



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Refroidissement passif d'une enceinte munie d'une cheminée solaire couplée d'un échangeur air-sol

Z. AKCHICHE, N. SETTOU, N. SAIFI, B. NEGROU

Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS)

Université Kasdi Merbah Ouargla

Zinebak09@gmail.com

Résumé— La conception bioclimatique des bâtiments, s'intègre dans une démarche de maîtrise de l'énergie et constitue de ce fait un enjeu primordial. Elle nécessite la connaissance des performances énergétiques et des systèmes associés et doit permettre d'éviter le recours à des dispositifs de chauffage ou de refroidissement à forts consommateurs d'énergie. Nous allons développer dans cette étude, un procédé économique de ventilation et de refroidissement naturel. Le modèle est considéré comme une enceinte de dimension (1m x 1m x1m) équipée d'une cheminée solaire inclinée de 45° par rapport à l'horizontal. Afin d'améliorer la qualité d'air ventilé, et d'atteindre le niveau de confort thermique à moindre consommation d'énergie. On a introduit un échangeur air- sol. La diminution de température à l'entrée de système, nous a permis de faire un dimensionnement et une conception d'un échangeur air/sol. Nous avons modélisé les différents écoulements produits par le code de calcul fluent. Les équations de conservation de masse, de continuité de mouvement et de l'énergie sont résolues par la méthode des volumes finis. La validation des résultats a été faite par des données extraites de la littérature.

Mots clés— énergie solaire, cheminée solaire, ventilation naturelle, simulation numérique, refroidissement passif, échangeur air-sol

I. INTRODUCTION

Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence pour le comportement morale et physique de l'individu. Il est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs.

Dans les zones semi-arides et arides tel que la région de Ouargla, les besoins de chauffage en hiver sont faibles, bien que réels, mais les besoins de refroidissement, en été, sont beaucoup plus importants. L'intégration de la composante

énergétique dans le processus de la conception architecturale est un objectif qui tend à l'amélioration du confort thermique et la minimisation de l'impact sur l'environnement par l'utilisation des procédés passifs. Les cheminées solaires sont un genre de technologies d'énergie renouvelable, qui augmentent la ventilation naturelle dans les bâtiments. Elle se compose habituellement d'une vitre, d'une cavité, et d'un mur massif qui absorbe l'énergie solaire. L'air dans la cheminée est réchauffé par l'énergie solaire, et coule vers le haut en raison de la force d'Archimède. Dans la présente étude, on s'intéresse à la ventilation naturelle par la cheminée solaire inclinée couplée d'un échangeur air sol Figure (1).

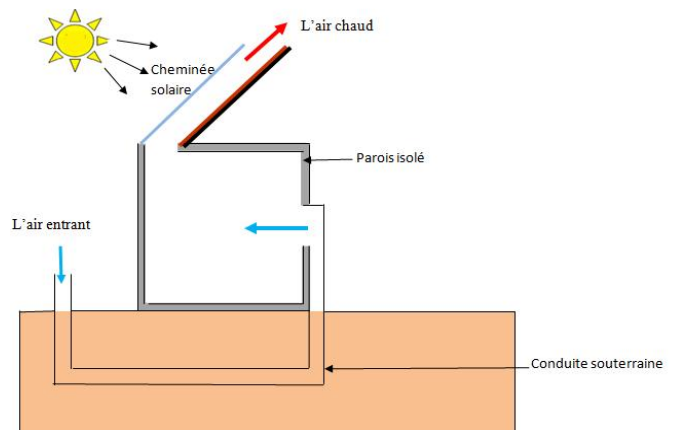


Fig. 1 Schéma du modèle étudié

II. GEOMETRIE DU MODELE PHYSIQUE

La configuration étudiée est représentée sur la figure 2. Il s'agit d'une pièce de forme cubique de dimension (1m x 1m x 1m). La partie supérieure de cette pièce est équipée d'une cheminée solaire inclinée d'un angle de 45°, et de dimension



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



1m x 0.35m. Tous les côtés de cette dernière sont adiabatiques, pour éliminer le transfert de chaleur avec le milieu ambiant. La chambre a une ouverture de 0.35m x 1m sur une des parois verticales.

