

## Chauffage par énergie géothermique des bungalows d'un complexe touristique

Mahmoud Hellel, Omar Bellache et Abdelkrim Chenak

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

(reçu le 22 novembre 2006 – accepté le 20 décembre 2006)

**Résumé** - Cette étude, consiste à simuler le comportement thermique des bungalows d'un complexe touristique, et ensuite concevoir un système de chauffage géothermique pour ces derniers. Cette analyse permet aussi de calculer la charge de chauffage à partir du transfert de chaleur due à la conduction, la convection, le rayonnement solaire, l'éclairage, la ventilation et l'infiltration. Ceci nous a permis, dans un premier temps de faire le design du système de chauffage. Dans un deuxième temps, nous avons, dans le but de dimensionner les corps de chauffe, établi un modèle de fonctionnement. Pour le système de chauffage, nous avons dimensionné et choisi l'échangeur de chaleur qui répond aux besoins thermiques.

**Abstract** - These studies consists in simulating the touristic bungalows thermal performance, and design its geothermal heating system. We evaluate also the heating load from the conduction, convection, radiation, lightening, ventilation and infiltration heat transfer. The procedure allows us, firstly, to design the heating system and secondary, the heating element and to establish the working mode. For the heating system, we choose the best heat exchanger that insures the heating demand.

**Mots clés:** Modélisation - Simulation - Dimensionnement - Chauffage géothermique - Système de chauffage.

### 1. INTRODUCTION

L'objectif principal du présent travail est le chauffage des bungalows d'un complexe thermal et qui a pour conséquence le rabaissement de la température de l'eau de la source à une valeur favorable aux cures thermales. L'eau géothermale est produite par deux puits délivrant chacun un débit de 4 kg/s. La température à la tête du puits est de 67 °C. La distance moyenne entre les puits et les bungalows est de 300 m environ. L'eau géothermale, produite à 67 °C, est refroidie jusqu'à 40 °C environ par un système de réfrigération pour qu'elle soit supportable par les patients pour leurs cures. Ainsi on assiste à un gaspillage d'énergie aussi bien thermique qu'électrique consommée par le système de réfrigération. Dans ces conditions, une installation de chauffage par voie géothermique permet non seulement de récupérer une grande partie de cette énergie pour le chauffage des locaux, mais aussi de fournir une eau géothermale supportable pour les cures. Pour le maintien de ces conditions, le système comporte une première régulation concernant la température de retour à partir des éléments de chauffe et une seconde, relative à la température de l'eau géothermale, avant son évacuation vers les bains.

### 2. DESCRIPTION DU SITE

L'installation étudiée se trouve à Hammam-Righa (latitude = 36.19N, longitude = 2.14E, altitude = 750 m). Les locaux à chauffer consiste en 16 pavillons constitués de 7 bungalows chacun, soit un total de 112 bungalows à chauffer. Le bungalow étudié est composé d'une chambre, d'un séjour, d'une cuisine et d'une salle de bain. Les murs extérieurs sont en double paroi séparée par une lame d'air. Les plafonds de forme arrondie, sont en planchers creux isolés par 3 cm de polystyrène. Les planchers, construits sur un vide sanitaire de 75 cm de hauteur sont en dalle pleine.

### 3. TEMPERATURE EXTERIEURE DE BASE

Le climat algérien est très diversifié à cause de la mer et les variations de latitude et d'altitude. Il est du type méditerranéen doux, continental, montagneux et aride. Les températures de base extérieures de chauffage présentent des caractéristiques très importantes des sites pour la détermination de la puissance de chauffage à installer dans une construction. Ces valeurs sont choisies de manière raisonnable, afin d'assurer un confort satisfaisant des occupants. Une déficience courte et légère du chauffage est accepté par temps très froid [1].

**Tableau 1:** Températures extérieures de base pour le chauffage

N°	Ville	Température de base de chauffage (°C)
01	Adrar	3.4
02	Ain Sefra	-1.0
03	Annaba	6.1
04	Batna	0.3
05	Béchar – Ville	3.0
06	Béjaïa – Soummam	6.9
07	Béni Abbès	3.3
08	Béni Saf	8.6
09	Biskra	6.3
10	Constantine	1.8
11	Dar El Beïda	4.6
12	Djanet	5.0
13	Djelfa	-0.6
14	Chlef	4.5
15	El Bayad	-0.9
16	El Goléa	1.4
17	El Kheder	-2.3
18	El Oued – Guemar	3.9
19	Ghardaïa	4.1
20	Hassi Messaoud	4.0
21	In Aménas	2.2
22	In Salah	6.5
23	Mascara – Ghriss	1.4
24	Miliana	4.8
25	Mostaganem	5.0
26	M'Sila	1.4
27	Oran – Sénia	4.3
28	Saïda – Rebahia	1.2
29	Sétif	0.7
30	Skikda	7.5
31	Tamanrasset	4.3
32	Tébessa	0.1
33	Timimoun	3.4
34	Tindouf	6.1
35	Tlemcen – Zenata	6.1
36	Touggourt	3.5

