

Etude d'un chauffage solaire utilisant des radiateurs à basse température

I.ZEGHIB, A.CHAKER

Laboratoire Physique Energétique, Université Constantine1, ALGERIE

Imita75@yahoo.fr

Chakamine@yahoo.fr

Résumé : L'énergie solaire pour le chauffage de l'eau et d'espace est l'une des méthodes efficaces pour réduire des besoins en énergie conventionnelle pour des bâtiments. Cet article présente une modélisation d'un système de chauffage solaire utilisant des radiateurs à basse température. Les simulations ont été effectuées sur un système solaire, actionné à Constantine en Algérie. L'installation consiste en un collecteur plat solaire, un réservoir de stockage de l'eau, une source d'énergie auxiliaire et des radiateurs à basse température.

Une simulation détaillée du système entier a été effectuée, un modèle mathématique est employé pour évaluer les variations de la température de chaque partie du système, collecte, stockage et distribution.

Mots clés : énergie solaire, capteur solaire, réservoir de stockage, habitat, radiateurs à basse température.

1. Introduction

La politique énergétique de nombreux pays afin de réduire leur dépendance des énergies fossiles dont l'épuisement est inéluctable et de sauvegarder l'environnement s'oriente vers la promotion et le développement des énergies renouvelables. Aujourd'hui l'énergie solaire occupe une place de premier plan dans la recherche scientifique. La production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux sont actuellement parmi les utilisations les plus courantes.

Les systèmes de chauffage solaire à eau fonctionnent à basse température et fournissent de la chaleur via des radiateurs ou un plancher chauffant, individuels ou en combinaison. Ces systèmes consistent à remplacer la chaudière d'un chauffage traditionnel à fluide par une cuve de stockage réchauffée par un ensemble de capteurs. Cette chaleur est utilisée pour répondre aux besoins en chauffage d'un bâtiment. Pour la conception économique du système de chauffage solaire, une étude théorique avant l'installation est incontournable.

L'objectif de notre travail est d'utiliser l'énergie solaire thermique pour le chauffage de locaux par des radiateurs à basse température. L'installation consiste en un capteur solaire pour assurer la collecte de l'énergie thermique qui sera transmise au système de distribution qui à son tour assurera le transfert thermique vers les radiateurs basse température et donc le local.

2. Description et modélisation

2.1. Description

Le chauffage solaire étudié (figure 1), se compose essentiellement d'un capteur solaire plan vitré, d'un réservoir de stockage sans échangeur de chaleur et d'un réchauffeur électrique. L'eau chauffée au niveau de l'absorbeur du capteur solaire entre dans le réservoir où elle cède sa chaleur. L'eau de distribution froide pénètre dans le réservoir par le bas et le fluide chaud sort par le haut avant d'être dirigé vers l'habitation. Un appoint à gaz est utilisé comme chauffage auxiliaire quand la température de l'eau dans le réservoir de stockage est inférieure à celle de demande exigée [1].

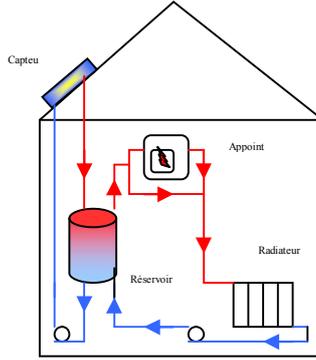


Figure 1 : Système étudié

2.2. Modélisation et bilan thermique du système

2.2.1. Capteur solaire

Le rôle du capteur solaire est d'absorber un maximum d'énergie solaire avec le moins de pertes possible, puis de transmettre cette chaleur à l'eau de circulation (fluide caloporteur). Dans notre étude le capteur est découpé en tranches fictives (mailles) de longueur Δx dans le sens de l'écoulement du fluide caloporteur. Les bilans des échanges qui interviennent aux niveaux des nœuds considérés, vitre côtés extérieur et intérieur, absorbeur, fluide caloporteur ainsi que l'isolation côtés intérieur et extérieur. Le système est résolu par une approche numérique basée sur une méthode itérative