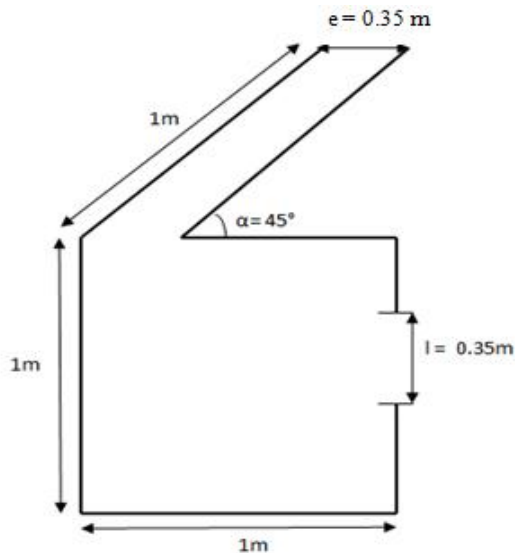


Fig. 2 Dimensionnement de la pièce

A. Les hypothèses

La description physique devient rapidement très compliquée. Il convient donc de faire un certain nombre d'hypothèses, permettant d'arriver à un temps de calcul correct. Le choix est porté sur un domaine bidimensionnel, et les hypothèses utilisées dans ce travail sont:

- L'écoulement est bidimensionnel.
- L'écoulement permanent.
- L'écoulement de l'air est turbulent.
- Le fluide est newtonien et incompressible.
- L'absorbeur et le verre sont toujours parallèles.
- La température de l'air à l'entrée de la d'écoulement est égale à la température ambiante.

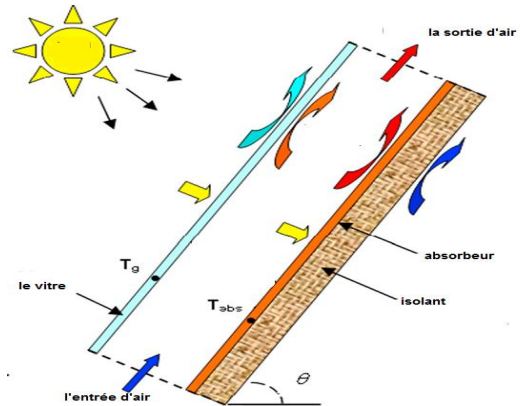


Fig. 3 Schéma de principe d'une cheminée solaire

B. Conditions aux limites :

Les conditions aux limites pour le modèle étudié sont : A l'entrée et à la sortie du système, La condition est fixée et elle est de type Dirichlet. Alors la condition à l'entrée et à la sortie de système est égale la pression atmosphérique. La condition à l'entrée est imposée au niveau de la fenêtre qui est supposée l'entrée du domaine de calcul. Sur les parois solides, les conditions sont de type Dirichlet. En ce qui concerne le champ dynamique, nous imposons la condition d'adhérence et qui est traduit par une vitesse nulle sur les parois. Pour le champ thermique, une température constante sur la vitre et l'absorbeur doit être fixée. Les autres parois de la pièce sont considérées adiabatiques.

C. Maillage utilisé:

Le maillage utilisé est caractérisé par: 118500 cellules, 237955 faces, et 119456 nœuds. C'est le maillage qui a donné le plus de satisfaction au niveau des résultats.

III. ECHANGEUR AIR-SOL

L'échangeur air-sol est un système géothermique consiste à rafraîchir l'air ventilé dans un bâtiment. Il suffit d'enterrer un ou plusieurs tuyaux sur un trajet suffisamment long et de faire circuler l'air.

Le principe de l'échangeur air-sol est de faire circuler l'air neuf dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré, le puits est alors dit puits canadien. En été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la

journée à une température inférieure à celle d'extérieure, le puits est alors dit puits provençal [2],[3].

IV. MODELE MATHEMATIQUE D'ECHANGEUR AIR-SOL

Nous ferons ici l'hypothèse que 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 échangée. Nous considérerons de plus que l'échange thermique se fait en régime stationnaire, c'est à dire que les températures restent constantes dans le sol et à la paroi du tube.

L'échange de chaleur à l'intérieur d'un tube où circule un fluide se fait par convection. Le flux thermique par unité de surface ϕ , à travers la paroi du tube est proportionnel à la différence de température entre la surface interne, T_{sol} et externe du tube, T_{air} , et à l'inverse de la résistance thermique de la paroi, R .

