g (m^2K/W)
Mur extérieur	BTS	0.14	0.11	2.58
	Polystyrène	0.09	2.25	
	BTS	0.29	0.22	
Plancher Bas	Béton lourd	0.05	0.03	1.65
	Polystyrène expansé	0.06	1.50	
	Béton lourd	0.15	0.09	
	Mortier + sable	0.03	0.03	
	Carrelage	0.02	0.01	
Plancher Haut	Couche de mortier	0.03	0.02	4.18
	Polystyrène expansé	0.16	4.00	
	Béton lourd	0.08	0.05	
	Voûtain en plâtre	0.04	0.11	

3. DESCRIPTION DU SYSTEME D'ACQUISITION

3.1 Mesure de la température

Les mesures de température dans les différents points de la maison sont réalisées avec l'appareil Keithley 2700.

Dix-sept thermocouples de type T sont installés à l'intérieur du logement pour mesurer la température de l'air et des parois.

Cinq thermocouples sont installés à l'extérieur pour connaître la température des faces externes des parois ainsi que la température de l'ambiance extérieure.

3.2 Mesure de l'humidité et de la température de l'air

Les mesures de l'humidité et de la température de l'air sont effectuées à l'aide de thermo-hygromètres enregistreur Testo 175-H1 suspendus au plafond et se trouvent à environ 1.5 mètres du sol.

3.3 Mesure des conditions météorologiques

Une mini station météo sans fil WMR918 a été installée à proximité du prototype et à une hauteur de 7 mètres au-dessus du sol. Elle permet de mesurer les paramètres climatiques suivants: - Température de l'air; - Humidité relative; - Vitesse et direction du vent.

3.4 Mesure du rayonnement solaire

La mesure du rayonnement solaire direct est effectuée à l'aide de deux pyranomètres (CM3 Kipp & Zonen), installés dans le côté Sud du prototype, l'un est sur un plan horizontal et l'autre sur un plan incliné selon l'inclinaison des capteurs solaires à 15°. Les deux pyranomètres sont reliés à un enregistreur et à un système d'acquisition CC 48 Data logger Kipp & Zonen.

3.5 Mesure des propriétés thermo physiques des matériaux

Les mesures des propriétés thermo physiques, telles que la conductivité et la diffusivité thermiques des matériaux de construction utilisés dans la réalisation du prototype sont effectuées à l'aide d'un appareil de mesure CT-Mètre.

Le CT-Mètre fonctionne selon le principe du fil chaud. Il consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée.

4. RESULTATS ET ANALYSES

4.1 Evolution de la température ambiante

La figure 2 illustre l'évolution des températures de l'air extérieur et celle de l'air intérieur dans différentes zones thermiques du prototype (séjour, chambre 1, chambre 2 et couloir).

La température de l'air extérieur présente des fluctuations dues aux paramètres climatiques, par contre celle de l'air intérieur est stable et uniforme dans tout le logement. Ceci est expliqué par l'effet de l'isolation renforcée et de l'inertie thermique importante des parois.

La température de l'air intérieur est comprise dans la plupart du temps entre 26 et 28°C, ce qui répond aux exigences du confort thermique en période d'été.

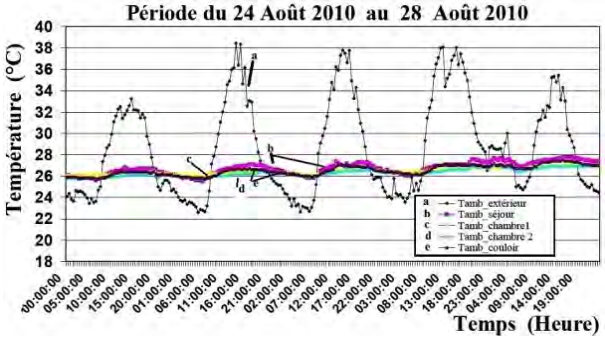

Fig. 2: Evolution de la température ambiante

4.2 Evolution de la température de la surface intérieure du plafond

La figure 3 correspond à la température de la face interne du plafond des pièces suivante: (Séjour, chambre 1 et chambre 2), les températures varient de la même façon. Le plafond possède une forte isolation (16 cm de polystyrène expansé) et est séparé de l'extérieur par un comble, ceci limite l'amplitude de la variation des températures.