En appliquant la loi d'OHM au nœud i d'une maille à l'instant t , nous obtenons [1] :

$$\frac{m_i}{S_i} C p_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum h_{ij} (T_j - T_i) + P_i \quad (1)$$

2.2.2. Réservoir de stockage

Les bilans énergétiques sont écrits pour chaque nœud dans le réservoir. L'équation d'énergie tient compte du gain d'énergie du collecteur, de l'énergie perdue dans l'environnement, et de l'énergie utilisée par la charge. Il en résulte un ensemble de N équations qui peuvent être résolues par la méthode des différences finies permettant d'obtenir les températures de tous les nœuds en fonction du temps [2].

$$m_i c p_i \frac{dT_{r,i}}{dt} = \alpha_i m_h c p_i (T_{en} - T_{r,i}) + \beta_i m_l c p_i (T_{so} - T_{r,i}) + U_i A_i (T_a - T_{r,i}) + K_e A_e \Delta x \frac{\partial^2 T_{r,i}}{\partial x^2} + Q_{int} \quad (2)$$

Q_{int} : puissance engendrée par l'écoulement du fluide à partir des nœuds voisin. Elle est donnée par la formule suivante[3] :

$$Q_{int} = \begin{cases} \gamma_i c p_i (T_{r,i-1} - T_{r,i}) & \text{si } \gamma_i > 0 \\ \gamma_i c p_i (T_{r,i} - T_{r,i+1}) & \text{si } \gamma_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

γ_i est un paramètre qui contrôle l'échange entre les nœuds internes:

$$\gamma_i = m_h \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j - m_l \sum_{j=i+1}^N \beta_j \quad (4)$$

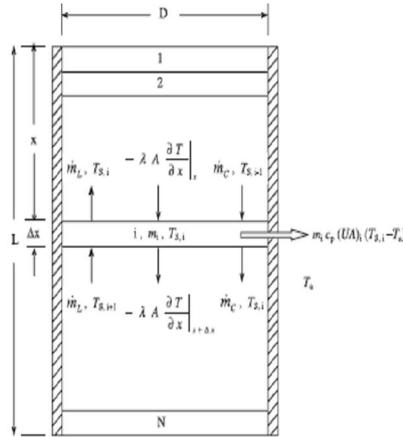


Figure 2 : Réservoir de stockage étudié

2.2.3. Bilan thermique du local

Pour déterminer la puissance des équipements de chauffage, destinée à maintenir les conditions de confort dans les locaux desservis, il est nécessaire d'établir un bilan thermique entre les gains de chaleur (apports solaires et internes) et les pertes (par les parois et par la ventilation). A partir du calcul des déperditions d'un bâtiment, il est possible de calculer les besoins énergétiques d'un local pour le chauffage. Ces besoins vont dépendre de facteurs tels que le volume à chauffer, la plage horaire de chauffage qui est liée au taux d'occupation du bâtiment, la température exigée dans chaque local qui dépend de son affectation et des types d'activité qui y sont prévus.

Les besoins en chauffage sont alors égaux à la différence entre les déperditions thermiques et les apports de chaleur [5,6] :

$$Q_{ch} = Q_h - n \cdot Q_s \quad (5)$$

Où n est le taux d'utilisation (facteur de réduction des apports solaires et internes de chaleur).

La température du local est donnée par l'expression [7] :

$$\frac{dT_l}{dt} = \frac{1}{c} (mcp (T_{rbe} - T_{rbs}) - K_l (T_l - T_a)) \quad (6)$$

2.2.4. Les radiateurs à basse température

La puissance d'un corps de chauffe dépend principalement de sa forme, de ses dimensions et de la différence de température entre le fluide chauffant et l'air du local. De nos jours, tous les constructeurs de radiateurs définissent leur puissance calorifique suivant la norme européenne EN 442. Dans chaque catalogue ou brochure on peut voir les dimensions des radiateurs et convecteurs, mesure l'émission de chaleur pour une température de départ de 75°C, une température de retour de 65°C et une température ambiante de 20°C.