### 4. DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les transferts de chaleur au niveau des murs sont modélisés selon les relations sur les fonctions de transfert de Mitalas et Arseneault [2, 3]. Pour un mur quelconque (Fig. 1), le transfert de chaleur par conduction vers une de ses surfaces est:

$$\begin{aligned}
 q_{s,i} &= \sum_{k=0}^{nb_s} b_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{nc_s} C_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{nd_s} d_s^k q_{s,i}^k \\
 q_{s,o} &= \sum_{k=1}^{na_s} a_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=1}^{nb_s} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{nd_s} d_s^k q_{s,o}^k
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

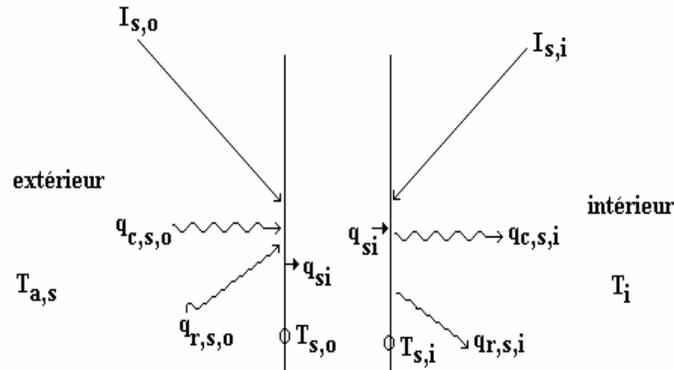


Fig.1: Bilan d'énergie au niveau d'un mur

$I_{s,o}$  : Flux solaire incident sur la face extérieure du mur

$I_{s,i}$  : Flux solaire incident après multiples réflexions sur les autres surfaces

$q_{c,s,o}$  : Flux échangé par convection entre l'air extérieur et la face externe du mur

$q_{r,s,o}$  : Flux échangé par rayonnement entre le milieu extérieur et la face externe du mur

$q_{c,s,i}$  : Flux échangé par convection entre l'air intérieur et la face intérieure du mur

$q_{r,s,i}$  : Flux échangé par rayonnement entre les autres faces et la face intérieure du mur

$q_{s,i}$  : Flux de chaleur échangé par conduction entre la face interne et externe du mur considéré

Ces relations sont les équations, en terme de flux et de température, de la surface du mur à des intervalles de temps égaux. Le transfert de chaleur par rayonnement de grandes longueurs d'onde entre les surfaces des murs d'une zone et le flux de transfert de chaleur par convection des surfaces des murs vers l'air intérieur d'une zone sont approximés en utilisant le schéma proposé par Seem [4] et représenté sur la figure 2.

Les méthodes permettant de calculer les résistances  $R_{equiv,i}$  et  $R_{star,i}$  sont définies dans la référence [4]. Les rapports de surface sont utilisés dans les calculs précédents pour trouver les facteurs d'absorption entre toutes les surfaces. La résistance  $R_{star,i}$  permet de déterminer le flux de chaleur net à partir de la surface de la face intérieur d'un mur.

$$q_{comb,s,i} = q_{c,s,i} + q_{r,s,i} \quad \text{alors} \quad q_{comb,s,i} = \frac{1}{R_{equiv,i} A_{s,i}} (T_{s,i} - T_{star,i}) \tag{2}$$

$q_{comb,s,i}$  : Flux de chaleur échangé par convection et rayonnement.

Pour les surfaces externes, l'échange de chaleur par rayonnement n'est pas considéré explicitement. Le flux de chaleur est calculé au moyen des coefficients de transferts de chaleur par convection et rayonnement.

$$q_{\text{comb},s,o} = q_{c,s,o} + q_{r,s,o} \quad \text{alors} \quad q_{\text{comb},s,o} = h_{s,o} (T_{a,s} - T_{s,o}) \quad (3)$$

où

$q_{\text{comb},s,o}$  : Flux de chaleur par convection et rayonnement

$h_{s,o}$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection et rayonnement au niveau de la surface extérieure.

