

Le rafraîchissement par la géothermie: étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra

Noureddine Moummi¹, Hocine Benfatah², Nesrine Hatraf²,
Abdelhafid Moummi¹ et Sabri Youcef Ali³

¹ Laboratoire de Génie Mécanique, LGM
Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie

² Département de Génie Mécanique
Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie

³ SNC Frères Youcef Ali, Etudes Techniques, TCE- PromoBat Est,
Nouvelle Ville Ali Mendjeli UV05 Bât B N°05 El Khroub, Constantine, Algérie

(reçu le 20 Juin 2010 – accepté le 28 Septembre 2010)

Résumé - *A travers la modélisation et l'expérimentation, nous essayons dans ce projet pilote d'évaluer les performances d'un échangeur air/sol dit 'puits canadien'. Le modèle analytique comparé aux résultats expérimentaux traduit l'influence des propriétés du sol, de la nature du conduit et la localisation du site sur l'évolution de la température de l'air le long de l'échangeur enterré, puis celle obtenue à la sortie qui pourra être exploitée en été. L'écart avec la température ambiante détermine les possibilités offertes à la technique du rafraîchissement par la géothermie pour être utilisée dans les sites de climats variés en Algérie.*

Abstract - *In this study we are interested in the refreshment by the geothermal science, the technique which is not exploited until now in our country. This technique, called Canadian's well, uses air/ground heat exchanger system. In this study a theoretical and experimental analysis of the phenomenon through the modeling and the simulation of the performances of this system are carried out. The question is to know the air temperature evolution at the output of the exchanger. The temperature at the inlet of the heat exchanger tends throughout the exchanger to the ground temperature and its value depends on many parameters.*

Mots clés: Energies renouvelables - Rafraîchissement - Echangeur air/sol - géothermie.

1. INTRODUCTION

L'objectif principal des études que nous menons au Laboratoire de Génie Mécanique de l'Université de Biskra est de mettre en évidence l'impact que joue l'utilisation des techniques de production et de maîtrise des énergies (solaire et géothermique) sur l'économie nationale pour la mise en place d'un programme de recherche dans ce domaine, puis établir une démarche de maîtrise de l'énergie par la valorisation des énergies renouvelables en Algérie.

L'étude entreprise, concernant le rafraîchissement par la géothermie, constitue un projet pilote de démonstration d'une technique qui est jusqu'à présent non exploitée dans notre pays. Cette technique a pour support technique un échangeur air/sol enterré dit 'puits canadien'.

La température du sol influe principalement sur les performances d'un tel échangeur du fait que le sol, à une certaine profondeur devient le facteur essentiel pour les échanges thermiques entre l'air qui circule à l'intérieur de l'échangeur et le milieu qui l'entoure.

Dans ce travail, on a mené en premier lieu, une étude théorique pour l'établissement d'un modèle qui traduit le mieux l'évolution de la température de l'air dans l'échangeur en fonction de différents paramètres structurels conceptuels et d'utilisation. En deuxième étape, les résultats théoriques obtenus sont comparés avec ceux obtenus expérimentalement.

2. PRINCIPE DU RAFRAICHISSEMENT PAR LA GEOTHERMIE

Le phénomène du rafraîchissement par la géothermie s'appuie principalement sur le fait qu'en été la température du profond du sol étant basse par comparaison à celle de l'air ambiant.

La température du sol influe principalement sur les performances d'un tel échangeur [1, 5, 6], car le sol, à une certaine profondeur, devient le facteur principal aux échanges thermiques qui ont lieu entre l'air qui circule à l'intérieur de l'échangeur et le milieu qui l'entoure. Le dispositif utilisé (Fig. 1) pour le rafraîchissement, consiste à utiliser de l'air ambiant qui a préalablement cédé sa chaleur au sol à travers un échangeur tubulaire enterré à une certaine profondeur.

Cette profondeur, qui dépend des contextes géographiques et climatique servira de base pour le dimensionnement d'un tel système pour qu'il puisse être exploité.