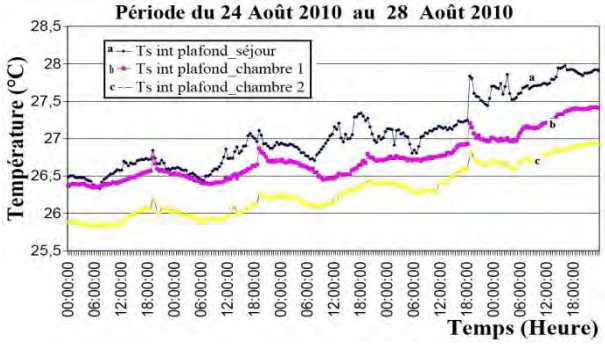

Fig. 3: Evolution de la température de la surface intérieure du plafond

4.3 Evolution de la température de la surface intérieure du plancher

La figure 4 correspond à la température de la face interne du plancher des pièces suivantes: (séjour, chambre 1 et chambre 2). Ces températures sont quasiment stables, et ont une allure similaire à celles du plafond. Elles varient dans la plupart du temps entre 26 et 27.3 °C et répondent donc aux prescriptions du confort thermique.

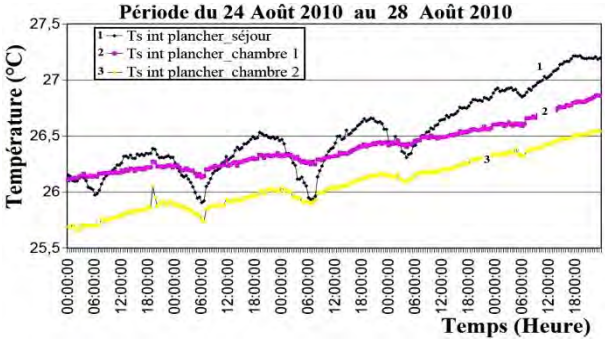

Fig. 4: Evolution de la température de la surface intérieure du plancher

4.4 Evolution des températures des surfaces extérieures des murs

La figure 5 présente le profil de la température des faces externes des murs, cette dernière évolue différemment, suivant le déplacement du soleil. Cette figure permet aussi de constater que la température de la surface extérieure du mur Ouest atteint les valeurs les plus élevées car elle est la plus exposée au soleil pendant la journée.

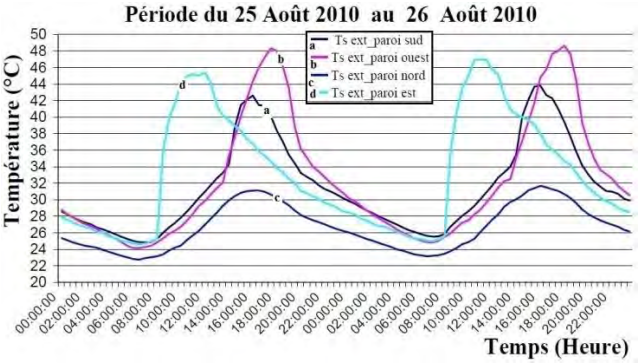

Fig. 5: Evolution des températures des surfaces extérieures des murs

4.5 Evolution des températures des surfaces intérieures des murs

La variation des températures des faces intérieures des murs est présentée dans la figure 6. On constate que les températures des parois évoluent de la même façon contrairement aux résultats de la figure précédente. Elles sont généralement comprises entre 26 et 27.5 °C, ce qui montre la bonne homogénéité thermique à l'intérieur du prototype.

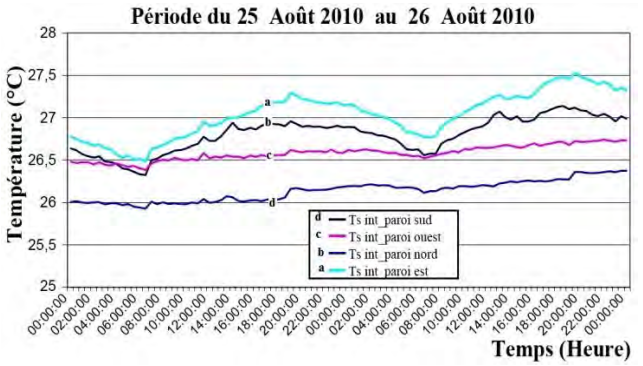

Fig. 6: Evolution des températures des surfaces intérieures des murs

4.6 Evolution des températures de surface intérieure et extérieure des murs

Les figures 7, 8, 9 et 10 montrent que les températures des surfaces intérieures et extérieures sont très faiblement corrélées, la température des surfaces intérieures est relativement stable. Ceci est du à l'effet de l'isolation thermique (9 cm de polystyrène expansé) et de la bonne inertie thermique des murs construits en brique à terre stabilisée (BTS) sur le comportement thermique des parois.

