

Analyse Thermique d'un Système de Chauffage Solaire Passif

K. Imessad et M. Belhamel

Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger

Résumé – *L'intérêt de ce travail est l'étude technico-économique d'un système de chauffage solaire passif. Le système étudié est celui développé par le professeur O.A. Barra et qui nous semble bien adapté aux conditions climatiques de l'Algérie. Une première partie de ce travail est réservée à l'élaboration d'un modèle théorique représentant le comportement thermique d'un local muni du dispositif de chauffage étudié. Une analyse économique complète l'étude pour déterminer les économies énergétiques qu'engendre la mise en place du système. L'analyse sera effectuée dans les différentes zones climatiques de l'Algérie.*

Abstract – *This work consist of the technico-economic study of a passive solar heating system. The studied heating system has been developed by the professor O.A. Barra and seems us the best adapted to the Algerian climatic conditions. A part of this work is reserved to the development of a theoretical model representing the thermal behaviour of the Barra-Costantini System. An economical analyse complete this study to determine the energy saving generated by the use of the system in different Algerian climatic conditions.*

Mots clés: Chauffage passif - Economies d'énergies - Analogie électrique - Thermocirculation.

1. INTRODUCTION

L'augmentation du prix de l'énergie a suscité l'intérêt d'utiliser des sources d'énergie gratuites et inépuisables comme celle provenant du rayonnement solaire.

L'addition d'un système de chauffage solaire passif à un logement est une solution séduisante pour l'économie et l'utilisation rationnelle de l'énergie. Parmi ces systèmes, celui développé par le professeur Trombe et qui consiste à disposer un mur en maçonnerie lourde orienté sud derrière un vitrage et le munir de deux orifices.

J.J. Bezian et G. Arnaud [2] ont conçu un système assez proche du mur Trombe à la différence près qu'ils ont disposé des sections parallélogrammes remplis d'eau à l'intérieur du mur capteur. Dans un autre dispositif étudié par Melih Tan [3], l'énergie solaire récupérée dans un capteur orienté sud est transférée dans un capteur nord. L'intérêt de ce système n'est pas de chauffer directement l'espace intérieur mais plutôt de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur.

A la suite des études menées par le professeur O.A. Barra et l'ingénieur T. Costantini [4] un autre dispositif a été mis au point. Un absorbeur est disposé entre le mur et le vitrage de manière à profiter d'une double circulation naturelle. Durant les journées d'hiver, l'air de par et d'autre de l'absorbeur se chauffe, remonte naturellement et pénètre dans des canaux situés dans le plafond. Une partie de la chaleur est absorbée par ce dernier puis restituée après un certain temps, alors qu'une deuxième partie est directement injectée à l'intérieur du local sous forme d'air chaud.

L'intérêt de ce travail est d'étudier le comportement thermique d'un local muni du système Barra-Costantini et d'évaluer les économies d'énergies qu'il engendre dans différentes régions climatiques d'Algérie.

2. DESCRIPTION DU MODELE

Le système a été décomposé en éléments de volumes finis supposés isothermes, la mise en équations des différents échanges thermiques a été faite en utilisant la méthode de l'analogie électrique où :

- Les températures sont représentées par des potentiels électriques.
- Les flux sont représentés par des intensités de courant.
- Les résistances thermiques sont représentées par des résistances électriques.
- Les capacités thermiques sont représentées par des condensateurs.

Soit i un nœud représentant un volume de masse M_i (kg), de chaleur spécifique C_{pi} (J/kgK) et de température T_i .

Le bilan thermique en chaque nœud i donne :

$$M_i \cdot C_{pi} \cdot \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j \in J_i} \frac{1}{R_{ij}} \cdot (T_i - T_j) + I_i \quad (1)$$

où J_i : Ensemble des nœuds j connectés au nœud i

R_{ij} : Représente les résistances thermiques.

I_i : Source de chaleur.