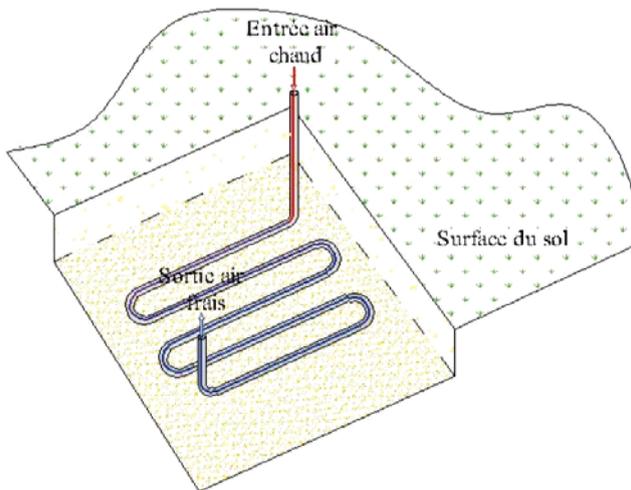


Fig. 1: Disposition de l'échangeur air/sol

L'échangeur est placé horizontalement avec une pente de 2% [2] pour permettre l'évacuation de l'eau produite suite à la condensation.

3. MODELISATION DE LA TEMPERATURE DE L'AIR

3.1 Hypothèses considérées

Dans cette étude, on considère que:

- L'échange thermique se fait en régime stationnaire.
- Le sol est considéré homogène.

- Les caractéristiques de l'air et du sol (masse volumique, conductivité thermique, chaleur massique...) sont considérées constantes.
- Dans une section du conduit perpendiculaire à l'écoulement, l'air est considéré homogène, l'échange convectif est régi par un coefficient convectif moyen.
- La température extérieure du tube est constante, ce qui revient à considérer que l'inertie thermique du sol est grande devant les quantités de chaleur échangées.
- La vitesse de l'air est considérée constante le long du conduit.

3.2 Etablissement du modèle analytique

En général le sol est considéré comme un massif semi infini [1, 3, 7]. L'échange thermique par conduction de sa surface vers l'intérieur est gouverné par l'équation générale de la conduction.

Dans cette étude, on considère constante la température du sol. Dans cette démarche, il s'agit de trouver à partir des équations du bilan énergétique, l'expression analytique qui traduit l'évolution de la température de l'air le long de l'échangeur en fonction des paramètres suivants:

- La température extérieure (ambiante).
- La température du sol à la profondeur considérée.
- Les caractéristiques thermo physiques du sol.
- La géométrie et la nature du conduit.
- Le débit d'air.

Le flux thermique (ϕ) échangé par unité de surface à travers la paroi du conduit est proportionnel à la différence de température entre la surface interne et externe du tube:

$$\phi = \frac{T_{\text{sol}} - T_{\text{air}}}{R} \quad (1)$$

Telle que, R est la résistance thermique d'une paroi cylindrique [3], donnée par l'expression

$$R = R_{\text{cd}} + R_{\text{cv}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot \lambda \cdot L} + \frac{1}{5.55 \times v^{0.8}} \quad (2)$$

La quantité de chaleur échangée par unité de temps s'écrit:

$$dQ = \phi \times S \times dt = \frac{T_{\text{sol}} - T_{\text{air}}}{R} \times S \times dt = \frac{T_{\text{sol}} - T_{\text{air}}}{R} \times 2\pi \times r \times L \times dt \quad (3)$$

Cet échange de chaleur entraîne une variation de température de l'air, donnée par:

$$dQ = \rho \times c \times V \times dT_{\text{air}} = \rho \times c \times \pi \times r^2 \times L \times dT_{\text{air}} \quad (4)$$

Le débit volume s'écrit:

$$q_v = s \times v = \frac{\pi \times d^2}{4} \times v \quad (5)$$

En égalisant les expressions (3) et (4) et en considérant la vitesse de l'écoulement qui est donnée par:

$$v = \frac{dL}{dt} \Rightarrow dt = \frac{dL}{v} \tag{6}$$

On aura:

$$\frac{dT_{air}}{-T_{air} + T_{sol}} = \frac{2 \times dL}{\rho \times c \times r \times v \times R} \tag{7}$$

L'expression (7) peut être intégrée de $T_{entrée}$ à T_{sortie} de l'air et de zéro jusqu'à la longueur L de l'échangeur:

$$\int_{T_{ae}}^{T_{as}} \frac{dT_{air}}{-T_{air} + T_{sol}} = \int_0^L \frac{2 \times dL}{\rho \times c \times r \times v \times R} \tag{8}$$

L'intégration de cette relation donne l'expression de la température de l'air dans l'échangeur:

$$T_a = T_{ae} \times \exp\left(\frac{-2L}{\rho \times c \times r \times v \times R}\right) + T_{sol} \times \left(1 - \exp\left(\frac{-2L}{\rho \times c \times r \times v \times R}\right)\right) \tag{9}$$

4. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le banc des essais expérimentaux est monté sur site à l'université de Biskra. Il s'agit d'un réseau de quatre traçons d'une longueur totale d'environ 60 m. Le diamètre interne du tube est de 110 mm. L'ensemble est placé à une profondeur de 3 m sous une pente de 2 %.