Pour un radiateur à basse température, l'eau circule à 45-50°C en moyenne, au lieu des 75-65°C habituels pour un radiateur classique. Le problème pour l'emploi d'un radiateur en chaleur douce est de connaître la puissance qu'il développe à un DeltaT différent de 50°C. Pour cela, il faut utiliser la formule suivante [7]:

$$q_{rb} = q_{rbn} \left(\frac{\Delta T_{rb}}{\Delta T_{rbn}} \right)^n \quad (7)$$

q_r : puissance thermique cherchée.

q_{rn} : puissance thermique définie par les normes.

$$\Delta T_{rb} = \frac{T_{rbe} - T_{rbs}}{\ln\left(\frac{T_{rbe} - T_l}{T_{rbs} - T_l}\right)} \quad (8)$$

3. Résultats et discussions

Le système est modélisé suivant la méthode Nodale qui est basée sur le calcul des bilans thermiques de chaque élément constituant le dispositif de chauffage, capteur solaire, réservoir de stockage, radiateur à basse température et local.

L'exécution des systèmes a été effectuée par un programme de simulation écrit en langage de programmation de Fortran développé à l'université de Constantine, et le système d'équations obtenu est résolu par un schéma explicite de la méthode des différences finies suivant l'espace et le temps, les données utilisées dans la simulation sont l'éclairement solaire global et la température extérieure. Le programme calcule la température à la sortie du capteur et du réservoir de stockage ainsi que la demande énergétique du local et sa température intérieure.

Nous avons choisi les 15, 16, 17 et 18 février comme jours de calcul. Les températures de l'air à l'intérieur du bureau et de l'extérieur sont respectivement de l'ordre de 20°C et 2°C.

Caractéristiques du système

Bureau :	dimension 4×3×3
Occupants :	2 personnes
L'équipement :	2 ordinateurs, un photocopieur
Température intérieure désirée :	20°C
Température extérieure :	2°C
Surface du capteur :	2 m ²
Volume du réservoir :	200 l
Corps chauffé :	radiateur à basse température
Température d'alimentation :	48°C

La variation du rayonnement solaire et de la température ambiante pour 4 jours successifs, 2 jours avec un ciel dégagé et 2 jours avec un ciel légèrement nuageux), est illustrée par la figure 3. Il est aisé de remarquer que la puissance solaire atteint une valeur maximale de 800W/m² entre 13 h et 14 h, ce qui est suffisant pour couvrir les besoins de chauffage de l'installation comme le montre la variation de la température du local.

L'analyse des courbes de la figure 4 représentant la variation des températures à la sortie du ballon et à l'entrée et sortie du radiateur permet de constater que lorsque la température de l'eau à la sortie du réservoir est inférieure à la température d'alimentation (de l'ordre de 48°C), l'eau se dirige vers l'appoint pour être chauffée puis vers le radiateur. Ce cas se produit quand le rayonnement solaire n'est pas suffisant pour chauffer l'eau du réservoir (le matin, le soir et les jours nuageux). Si le réservoir solaire est par contre, à plus de 48°C, l'eau est chauffée totalement par l'énergie solaire et ira directement au radiateur. Nous remarquons que la différence entre la température de l'entre et sortie du radiateur est de l'ordre de 9 à 10 °C.

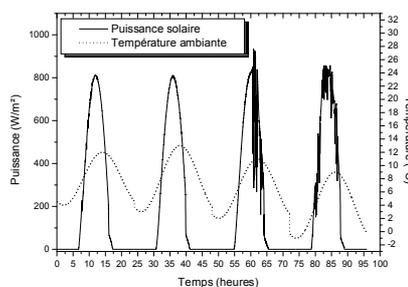


Figure 3 : Variation de l'éclairement solaire et de la température ambiante durant 4 jours

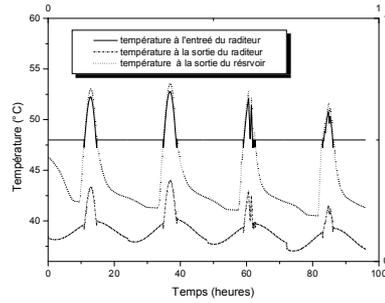


Figure 4 : Variation des températures du réservoir et du radiateur durant 4 jours

La variation des déperditions et les apports externes (solaires) et internes (apports des occupants) au cours de 4 journées est illustrée par la figure 5. Il apparaît clairement que les apports ont une valeur maximale entre 12h et 14 h, à l'opposé des déperditions qui sont minimales dans cette période, de plus nous pouvons remarquer que le besoin de chauffage est maximal pendant la nuit.