La température des surfaces extérieures peut atteindre un maximum de 44 °C, par contre celle des surfaces intérieures dépasse rarement 27 °C, ce qui assure une ambiance thermique acceptable en période d'été sans le recours à un système de climatisation.

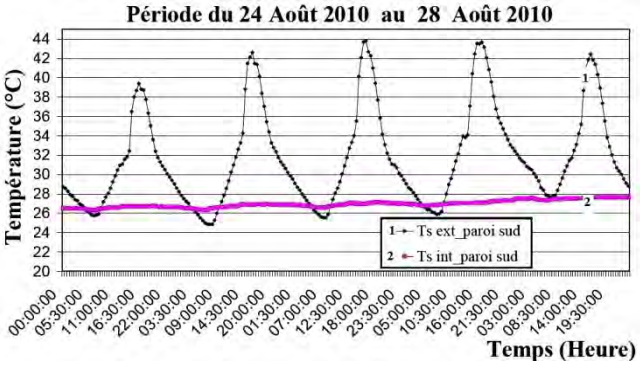

Fig. 7: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur Sud

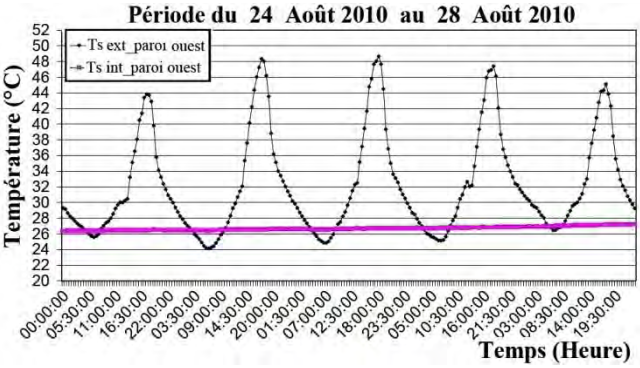

Fig. 8: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur Ouest

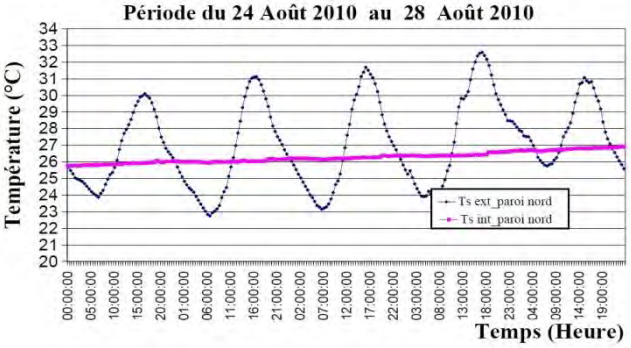

Fig. 9: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur Nord

4.7 Evolution des températures de surface intérieure du vitrage

La figure 11 montre que la température de la face interne du vitrage est moins stable que celle des parois opaques. La température du vitrage correspond à la face la plus chaude des parois pendant la journée.

La température maximale atteinte est 30 °C, ce qui indique la contribution moindre du double vitrage au confort thermique.

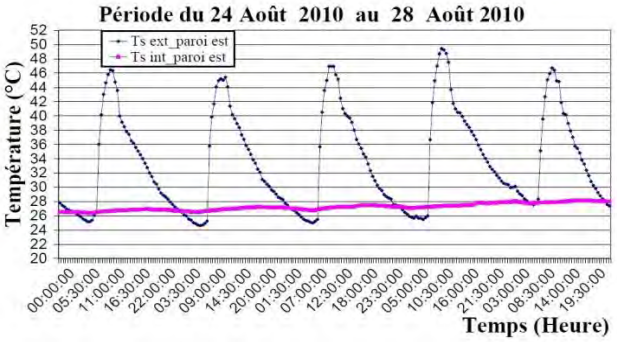

Fig. 10: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur Est

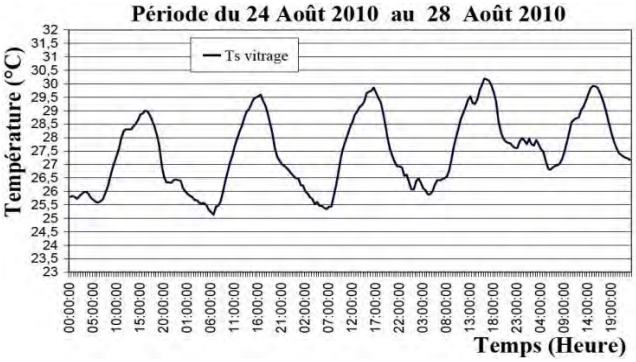

Fig. 11 Evolution de la température de la surface intérieure du vitrage

4.8 Effet de la ventilation nocturne

Pendant la période d'été, les volets et les fenêtres sont restés tout le temps fermés. Cependant, pour prendre en compte les effets de la ventilation nocturne, les fenêtres étaient ouvertes à 7h puis fermées à 19h et ce du 22 août 2010 jusqu'au 27 août 2010.