Pour le site de Biskra, cette profondeur (3 m a été déterminée préalablement grâce à une étude effectuée en fonction des données locales du site) [4]. Les tubes sont disposés et espacés les uns des autres d'une distance entre axes de 2 m.

Une fosse de réception en béton est construite à la sortie de l'échangeur. Un extracteur d'air de débit variable est placé à l'entrée de l'échangeur. Une série de sondes thermiques a été placées le long de l'échangeur de l'entrée jusqu'à la sortie. Les sondes sont reliées à une centrale d'acquisition. Les tests sont effectués le 28 juin 2009.

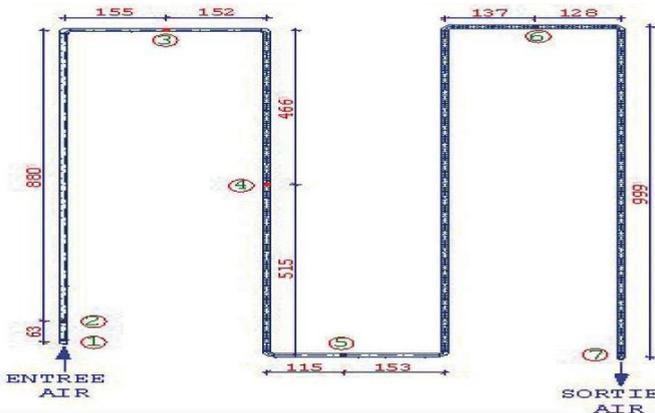


Fig. 2: Disposition des sondes le long de l'échangeur (1 à 7)

5. RESULTATS OBTENUS COMPARAISON ET INTERPRETATION

5.1 Résultats théoriques

Les courbes qui suivent montrent l'évolution selon le modèle analytique {eq (9)}, l'évolution de la température de l'air dans l'échangeur de l'entrée jusqu'à la sortie. On remarque que la température de l'air décroît de l'entrée de l'échangeur jusqu'à la sortie.

Un écart important (environ 12 °C) est enregistré. Cet écart correspond à une distance de l'entrée égale à 35 m. Au-delà de cette longueur, aucune chute remarquable n'est à noter.

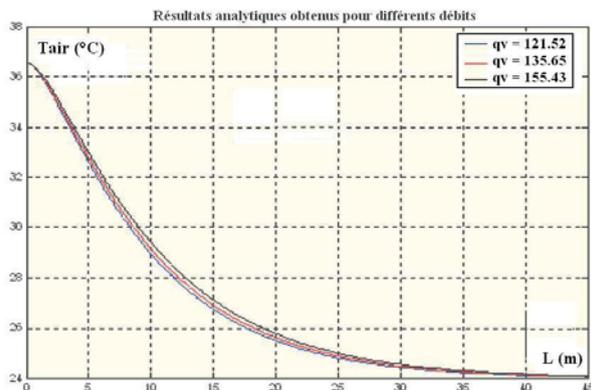


Fig. 3: Variation de la température de l'air le long de l'échangeur pour différents débits d'air

5.2 Résultats expérimentaux

Les résultats expérimentaux issus des mesures effectuées sont montrés sur les figures ci-dessous. On remarque une chute de la température de l'air de l'entrée jusqu'à la sortie. Il est à noter un écart important, entre la température de l'air dans l'échangeur et celle de l'air extérieur. Cet écart diminue progressivement jusqu'à ce que la température de l'air tende vers la température du sol.

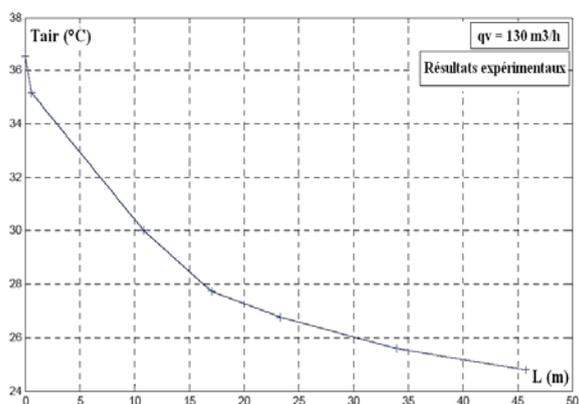


Fig. 4: Variation de la température de l'air en fonction de la longueur de l'échangeur

