

Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison prototype en période d'été

Lotfi Derradji ^{1*}, Farid Boudali Errebai ¹, Mohamed Amara ¹,
Yassine Maoudj ¹, Khaled Imessad ² et Fatiha Mokhtari ²

¹ Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB
Cité Nouvelle El Mokrani – Souïdania, Algiers, Algeria

² Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, 16340, Bouzaréah, Algiers, Algeria

(Reçu le 23 Mai 2012 – accepté le 30 Décembre 2013)

Abstract - *An experimental study is carried out in the framework of the Med-Enec (Energy Efficiency in Buildings for Mediterranean Countries) project to investigate the thermal behavior of a rural house with low energy consumption. A typical house of 90 m² built in Algiers is considered. Inside and outside temperature measurements are taken with thermocouples of type K and relative humidity with thermo-hygrometers to monitor temporal variations in the different rooms as well as the temperature at the inner and outer side of the walls, the floor and the ceiling.*

Résumé - *Cette étude est menée dans le cadre du projet Med-Enec (Efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment pour les pays méditerranéens). Elle porte sur une analyse expérimentale du comportement thermique d'une maison type de 90 m² à faible consommation d'énergie construite à Alger. Des mesures de température de l'air intérieur et extérieur ont été effectuées à l'aide de thermocouples de type K et des mesures de l'humidité relative avec des thermo-hygromètres. Les variations temporelles de température ont été déterminées sur les faces internes et externes des parois constituant l'enveloppe de cette maison type.*

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 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 en collaboration avec le CDER dans le cadre du projet Med Enec (Fig. 1).

* Lotfi.derradji@yahoo.fr

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.



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

2. DESCRIPTION GENERALE DE LA MAISON ETUDIEE

La maison étudiée possède une surface de 90 m², elle est implantée dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souidania. 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 possède 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'éclairage 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 (Fig. 2).

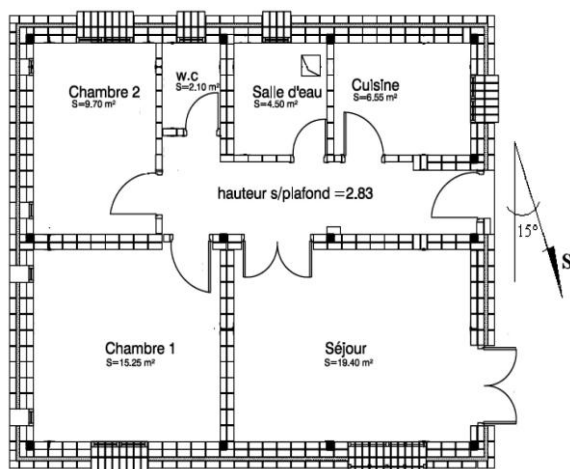


Fig. 2: Plan de masse de la maison prototype

Cette habitation solaire 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.

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 [3, 4].

Les caractéristiques thermiques et les matériaux qui composent les éléments de la maison sont donnés dans le **Tableau 1**, R_g étant la résistance globale de la paroi.

Tableau 1: Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison

	Composition	Epaisseur (m)	$R = e / \lambda$ (m ² K/W)	R_g (m ² K/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 K sont placés à l'intérieur du logement pour mesurer la température de l'air et des parois. Cinq thermocouples sont placés à l'extérieur pour connaître la température des faces externes des parois, ainsi que la température de l'ambiance extérieure.

Les thermocouples ont été étalonnés à l'aide d'un four d'étalonnage (Controlab, Calibrated), pour vérifier la réponse de chaque thermocouple et détecter d'éventuelles anomalies dans les mesures.

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.

2.4 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.

Les deux pyranomètres sont reliés à un enregistreur et à un système d'acquisition CC 48 DataLogger Kipp & Zonen.

2.5 Mesure des propriétés thermophysiques des matériaux

Les mesures des propriétés thermophysiques, 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

Le présent travail traite en détail les résultats des mesures thermiques qui ont été effectuées dans la période la plus défavorable (mois d'août) sur le comportement thermique de la maison prototype.

Tous les essais thermiques ont été faits dans un logement vide, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas d'occupants, et pas de meubles à l'intérieur. Les volets et les fenêtres sont restés tout le temps fermés. Les résultats des mesures effectuées peuvent être présenté comme suit:

4.1 Evolution de la température ambiante

La figure 3 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.

4.2 Evolution de la température de la surface intérieure du plafond

La figure 4 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.

4.3 Evolution de la température de la surface intérieure du plancher

La figure 5 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.