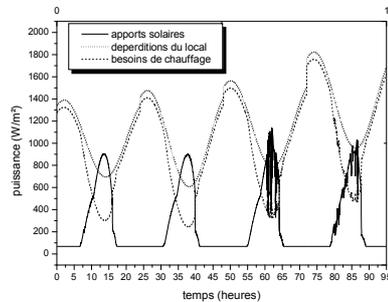


Figure 5 : Variation des apports solaires et déperditions du local et besoins de local

L'observation de la figure 6 permet de noter que la température du local durant les 4 jours étudiés, varie entre 14 °C la nuit et 20 °C la journée, cette fluctuation est due au débit du système de chauffage. Dans le cadre de notre étude un débit constant de 80l/h a été utilisé. Pour résoudre ce problème il faut utiliser un régulateur pour contrôler la température de réservoir et le débit de l'eau dans les radiateurs.

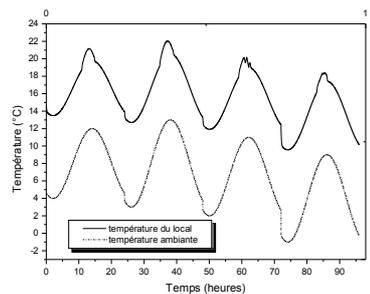


Figure 6 : Variation temporelle de la température du local

Conclusion

L'objectif de ce travail était de simuler un système de chauffage solaire dont l'apport d'énergie est assuré par des capteurs solaires connectés à des radiateurs de chauffage central surdimensionnés, afin de fonctionner en basse température. La température de l'eau d'alimentation pour le chauffage est de 48°C. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres sur la température de l'habitat. Il apparaît nettement que pour chauffer l'habitat par des radiateurs reliés directement à des capteurs solaires il faut utiliser un chauffage d'appoint pour assurer une température constante d'alimentation de chauffage d'une part et un régulateur pour contrôler la température du réservoir et le débit de l'eau dans les radiateurs pour obtenir une température constante du local d'autre part.

Nomenclature

Symbole		Symboles grecs	
T	température, K	α_i	fonction de contrôle circuit capteur
cp	conductivité thermique, $W/m.K$	β_i	fonctions de contrôle circuit soutirage
T	température, K		
q	puissance thermique, W		
		Indices	
m_h	débit massique, circuit capteur, Kg/s	c	capteur
m_l	débit massique, circuit chauffage, Kg/s	r	réservoir
n	facteur de réduction.	l	local
Q_h	les déperditions thermiques, W	a	ambiante
Q_s	apports de chaleur, W	rb	radiateur
		rbe	entrée
		rbs	sortie
		i	noeud

Références

- [1] Cristofari, G. Notton, "Influence of the flow rate and the tank stratification degree on the performances of a solar flat-plate collector" *International Journal of Thermal Sciences*, vol 42, pp 455–469, 2003.
- [2] X.Q. Zhai, J.R. Yang, "Design and performance of the solar-powered floor heating system in a green building" *Renewable Energy*, vol 34, pp 1700–1708, 2009.
- [3] Zeghib. I. Chaker .A "Simulation of a solar domestic water heating system" *Energy Procedia, Science Direct*, vol.6. 2011, pp.292-301.
- [4] J.P. Chyng, C.P. Lee, "Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater" *Solar Energy*, vol 74, pp 33–44, 2003.
- [5] Abdullah Yildiz, Ali Güngör, "Energy and exergy analyses of space heating in buildings" *Applied Energy*, vol. 43, pp. 2479–2492.
- [6] Lamberto Tronchin Kristian Fabbri "Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation", *Energy and buildings*, vol 40, pp1176-1187, 2008.
- [7] Lei Haiyan, Pall Valdimarsson Lamberto Tronchin Kristian Fabbri "District heating modelling and simulation", *Geothermal Reservoir Engineering*, 2009.