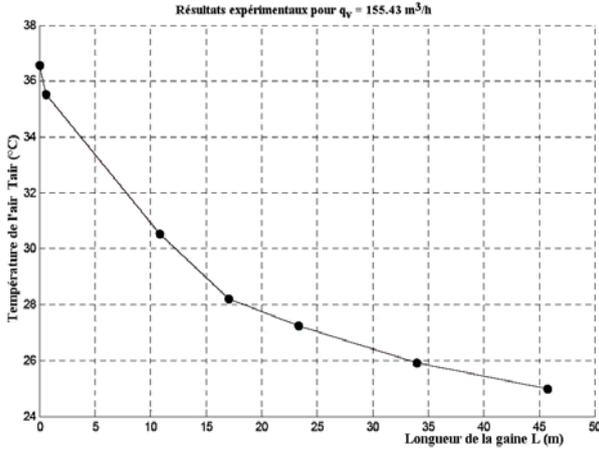


Fig. 5: Variation de la température de l'air en fonction de la longueur de l'échangeur

5.3 Comparaison

Dans les figures qui suivent, on présente une comparaison entre les résultats calculés et ceux obtenus expérimentalement pour différents débits.

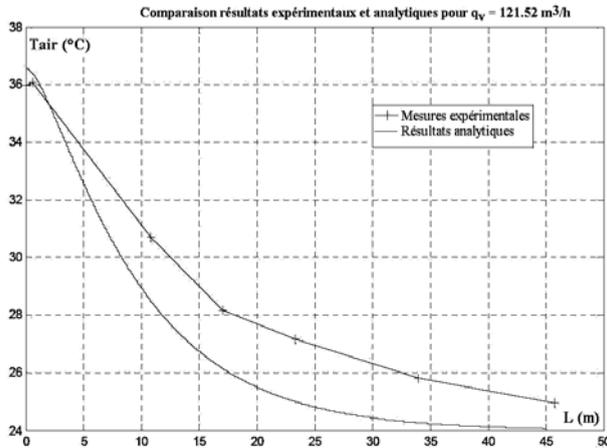


Fig. 6: Variation de la température de l'air en fonction de la longueur de l'échangeur

Les résultats obtenus montrent l'existence d'un écart significatif entre le modèle théorique et les résultats expérimentaux. Ceci est dû aux hypothèses considérées et principalement aux valeurs approximatives des propriétés du matériau du conduit et celles du sol.

En effet, nous n'avons pas de données exactes issues d'analyses spécifiques faites. Les données utilisées dans les calculs sont prises des tableaux en fonction de la nature du matériau du conduit et celle du sol du site. Cependant, les résultats obtenus associés à ceux relatifs à l'optimisation des performances des capteurs solaires plans à air [9] nous laissent penser qu'il est possible d'associer les deux systèmes pour en faire une

chaîne énergétique permettant le chauffage hivernal des habitations et leur rafraîchissement en été.

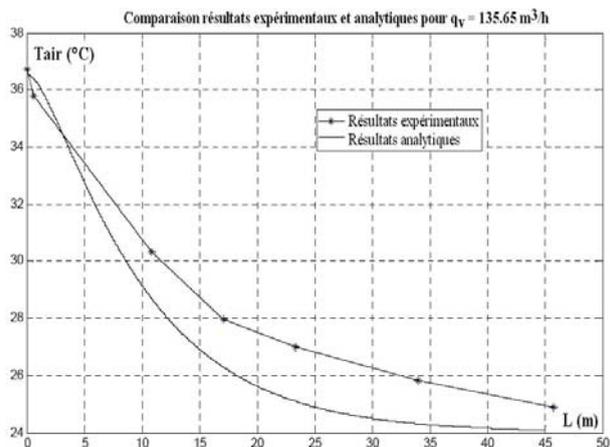


Fig. 7: Variation de la température de l'air en fonction de la longueur de l'échangeur