Période du 24 Août 2010 au 28 Août 2010

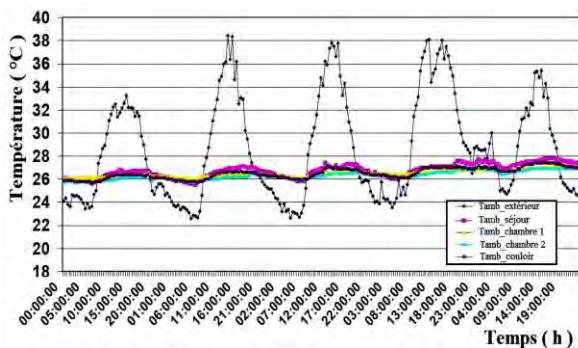


Fig. 3: Evolution de la température ambiante (24/08/10 au 28/08/10)

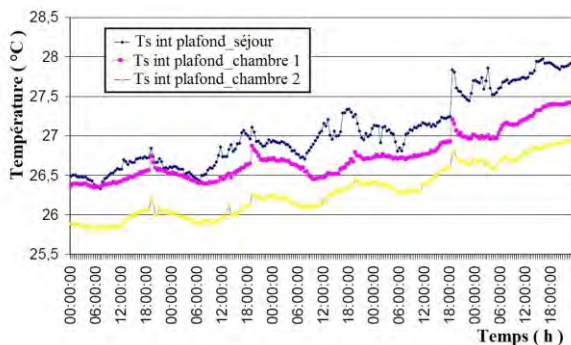


Fig. 4: Evolution de la température de la surface intérieure du plafond (24/08/10 au 28/08/10)

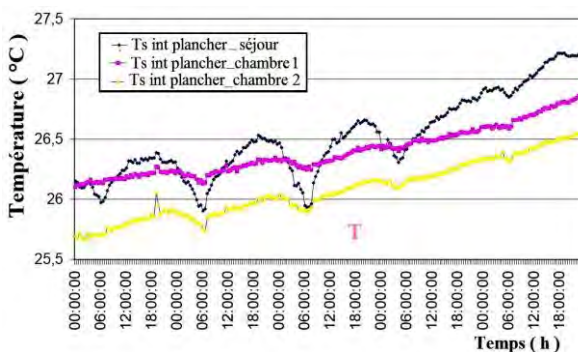


Fig. 5: Evolution de la température de la surface intérieure du plancher (24/08/10 au 28/08/10)

4.4 Evolution des températures des surfaces extérieures des murs

La figure 6 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.

Période du 25 Août 2010 au 26 Août 2010

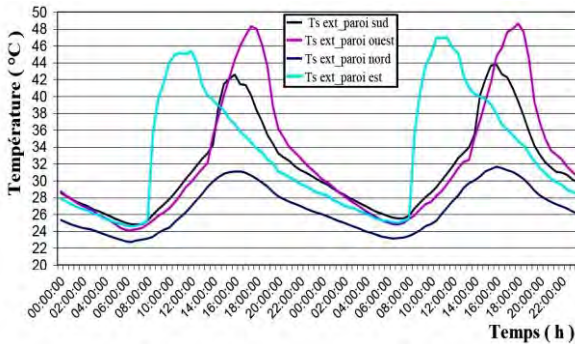


Fig. 6: Evolution des températures des surfaces extérieures des murs (25/08/10 au 26/08/10)

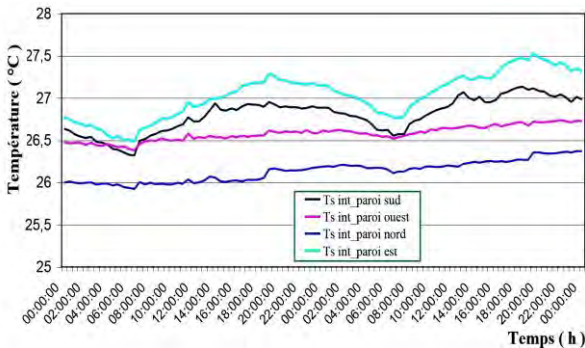


Fig. 7: Evolution des températures des surfaces intérieures des murs (25/08/10 au 26/08/10)

4.5 Evolution des températures des surfaces intérieures des murs

La variation des températures des faces intérieures des murs est présentée dans la figure 7. 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.

4.6 Evolution des températures de surface intérieure et extérieure des murs

Les figures 8, 9, 10 et 11 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 (09 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.