Le flux de chaleur échangé par la circulation naturelle de l'air chaud (Thermocirculation) est donné par :

$$Q_c = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_j - T_i) \quad (2)$$

Le débit de cet air peut être calculé par la relation suivante [5] :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho \cdot A_d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H \cdot (T_f - T_{in})}{C \cdot T_f}} \\ T_f &= \frac{T_i + T_o}{2} \\ C &= C_1 \cdot \left[\frac{A_d}{A_v} \right]^2 + C_2 \\ C_1 &= 8 \quad \text{et} \quad C_2 = 2 \end{aligned} \quad (3)$$

La figure 1 montre le schéma électrique d'une chambre munie du dispositif de chauffage.

3. EXPERIMENTATION DE PALERME

Toute approche théorique d'un système thermique nécessite une confrontation avec des résultats expérimentaux pour valider les résultats apportés par la modélisation.

Afin de vérifier le modèle théorique, nous avons pu disposer des résultats d'une étude expérimentale menée sur une chambre munie du système Barra-Costantini (B-C) [1]. La maison testée est située à environ 18 km de Florence en Toscane (Italie), longitude 11°16', latitude 43°50' N et altitude 490 m.

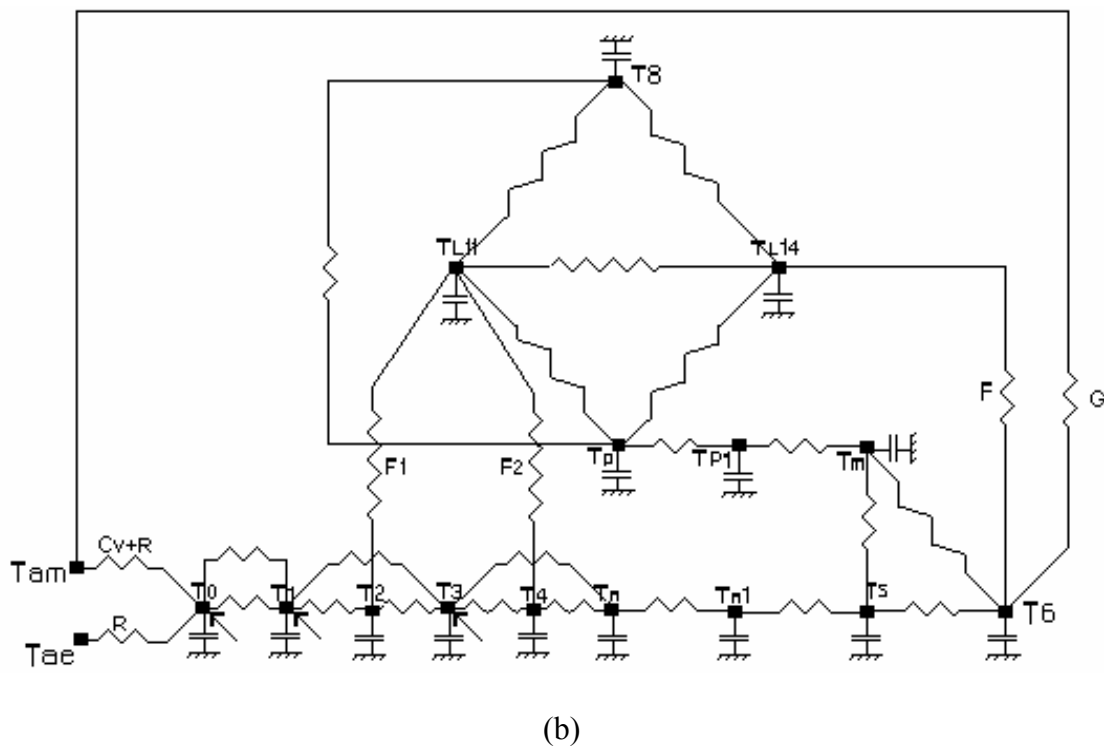
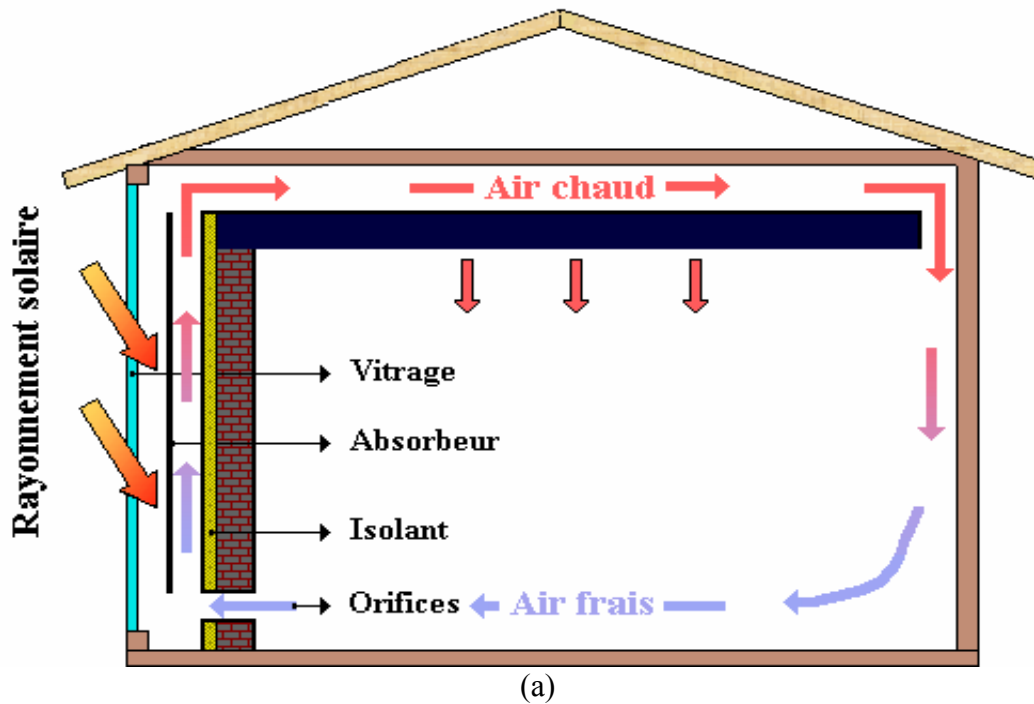