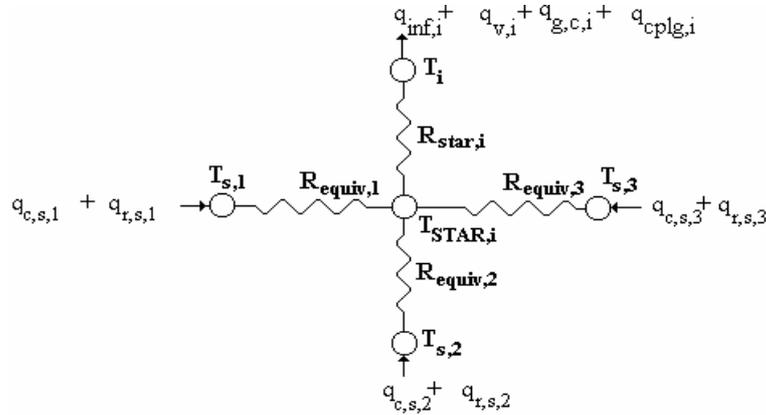


Fig. 2: Réseau étoile pour une zone à quatre surfaces

Un bilan d'énergie au niveau des surfaces donne:

$$q_{s,i} = q_{\text{comb},s,i} + I_{s,i} \quad ; \quad q_{s,o} = q_{\text{comb},s,o} + I_{s,o} \quad (4)$$

Pour les surfaces intérieures ( $I_{s,i}$ ), on peut inclure l'énergie du rayonnement solaire et du rayonnement de grandes longueurs d'onde émis par les occupants, l'éclairage et les appareils ménagers. Pour les surfaces extérieures, le rayonnement solaire sera seulement considéré. Le gain total au niveau d'une zone est la somme des coefficients de transfert combinés.

On a alors:

$$Q_{\text{sui}} = \sum A_s q_{\text{comb},i} \quad (5)$$

Les deux faces d'un mur sont considérées comme surfaces intérieures et sont incluses deux fois dans l'équation (5). Un bilan d'énergie sur le mode (star) montre que:

$$Q_{\text{sui}} = \frac{1}{R_{\text{star},i}} (T_{\text{star},i} - T) \quad (6)$$

#### 4.1 Infiltration, ventilation et couplage par convection

Les taux d'infiltration et de ventilation sont donnés en termes de volume d'air échangé par heure pour chaque zone. Le taux du débit massique est le produit du volume d'air de la zone, de la densité de l'air et du taux de volume d'air échangé. L'infiltration se produit aux conditions de l'air extérieur, alors que la ventilation se passe à une température spécifiée. Les volumes d'air

sont supposés quitter une zone à la température de l'air intérieur de la zone. Le gain en énergie dû à l'infiltration et à la ventilation est:

$$\begin{aligned} Q_{\text{inf},i} &= m_{\text{inf},i} C_p (T_a - T_i) \\ Q_{\text{v},i} &= m_{\text{v},i} C_p (T_v - T_i) \end{aligned} \quad (7)$$

$m_{\text{inf},i}$ ,  $m_{\text{v},i}$  : respectivement les débits d'air d'infiltration et de ventilation

$C_p$  : capacité calorifique spécifique

$T_v$ ,  $T_a$  : respectivement températures de l'air ventilé et de l'air ambiant.

Pour chaque mur séparant deux zones, il est possible de spécifier la convection par couplage qui est le débit massique d'air entrant dans la zone. L'air est supposé quitter une zone à la température de l'air intérieur de la zone. Le gain d'énergie relatif à la convection par couplage est:

$$Q_{\text{cplg},i} = \sum_{\text{adja zones}} \sum_{\text{mur } i,j} m_{\text{cplg},s} C_p (T_j - T_i) + \sum_{\text{cond connue}} m_{\text{cplg},s} C_p (T_{b,s} - T_i) \quad (8)$$

#### 4.2 Température résultante de zone

Le taux de variation de l'énergie interne pour une zone à température flottante est égal au gain de chaleur net:

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = Q_i \quad (9)$$

Le gain de chaleur net ( $Q_i$ ) est fonction de ( $T_i$ ) et des températures des zones adjacentes à la zone ( $i$ ). Pour une solution simplifiée des équations, ( $Q_i$ ) est supposé constant pendant l'intervalle de temps de la simulation. Dans ce cas, la solution de l'équation précédente pour une température finale pour un intervalle de temps donné est:

$$T_{i,\tau} = T_{i,\tau - \Delta t} + \frac{Q_i \Delta t}{C_i} \quad (10)$$

$\Delta t$  : intervalle de temps dans la simulation

$T_{i,\tau - \Delta t}$  : température de l'air de la zone au début du pas de temps.