Période du 24 Août 2010 au 28 Août 2010

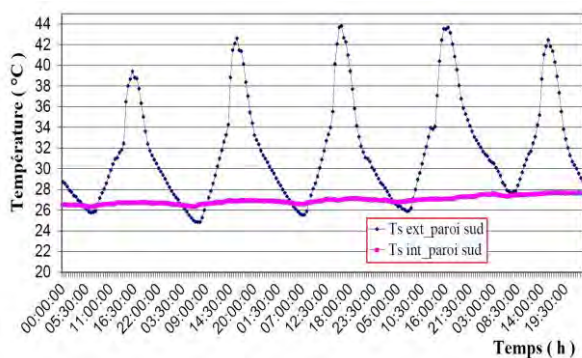


Fig. 8: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur Sud (24/08/10 au 28/08/10)

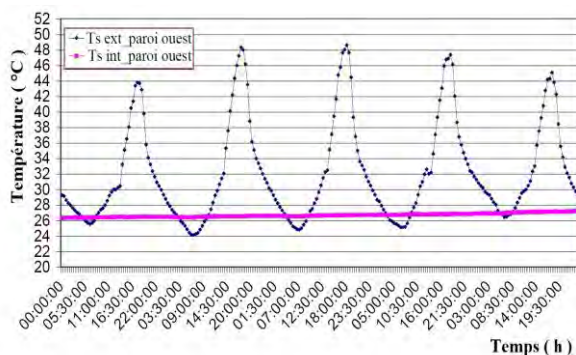


Fig. 9: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur Ouest (24/08/10 au 28/08/10)

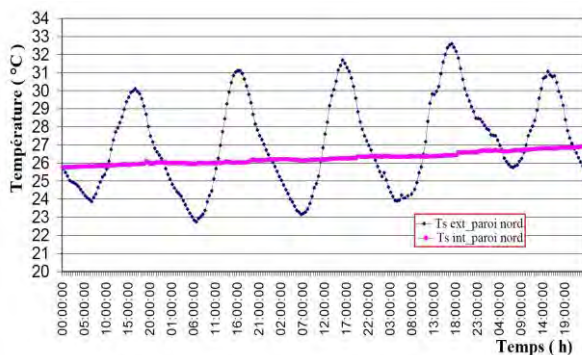


Fig. 10: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur Nord (24/08/10 au 28/08/10)

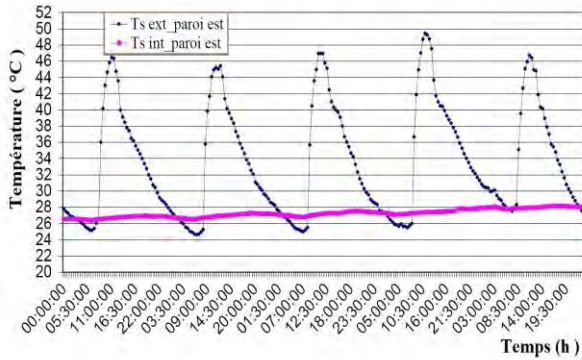


Fig. 11: Evolution des températures de surface intérieure et extérieure du mur est (24/08/10 au 28/08/10)

4.7 Evolution de la température de la surface intérieure du vitrage

La figure 12 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.

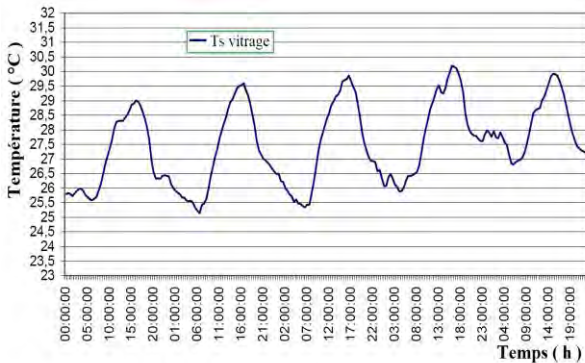


Fig. 12: Evolution de la température de la surface intérieure du vitrage (24/08/10 au 28/08/10)

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 7 h, puis fermées à 19 h et ce du 22 août 2010 jusqu'au 27 août 2010.

La figure 13 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.

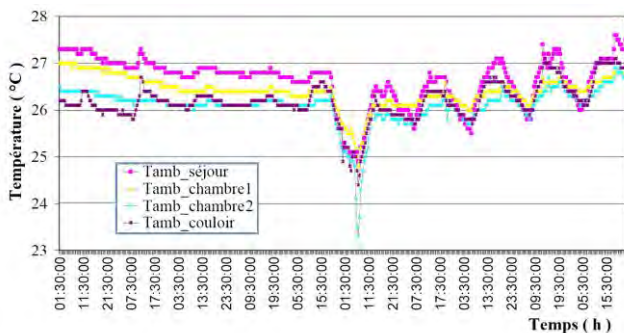
Période du 18 Août 2010 au 27 Août 2010

Fig. 13: Effet de la ventilation nocturne (18/08/10 au 27/08/10)

4.9 Evolution de l'humidité relative

La figure 14 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 dû à l'absence d'une ventilation efficace.