Fig. 1: (a) Système Barra–Costantini – (b) Schéma électrique

Nœuds:

0 – Premier vitrage

1 – Deuxième vitrage

3 – Absorbeur

6 – Intérieur du local

T_n – Face extérieure du mur

T_{L11} – Entrée de l'air dans les conduites

T_{L14} – Sortie de l'air des conduites

T_m – Surface intérieure du plafond

Les mesures des températures ont été prises à l'aide de thermocouples qui ont été installés comme suit :

- Un thermocouple est placé sur la surface intérieure du plafond.
- Deux thermocouples sont placés au centre des orifices supérieurs et inférieurs.

La vitesse de l'air à la sortie des orifices a été mesurée à l'aide d'un anémomètre à fil chaud. La confrontation des résultats illustrés par la figure 2 montre une bonne concordance entre les valeurs théoriques et les valeurs expérimentales.

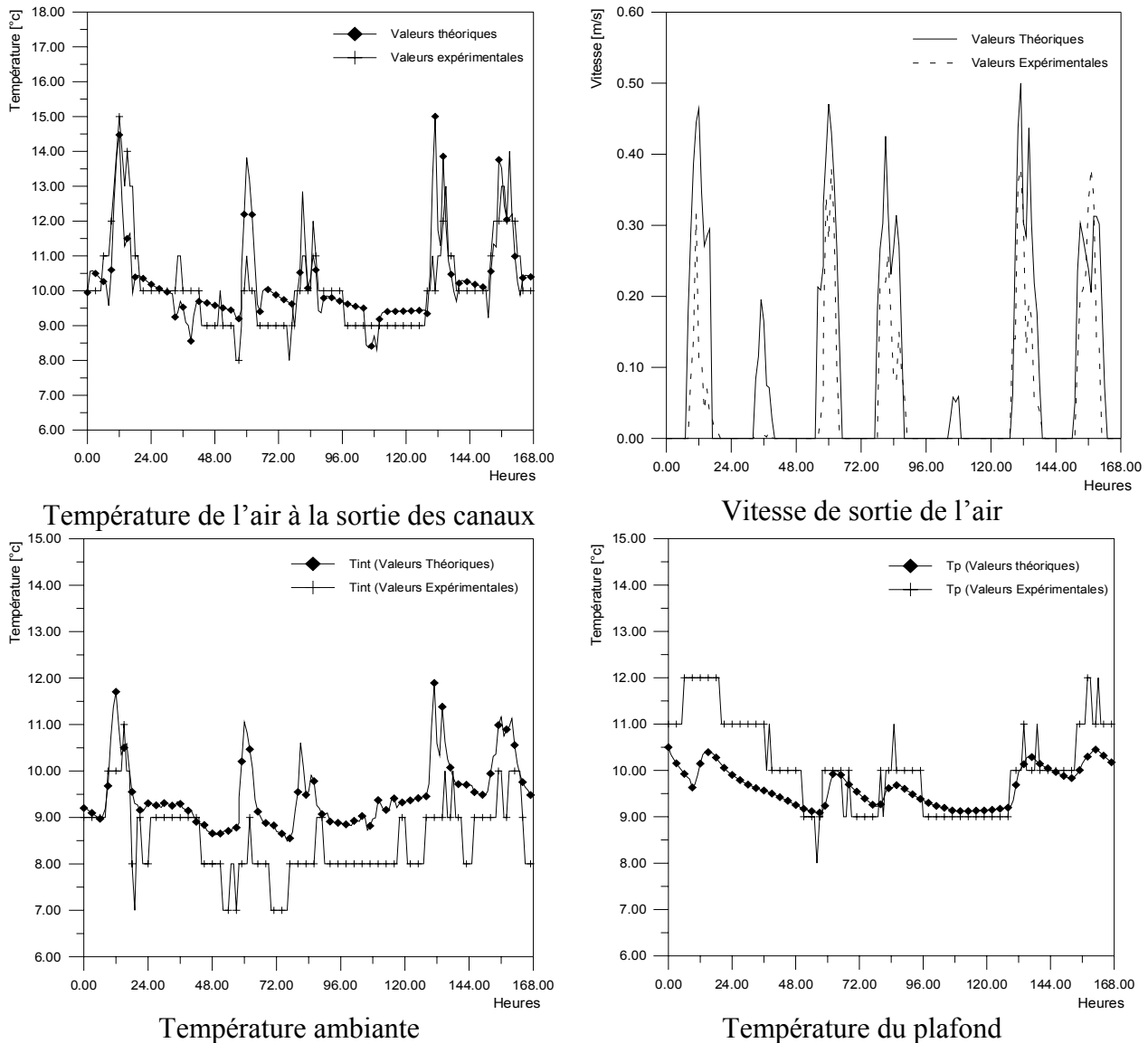


Fig. 2: Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux

4. ETUDE DES PERFORMANCES DU SYSTEME DANS LES CONDITIONS CLIMATIQUES DE L'ALGERIE

La chambre simulée fait partie d'une maison individuelle possédant une forme intermédiaire qui fait le lien entre une villa type coloniale et le bâtiment à appartements. Cette chambre fait 3,7 m de largeur, 4,5 m de longueur et 3,06 m de hauteur. Les murs sont en brique alors que le plafond est en béton armé de 20 cm d'épaisseur.

La distance vitrage absorbeur et absorbeur mur est de 10 cm.