La température finale pour chaque zone est:

$$T_{i,\tau} = 2\bar{T}_i - T_{i,\tau - \Delta t} \quad (11)$$

#### 4.3 Calcul de la puissance de chauffage (cas simplifié)

Il est possible de déterminer les besoins en énergie pour les zones. Le dégagement de chaleur de l'équipement de chauffage est fonction de la température de l'air intérieur de la zone. La variation de l'énergie interne pour une zone est égale au gain de chaleur moins la puissance de chauffage.

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = Q_i - P_i \quad (12)$$

La résolution de l'équation (12) donne la puissance de sortie pour la zone ( $i$ ):

$$\bar{P}_i = \frac{\overline{T_{stari}}}{R_{stari}} + \sum_{\text{zones murs}} \sum_{\text{adj } i,j} m_{cpIg} C_p \bar{T}_j - \left[ \frac{1}{R_{stari}} + \left( m_{infj} + m_{v,i} + \sum_{\text{murs } i,j} m_{cpI_g} + \sum_{\text{condition connue}} m_{cpI_g} \right) C_p \right] \overline{T_{regi}} \quad (13)$$

$$- \frac{C_i}{\Delta t} (T_{setj} - T_{t-\Delta t}) + m_{infj} C_p T_a + m_{v,i} C_p T_v + Q_{g,c,i} + \sum_{\text{condition connue}} m_{cpI_g} C_p \bar{T}_b$$

## 5. ETUDE DU CIRCUIT DE DISTRIBUTION

Un système de chauffage géothermique comprend en général:

- les puits géothermiques d'où est soutiré le fluide géothermal,
- un échangeur permettant de transférer l'énergie de l'eau géothermale à l'eau caloporteuse circulant dans les habitations,
- le circuit primaire contenant le fluide géothermal qui alimente les bains,
- le circuit secondaire transfère l'énergie de l'eau géothermale aux logements, il comprend un réseau de distribution et un réseau de retour.

La figure 3 présente le schéma de principe de l'installation. Les conditions de fonctionnement de l'installation sont portées sur cette dernière.

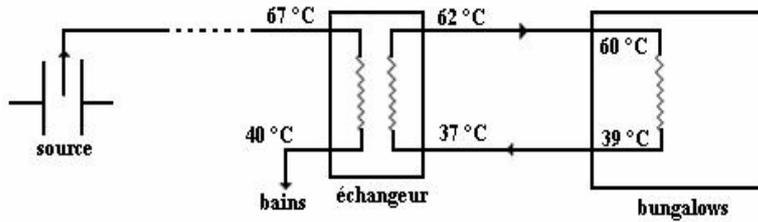


Fig. 3: Schéma du circuit de distribution

La chaleur nécessaire au chauffage des locaux est transmise, à travers un échangeur, au fluide intermédiaire chargé de la transporter Jusqu'aux locaux où elle sera distribuée au moyen de canalisations.

Le taux d'infiltration est fixé à un demi volume d'air échangé par heure pendant les heures d'occupation. La cuisine est ventilée pendant cette dernière période. Les gains sont dus aux occupants, au chauffage et à l'éclairage. La température de l'air intérieur est maintenue à 20 °C pendant les heures d'occupation et à 15 °C pendant les heures d'inoccupation.

## 6. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Nous choisissons une bonne journée pour chaque mois de la saison hivernale. Nous définissons par 'bonne journée', une journée couverte ayant un faible flux solaire direct.

Les températures sont des valeurs horaires calculées en période d'occupation et d'inoccupation.

On s'aperçoit qu'en occupation, les températures de l'air intérieur sont nettement plus élevées qu'en période d'inoccupation. On constate aussi qu'en Janvier et Février, l'écart est un peu plus important que durant les mois de Décembre et Mars. Durant la période d'occupation, la température de l'air intérieur est très stable, et égale à la température de consigne qui est de 20 °C.