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

La résistance de la paroi est composée, d'une part, de la résistance à la conduction, d'autre part de la résistance à la convection.

$$R = R_{cond} + R_{conv} \quad (2)$$

R_{cond} , pour un tube cylindrique est donnée par l'expression suivante [4]:

$$R_{cond} = \frac{1}{2\pi h l} \ln \frac{r_{ex}}{r_{in}} \quad (3)$$

Avec r_{ex} est le rayon extérieur du cylindre, et r_{in} est le rayon interne. R_{conv} est donné par :

$$R_{conv} = \frac{1}{hS} \quad (4)$$

Remplaçant les équations 3 et 4 dans l'équation 2, on obtient

$$R = \frac{2l + Dh \ln \frac{r_{ex}}{r_{in}}}{2\pi h k} \quad (5)$$

Le flux thermique augmente avec la différence de température sol- air et avec le débit. Il peut également s'obtenir analytiquement en considérant le flux de chaleur transporté par l'air ventilé dans la gaine et la variation de température de l'air (lorsqu'il atteint la température du sol) [5].

$$\phi = -\rho_{air} \cdot C_{p(air)} \cdot q \cdot (T_{air} - T_{sol}) \quad (6)$$

$$S = \frac{\rho_{air} \cdot C_{p(air)} \cdot q \cdot (2l + Dh \ln \frac{r_{ex}}{r_{in}})}{2\pi h} \quad (7)$$

La longueur de tube est :

$$L = \frac{S}{\pi D} \quad (8)$$

On détermine le coefficient d'échange convectif h à partir des nombres adimensionnels qui caractérisent l'écoulement. Le Nombre de Nusselt Nu est le rapport du flux thermique ϕ , transmis par convection à un flux thermique transmis par conduction à travers le fluide, il est donné par la relation :

$$Nu = \frac{hD}{\lambda} \quad (9)$$

Le nombre de Nusselt pour un écoulement d'air dans une conduite de surface interne lisse, dépend de nombre de Reynolds est obtenu par [6]:

$$Nu = 3,66 \quad \text{si } Re < 2300$$

$$Nu = \frac{\frac{5}{8}(Re-1000)Pr}{1+12,7\sqrt{\left(\frac{1}{Re}\right)^2(Pr^2-1)}} \quad \text{si } 2300 \leq Re < 5.10^6 \quad (10)$$

avec

$$\xi = (1,82 \log Re - 1,64)^{-2} \quad \text{si } Re \geq 2300 \quad (11)$$

Le tableau ci-dessous présente les résultats théoriques et expérimentaux obtenus par Mathur et al [7], ainsi que ceux obtenus par le code de calcul Fluent, et ceci pour différentes intensités de rayonnement solaire.

TABLEAU 1

Vitesse à la sortie de la cheminée et les différentes températures correspondantes.

I (W/m ²)	T.ambiant e (K)	T. vitre (K)	T. d'absorbeur (K)	Vitesse de l'air à la sortie (m/s)		
				Numérique Par Mathur	Expérimen tal Par Mathur	Etude présent e
500	299.2	314.30	329.04	0.1517	0.174	0.1689
550	302.6	317.36	340.65	0.1563	0.184	0.1777
600	306.0	326.02	346.28	0.1613	0.1948	0.1847
650	310.3	330.18	354.66	0.1639	0.1979	0.1957
700	312.2	333.51	358.49	0.1724	0.2132	0.2128
750	313.0	337.29	361.38	0.1761	0.2201	0.2196

Le tableau 1 montre que la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée est proportionnelle à l'intensité du rayonnement solaire, et aussi aux températures ambiantes, de vitre et de l'absorbeur. On remarque aussi qu'il y a une bonne concordance entre nos résultats et les résultats expérimentaux présentés par Mathur et al [7] avec un écart variant de 0.19 à 5.47%. Les résultats calculés par le simulateur fluent sont plus proches de ceux mesurés expérimentalement par rapport aux résultats calculés théoriquement par Mathur où l'écart varie de 12.82 à 19.99 %.