Le capteur est connecté à 5 canaux situés dans le plafond de 45 cm de largeur et 10 cm de hauteur.

La simulation des performances thermiques du système Barra-Costantini a été effectuée sur plusieurs journées d'hiver pour la région d'Alger (Latitude = 36°8 N, Longitude = 03° 25 E).

La figure 4.1 est une comparaison entre la température ambiante d'un local équipé du système B-C et un local classique. Nous constatons que la mise en place du dispositif de chauffage apporte un gain de chaleur d'environ 1,5°C à 3°C avec des températures maximales atteintes vers 15 h et qui ne dépassent 22 °C. La figure 4.2 représente l'évolution de la température des différentes parois du local. En raison de leur forte inertie, les parois en maçonnerie auront tendance à réagir lentement aux évolutions de la température extérieure et joueront le rôle de masses thermiques, stockant la chaleur durant l'heure de pointe pour la restituer après un certain moment. En comparant les pics des courbes de variation de la température extérieure et celle des parois nous pouvons voir que le temps de réponse est d'environ 5 h, c'est le temps que met la chaleur pour traverser les murs.

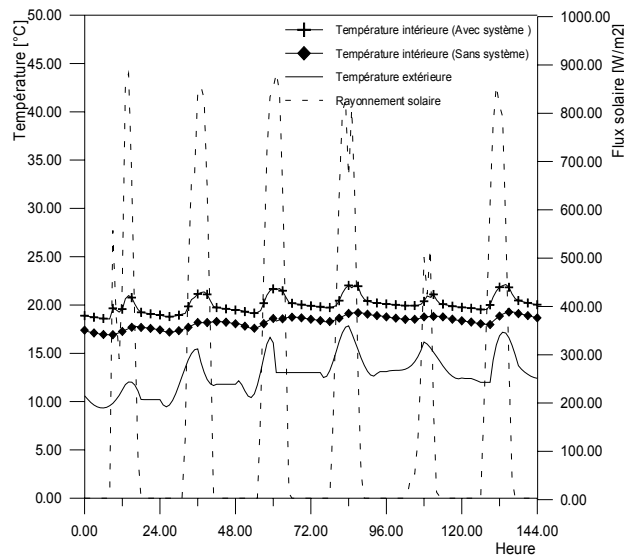


Fig. 3: Température intérieure

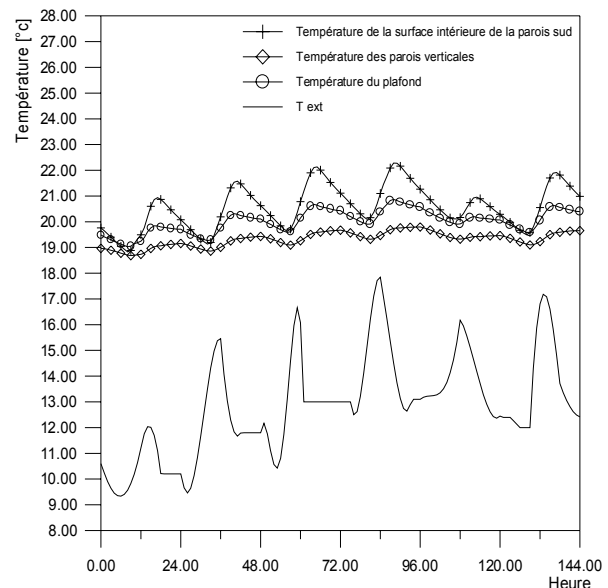


Fig. 4 : Température des parois

5. ANALYSE DE LA RENTABILITE ECONOMIQUE DU SYSTEME

Le succès d'un système de chauffage passif repose sur sa rentabilité économique. Cette rentabilité tient compte de l'argent investi et des bénéfices réalisés.