La figure 12 permet de constater que dans la période où les fenêtres étaient restées fermées, la température était stable (écart jour-nuit nul). Par contre, dans la période où les fenêtres étaient ouvertes la nuit, la température de l'air présentait de petites fluctuations, des écarts jour-nuit de 1 C° environ. Ce phénomène s'explique par le fait que l'air frais rentrant par les fenêtres permet d'évacuer par convection la chaleur accumulée par les parois.

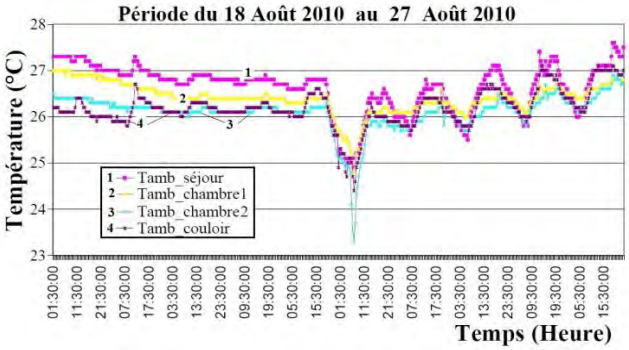

Fig. 12: Effet de la ventilation nocturne

4.9 Evolution de l'humidité relative

La figure 13 représente l'évolution de l'humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur du prototype. L'humidité relative à l'extérieur varie généralement entre 95 % la nuit et 40 % le jour. Par contre, l'humidité relative dans le séjour, la chambre 1 et la chambre 2 varie faiblement entre le jour et la nuit. De plus, cette humidité relative évolue de la même manière dans les 3 pièces. Elle est de l'ordre de 70 %, ce qui est une valeur élevée pour la saison d'été. Ce phénomène est expliqué par le manque d'aération qui est du à l'absence d'une ventilation efficace.

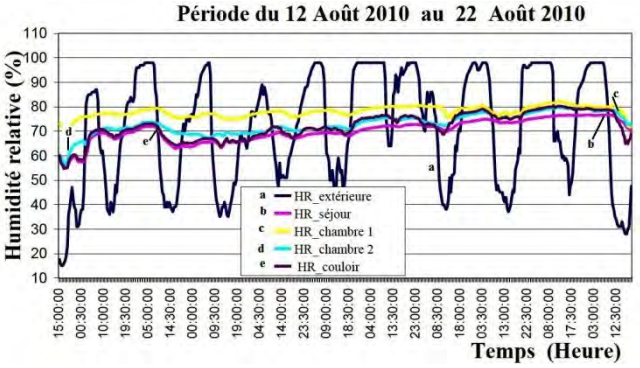

Fig. 13: Evolution de l'humidité relative

4.10 Rayonnement solaire direct

La figure 14 correspond au profil du rayonnement solaire direct sur une deux surface, l'une horizontale et l'autre inclinée de 15°. Le rayonnement incident sur la surface inclinée est légèrement supérieur à celui qui irradie la surface horizontale. Il est à remarquer que le profil du rayonnement solaire en période d'été est sensiblement constant, il peut atteindre une valeur maximale de 950 W/m^2 ;

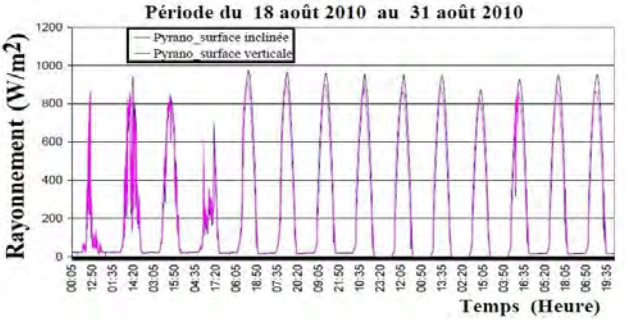

Fig. 14: Rayonnement solaire direct

4.11 Evaluation de la consommation énergétique

4.11.1 Besoins en climatisation

Les résultats des mesures thermiques qui ont été effectuées durant la période la plus défavorable d'été (mois d'août) sur le comportement thermique de la maison prototype, montrent que le confort thermique normal (T=27°C) est assuré sans le recours à l'utilisation d'un système de climatisation.