III. EFFET DE L'ECHANGEUR AIR-SOL

Dans l'objectif de rafraichir la pièce du modèle étudié, nous avons la situation thermique correspondant à une température ambiante de 39°C et un rayonnement solaire de 700W/m². Afin d'atteindre la température du confort thermique choisie de 23°C, on intègre un échangeur air-sol à la pièce, placé au niveau de la fenêtre avec un débit d'air de 25.92 m³/h et une différence de température entre l'absorbeur et la vitre de



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



25°C. L'effet de l'échangeur sur le champ thermique et le champ de vitesse est présenté sur les figures (4, 5) présentées respectivement

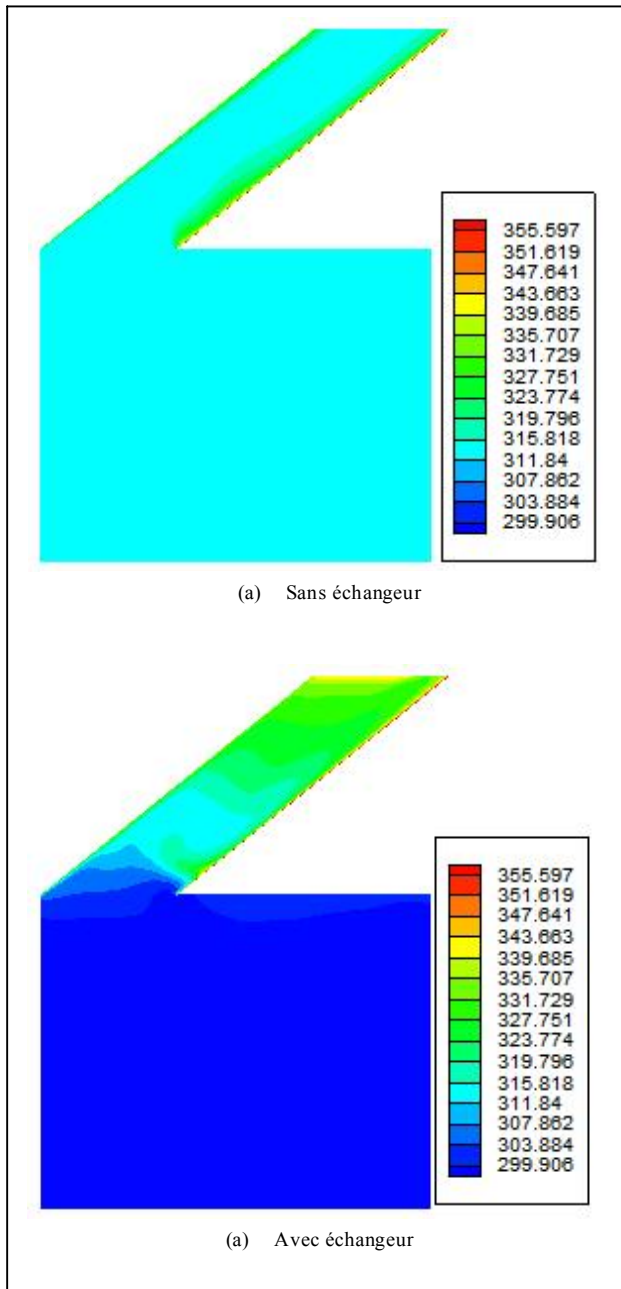


Fig. 4 Effet de l'échangeur air- sol sur le champ thermique.