Les économies d'énergies engendrées par la mise en place du dispositif sont évaluées en effectuant une comparaison entre les besoins de chauffage de deux maisons identiques, l'une équipée du procédé et une deuxième non équipée. Les besoins de chauffage seront ce que devra fournir un système de chauffage (à gaz ou électrique) pour atteindre une température de consigne de 20 °C.

L'analyse a été effectuée pour plusieurs régions représentant chacune une zone climatique différente [6, 7].

L'évaluation en DA des charges de chauffage est faite à partir d'un prix du m³ de gaz égal à 2.8 DA qui le prix adopté par SONELGAZ.

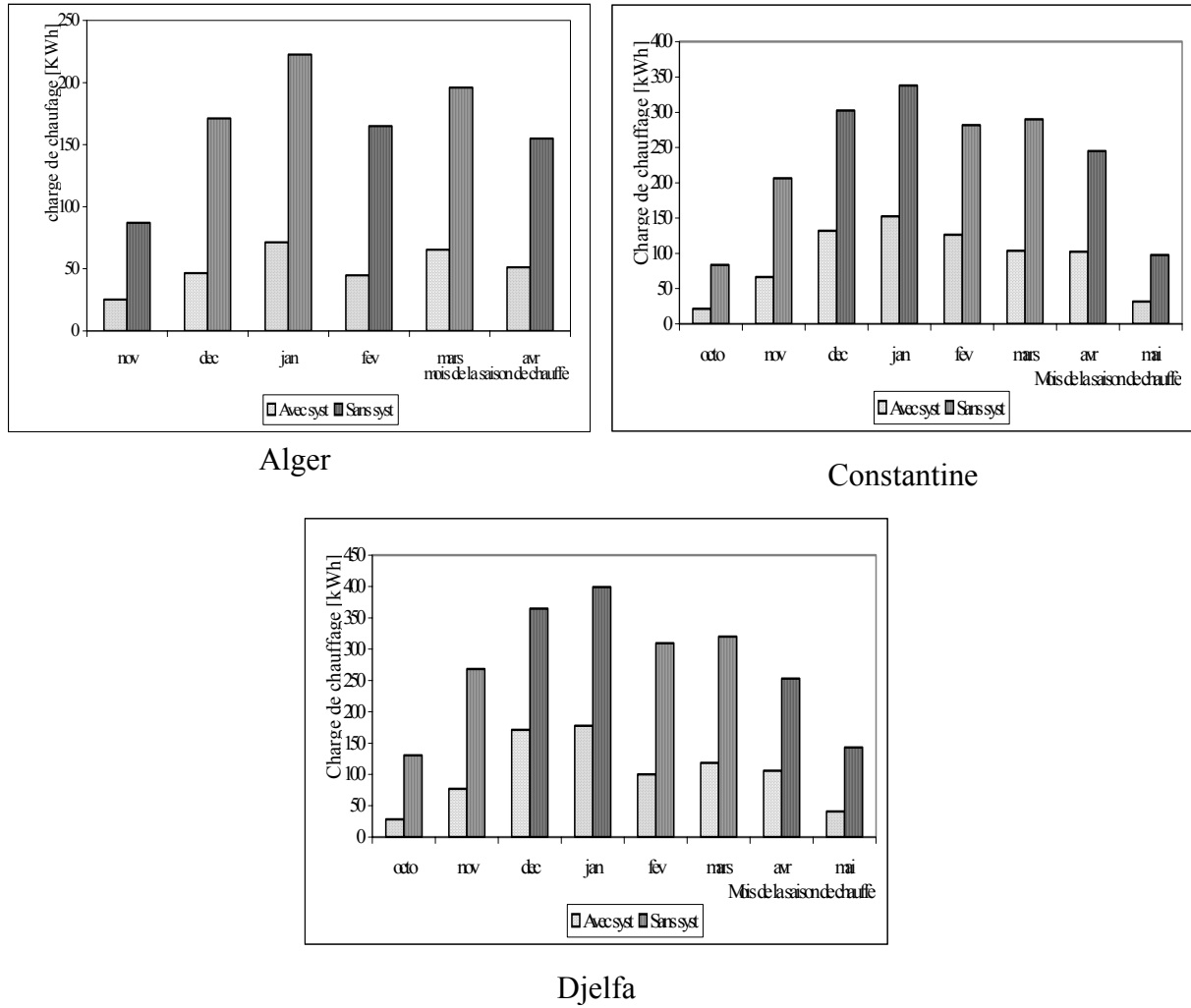


Fig. 5: Besoins mensuels de chauffage

Nous pouvons observer que la mise en place du dispositif engendre une économie de 60 % à 70 % des besoins de chauffage.

Tableau 1: Economie d'énergies réalisées

	Alger		Constantine		Djelfa	
	Sans dispositif	Avec dispositif	Sans dispositif	Avec dispositif	Sans dispositif	Avec dispositif
Charge annuelle de chauffage [kWh]	996.5	304	1844	736.2	2185	819.4
Volume de gaz [m ³]	128.5	39.2	237.5	95	281.7	105.5
Coût annuel du chauffage [DA]	360	110	665	266	789	295
Economies réalisées [DA]	260		400		495	

Pour les ménages, les économies apportées peuvent leur paraître assez faible, par contre sur le plan macro-économique ces économies sont considérables. Il faut savoir qu'en Algérie la consommation énergétique dans le domaine du bâtiment est évaluée à 35 % de la consommation totale et qu'une réduction de 5 à 10 % de notre consommation se traduirait par une économie de 150 millions de dollars par an

4. CONCLUSION

La consommation d'énergie hors industrie étant principalement destinée au secteur de l'habitat, ce dernier devrait être l'un des premiers secteurs visés par des dispositions d'économie d'énergie.