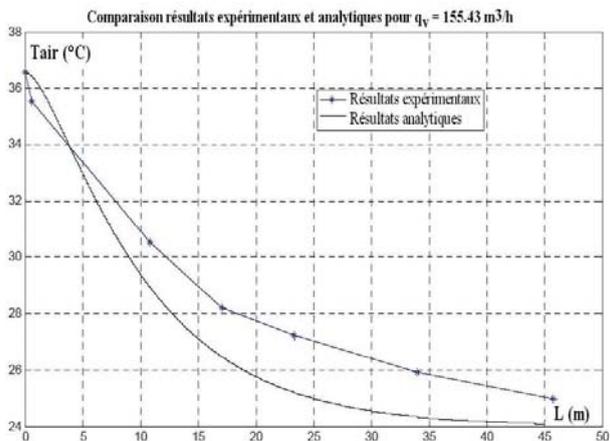


Fig. 8: Variation de la température de l'air en fonction de la longueur de l'échangeur

6. CONCLUSION

A l'issue de cette étude et à travers les résultats obtenus, un vecteur prometteur en génie climatique, comme source d'énergie renouvelable devra être indiscutablement exploité industriellement. Le modèle analytique exposé traduit l'évolution de la température de l'air en fonction des paramètres principaux. Ce modèle pourra servir en absence de données expérimentales pour dimensionner un échangeur air/sol.

Cependant les résultats expérimentaux par comparaison à ceux analytiques nous ont permis de conclure que le modèle présenté pourra être amélioré. En effet,

expérimentalement la température du fluide continue à chuter avec la longueur de l'échangeur et le régime thermique est loin d'être établi.

NOMENCLATURE

| | |
|---|--|
| c : Chaleur massique de l'air, J/kg.K | e : Epaisseur de la gaine du conduit, m |
| q_v : Débit volumique de l'air, m ³ /h | L : Longueur du conduit, m |
| Q : Quantité de chaleur échangée, J | r_1 : Rayon intérieur de la gaine [m] |
| S : Surface latérale de la gaine, m ² | r_2 : Rayon extérieur de la gaine, m |
| R_{cd} : Résistance thermique de la gaine du conduit à la convection, m ² .K/W | R_{cv} : Résistance thermique de la gaine du conduit à la conduction m ² .K/W |
| T_{ae} : Température de l'air à l'entrée du conduit, °C | L : Résistance thermique totale de la gaine du conduit, m ² .K/W |
| T_{sol} : Température du sol, °C | T : Température, °C |
| T_a : Température de l'air - conduit, °C | V : Volume d'air, m ³ |
| v : Vitesse de circulation de l'air à l'intérieur du conduit, m/s | ϕ : Flux thermique par unité de surface à travers la paroi du tube, W/m ² |
| λ : Conductivité thermique de la paroi de la gaine du conduit, W/m.K | ρ : Masse volumique de l'air, kg/m ³ |

REFERENCES

- [1] D. Bartolomeu, '*Performances d'un Echangeur Thermique de Type Air-Sol*', ITP Romillé, 2005.
- [2] T. Salomon, R. Mikolasek, B. Peuportier, S. Thiers, Y. Jautard et A. Trombe, '*Dimensionnement du Puits Climatique, Analyse, Modélisation, Validation d'un Modèle de Simulation Dynamique pour les Puits Canadiens ou Provençaux*', Rapport Ademe, Languedoc, Roussillon, 2003.
- [3] D. Amitrano, '*Eléments de Dimensionnement d'un Echangeur Air/Sol, dit Puits Canadien*', Université J. Fourier, Grenoble, 2006.
- [4] H. Benfattah, '*Etude du Rafraîchissement par la Géothermie, Application à l'Habitat*', Mémoire de Magister, Université de Biskra, 2009.
- [5] P. Hollumer, '*Utilisation des Echangeurs Air/Sol pour le Chauffage et le Rafraîchissement des Bâtiments*', Thèse de Doctorat, Université de Genève, 2002.
- [6] S. Thiers et B. Peuportier, '*Modélisation Thermique d'un Echangeur Air-Sol pour le Rafraîchissement des Bâtiments*', Centre Énergétique et Procédés, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, France, 2007.
- [7] A.M. Biabianchi, Y. Fautrelle et J. Etay, '*Transferts Thermiques*', Agence Universitaire de la Francophonie, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2004.
- [8] J.F. Sacadura, '*Initiation aux Transferts Thermiques*', Technologie & Documentation, Edition Lavoisier, Lyon, 1980.
- [9] N. Moumami, A. Moumami, K. Aoues, C. Mahboub et S. Youcef Ali, '*Systematic Forecasts of Solar Collector's Performance in Various Sites of Different Climates in Algeria*', International Journal of Sustainable Energy, Vol. 29, N°3, pp. 142 - 150, 2010.