Cependant, pour assurer un confort amélioré au cours de la période d'été, tel que défini dans le DTR C 3.4 (T=24°C), les besoins en climatisation ont été estimés à l'aide d'un logiciel de simulation en régime dynamique (Pleiades + Comfie).

4.11.2 Besoins en climatisation pour assurer un confort amélioré

Les besoins énergétiques mensuels en climatisation pour la période d'été, qui servent à assurer un confort amélioré sont présentés dans le **Tableau 2**.

Tableau 2: Besoins en climatisation pour assurer un confort amélioré

Mois	Juin	Juillet	Août	Septembre
Q_{raf} (kWh)	24.3	400.4	462.1	154.2

4.10.3 Besoins mensuels en eau chaude sanitaire en été

Pour l'évaluation des besoins en eau chaude sanitaire du logement prototype de type F3 (deux chambres, une salle de séjours, une cuisine, salle d'eau et toilettes), on suppose que la maison est occupée par cinq personnes avec une consommation de 50 litres par personne et par jour, tout au long de l'année.

On prend:

- La température de l'eau chaude utilisée au puisage doit être à 50°C,
- La température d'entrée de l'eau froide dans la région d'Alger est donnée dans le tableau suivant:

Tableau 3: Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau froide dans la région d'Alger

Mois	Juin	Juillet	Août	Septembre
T_{ef} (°C)	17.4	18.5	18.5	17.4

La quantité de chaleur nécessaire pour préparer l'eau chaude vaut:

$$Q_{ecs} = \rho_w \cdot C_w \cdot V_{uw} \cdot (T_{ec} - T_{ef}) \cdot n_{sem,nor}$$

où: Q_{ecs}, besoins en eau chaude sanitaire, ρ_w, masse volumique de l'eau, (ρ_w = 1 kg/l), C_w, capacité calorifique massique de l'eau, (C_w =1.163 Wh/kg.K, V_{uw}, volume d'eau chaude consommée pendant la semaine, en litres, T_{ec}, température de l'eau chaude au puisage, T_{ef}, température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'au chaude, $n_{sem,nor}$, nombre de semaines du mois, vacances exclues.

Les besoins énergétiques mensuels en eau chaude sanitaire sont présentés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4: Besoins mensuels en eau chaude sanitaire

Mois	Juin	Juillet	Août	Septembre
Q_{ecs} (kWh)	252.9	225.8	225.8	241.5

5. CONCLUSION

Ce travail avait pour but l'étude thermique d'une maison à faible consommation d'énergie. Les résultats expérimentaux présentés permettent de comprendre le comportement thermique de l'enveloppe de la maison prototype. Ces résultats montrent aussi que les températures intérieures et extérieures sont très faiblement corrélées, par contre celles de l'intérieure sont relativement stables, comprise la plupart du temps entres 26 et 28 °C.

Elles sont aussi uniformes dans tout le logement. La température des surfaces extérieures peut atteindre un maximum de 44 °C, par contre celle des surfaces intérieures

dépasse rarement 27 °C. Ceci s'explique par l'effet de l'isolation renforcée et de l'inertie thermique importante des parois.

Ces résultats prouvent que cette maison répond aux exigences du confort thermique en période d'été sans le recours à un système de climatisation.

REFERENCES

[1] Document Technique, '*DTR C3-2, Réglementation Thermique des Bâtiments d'Habitation – Règle de Calcul des Déperditions Calorifiques*', CNERIB, Alger, Décembre 1997.

[2] Document Technique, '*DTR C3-4, Règles de Calcul des Apports Calorifiques des Bâtiments – Climatisation*', CNERIB, Alger, Août 1998.

[3] A. Hamid et A. Sadi*, 'Etude Expérimentale du Comportement Thermique d'une Maison Solaire Passive Destinée pour les Régions Sud de l'Algérie*', CDER, Bouzaréah, Alger,1998.

[4] F. Mokhtari, N. Aït Messaoudène, A. Hamid et M. Belhamel, '*Etude du Comportement Thermique d'une Maison Munie d'un Système de Chauffage Solaire*', CDER, Bouzaréah, Alger, Décembre 2006.

[5] S. Filfli, '*Optimisation Bâtiment/Système pour Minimiser les Consommations dues à la Climatisation*', Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris, Décembre 2006.