Nous avons pu déterminer grâce à ce travail que la mise en place du système Barra-Costantini réduit considérablement les besoins de chauffage d'un local tout en respectant les conditions de confort exigées pour le bien être des habitants.

NOMENCLATURE

m : Débit massique	(kg/s)	g : Constante gravitationnelle	(m/s ²)
Ti : Température d'entrée de l'air	(°C)	ρ : Masse volumique	(kg/m ³)
To : Température de sortie de l'air	(°C)	Ad : Surface du canal	(m ²)
Tf : Température du fluide	(°C)	Av : Surface des orifices	(m ²)
Tin : Température du local	(°C)	Cp : Capacité calorifique	(J/kg.k)
H : Distance entre les orifices	(m)		

REFERENCES

- [1] A. Zerrouki, '*Expérimentation d'un Capteur Solaire à Air avec Absorbeur en forme de Persiennes pour une Utilisation en Architecture*', Thèse de Magister, Centre d'Etudes Nucléaires et Solaires, 1986.
- [2] J.J. Bezian et G. Arnaud, '*Application de la Convection Naturelle en Cavité Inclivée au Chauffage Solaire Passif*', Séminaire sur l'Energie Solaire, Cannes 1982.
- [3] Melih Tan, '*Opposite Sunspaces Passive Solar Air Heating System*', Solar Energy, Vol. 60, pp. 127-134, 1997.
- [4] O.A. Barra et E. Pugliese Carratelli, '*A Theoretical Study of Laminar Free Convection in I-D Solar Induced Flows*', Solar Energy, Vol. 23, 1979.
- [5] Utzinger, D.M, '*Analysis of Buildings Components Related to Direct Solar Heating Buildings*', M. S. Thesis, University of Wisconsin, Madison, 1979.
- [6] Office National de la Météorologie, '*Atlas Climatologique National, Recueil de Données*'.
- [7] M. Capderou, '*Atlas Solaire de l'Algérie, Aspect Energétique*', O.P.U.
- [8] C. Chitour, '*L'innovation dans le Domaine du Gaz Naturel et des GPL*', 2^{ème} Symposium du Comité Algérien de l'Énergie, Alger, 2000.