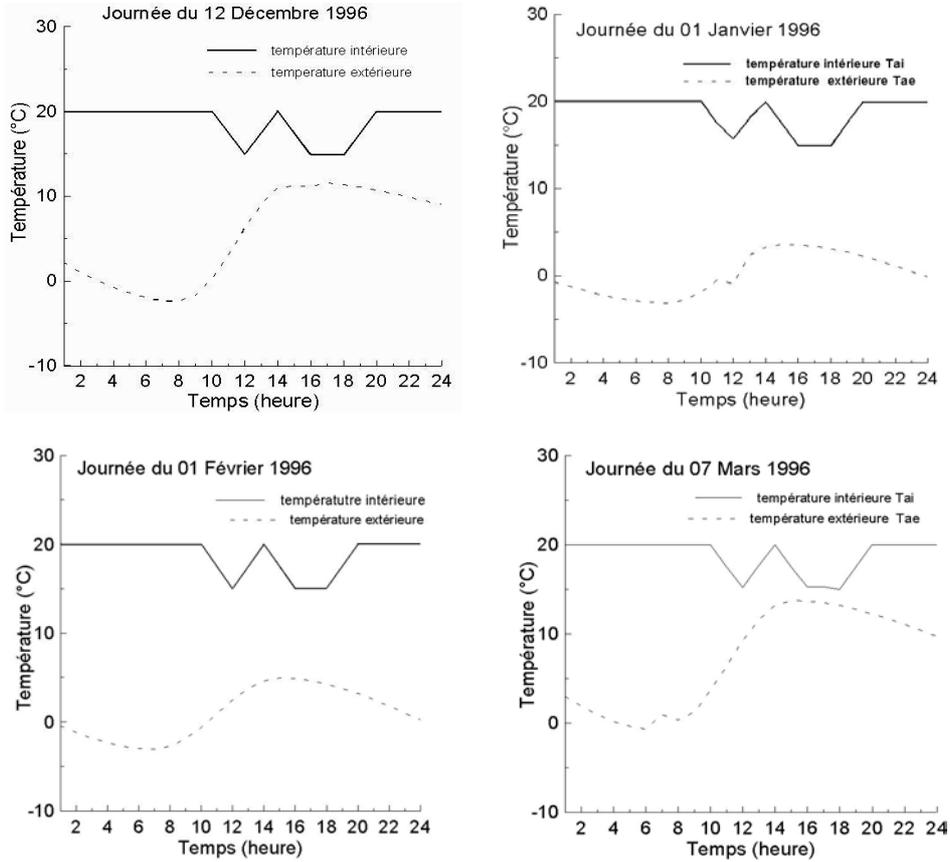


Fig. 4: Evolution des températures de l'air intérieur et extérieur

La figure 5 montre les consommations mensuelles en chauffage pour la chambre et le séjour du bungalow. Nous constatons que les consommations sont négligeables entre le mois de Mai et le mois d'Octobre. La puissance maximale de chauffage est fournie durant le mois de Janvier pour décroître ensuite jusqu'au mois d'Avril, puis elle croît du mois d'Octobre à Décembre.

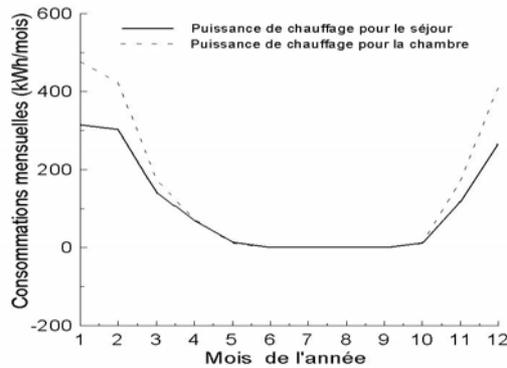


Fig. 5: Consommation mensuelle en chauffage

## 7. CONCLUSION

La présente étude, sur le plan économique, permet de montrer la faisabilité d'un système de chauffage géothermique destiné aux locaux d'une station thermale d'un complexe touristique. Par ailleurs, il est nettement démontré que l'investissement nécessaire peut être récupéré en moins de quatre années d'exploitation et ceci sans oublier les économies en matière d'entretien et d'exploitation. La réalisation de ce projet nous ouvre des voies prometteuses pour l'avenir dans l'utilisation de l'énergie géothermique et la valorisation du gisement géothermique en Algérie, ceci dans le domaine du chauffage de l'habitat.

## REFERENCES

- [1] J.C. Borel, '*Suivi d'une étude justificative de la définition des zones climatiques en Algérie*', Cahier du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, N°57, Août 1962.
- [2] D.P. Stephenson and G.P. Mitalas, '*Calculation of Heat Conduction Transfer Function for Multi-Layer Slabs*', ASHRAE Annual Meeting, Washington, D.C., August 22 - 25, 1971.
- [3] G.P. Mitalas and J.G. Arseneault, '*Fortran IV Program to Calculate Z-Transfer Function for the Calculation of Transient Heat Transfer Through Walls and Roofs*', Division of National Research Council of Canada, Ottawa.
- [4] J.E. Seem, '*Modeling of Heat in Buildings*', Ph.D. thesis, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison, 1987.
- [5] Collection des Guides de l'A.I.C.V.F. '*Calcul des déperditions et charges thermiques d'hiver*', PYC Editions, Paris.