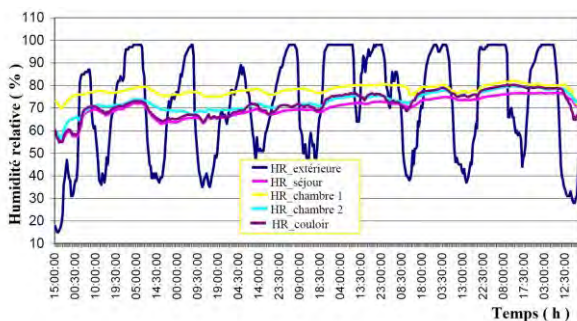
Période du 12 Août 2010 au 22 Août 2010

Fig. 14: Evolution de l'humidité relative (12/08/10 au 22/08/10)

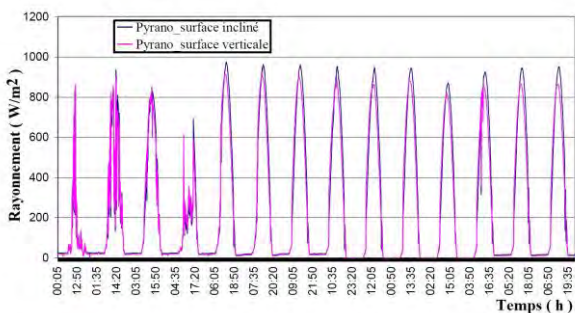


Fig. 15: Rayonnement solaire direct (18/08/10 au 31/08/10)

4.10 Rayonnement solaire direct

La figure 15 correspond au profil du rayonnement solaire direct sur deux surfaces, 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/m². (Période du 12/08/2010 au 22/08/2010).

4.11 Evaluation de la consommation énergétique

4.11.1 Besoins en climatisation

Les résultats des mesures thermiques, 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 ($T = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$) est assuré sans le recours à l'utilisation d'un système de climatisation.

Cependant, pour assurer un confort amélioré au cours de la période estivale, telle que définie dans le DTR C 3.4 ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), les besoins en climatisation ont été estimés à l'aide d'un logiciel de simulation en régime dynamique Pléiades + Comfie.

4.11.2 Besoins en climatisation pour assurer un confort amélioré

Les besoins énergétiques mensuels en climatisation (Q_{cl}) 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_{cl} (kWh)	24.3	400.4	462.1	154.2

4.11.3 Besoins mensuels en eau chaude sanitaire en été

Pour l'évaluation des besoins en eau chaude sanitaire de 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 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 de l'eau chaude s'exprime comme suit [5]:

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

Où, Q_{ecs} représente les besoins en eau chaude sanitaire, ρ_w , la masse volumique de l'eau, ($\rho_w = 1\text{ kg/l}$), C_w , la capacité calorifique massique de l'eau, ($C_w = 1.163\text{ Wh/kg.K}$),

V_{uw} , le volume d'eau chaude consommée pendant la semaine, en litres, T_{ec} , la température de l'eau chaude au puisage, T_{ef} , la température de l'eau froide entrant dans le système de préparation d'eau chaude, $n_{sem,nor}$, le 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 les températures intérieures sont relativement stables, comprise la plupart du temps entre 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] DTR C3-2, 'Réglementation Thermique des Bâtiments d'Habitation, Règle de Calcul des Déperditions Calorifiques', CNERIB, Alger, décembre 1997.
- [2] 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', Revue des Energies Renouvelables, Physique Energétique, pp. 45 – 48, 1998.
- [4] A. Mokhtari, K. Brahimi et R. Benzaida, 'Architecture et Confort Thermique dans les Zones Arides, Application au Cas de la Ville de Béchar', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°2, pp. 307 – 315, 2008.
- [5] Rapport Scientifique et Technique, 'Règles Th-c, Réglementation Thermique', CSTB, France, 2000.
- [6] A. Ferrantea and M.T. Cascellab, 'Zero Energy Balance and Zero On-Site CO₂ Emission Housing Development Mediterranean Climate', Energy and Buildings, Vol. 43, pp. 2002 – 2010, 2011.
- [7] F. Mokhtari, N. Aït Messaoudène, A. Hamid and M. Belhamel, 'Etude du Comportement Thermique d'une Maison Munie d'un Système de Chauffage Solaire', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 9, N°4, pp. 363 – 370, 2006.
- [8] S. Filfli, 'Optimisation Bâtiment/Système pour Minimiser les Consommations dues à la Climatisation', Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris, Décembre 2006.