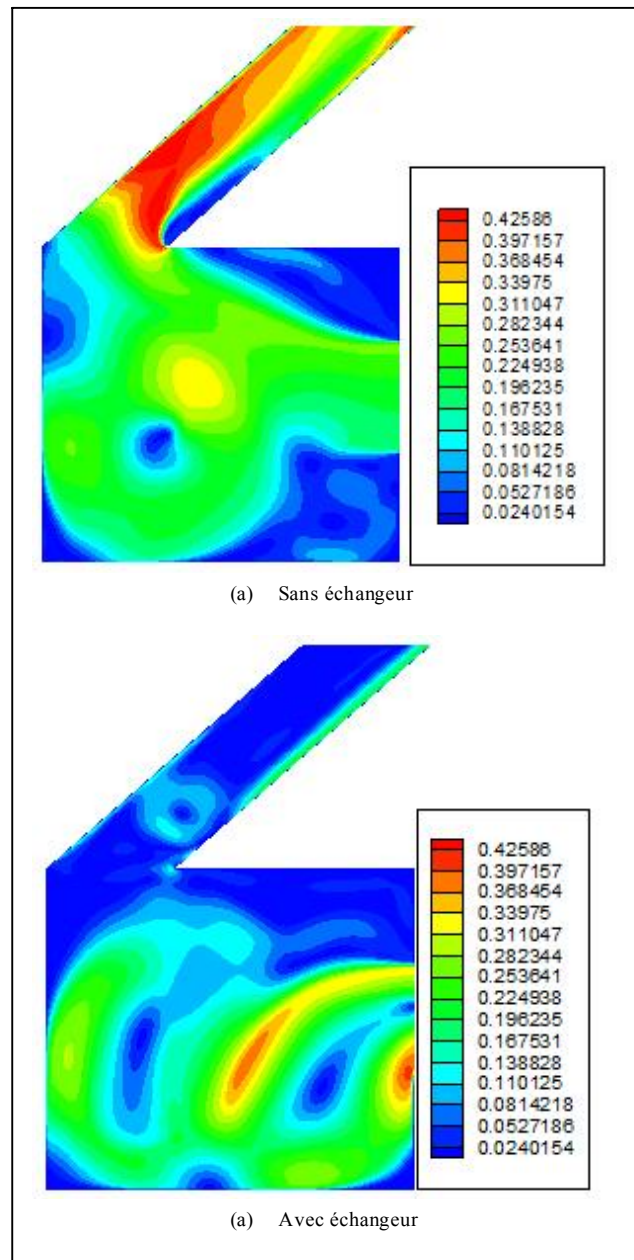


Fig. 5 Effet de l'échangeur air- sol sur le champ de vitesse.

D'après ces figures 4 et 5, on remarque que l'échangeur a un effet significatif sur le champ thermique où on remarque un abaissement de la température de l'air dans la pièce et augmentation des échanges thermique dans la cheminée. Sur le champ de vitesse au niveau de la pièce où il y a une forte recirculation de l'air et une diminution de vitesse au

niveau de la cheminée ce qui provoque une diminution de débit d'air sortant.

V. CONCEPTION DE L'ECHANGEUR AIR- SOL

La particularité de l'échangeur air-sol réside dans le fait que la différence de température entre l'air entrant et le sol est variable au cours de l'année et dépend de la profondeur d'enfouissement de la gaine. Ces variations annuelles de température diminuées de manière exponentielle avec la profondeur [5]. Pour un débit d'air de 25.92 m³/h, et une profondeur d'enfouissement estimé par une différence de température entre la température ambiante et celle du sol égale à 15°C, nous allons déterminer les différents paramètres de la conception, sachant que la température de confort est de 23°C. Nous adoptons pour les tubes, les données de base suivantes :

- Épaisseur du tube est de 5 mm.
- Conductivité $\lambda = 0.16 \text{ W/m.K}$. (pour une gaine en matériau plastique ex. PVC)

Les propriétés de l'air sont les suivantes $\mu = 1.81.10^{-5} \text{ kg/m.s}$, et $C_p = 1005 \text{ J/kg.K}$, $k = 0.0257 \text{ W/m.K}$, $C_p = 1.204 \text{ kg/m}^3$ et un nombre de Pr égale à 0.71

La surface d'échange et la longueur de conduit de l'échangeur sont calculées et données dans le tableau suivant :

Tableau II
Caractéristiques géométriques de l'échangeur air-sol

D(m)	A(m ²)	V(m/s)	Re	Nu	h	S(m ²)	L(m)
0.25	0.05	0.15	2452.66	7.87	0.81	11.04	14.07
0.20	0.03	0.23	3065.82	10.27	1.32	6.88	10.96
0.15	0.02	0.41	4087.76	13.81	2.37	3.96	8.41

On a vu que l'échange de chaleur avec le sol est fonction du débit volumique de l'air dans la gaine et de la différence de température, on remarque que la longueur de la conduite nécessaire pour atteindre le même flux thermique diminue. La vitesse de l'air augmente selon la section de la gaine. Par ailleurs il est conseillé de ne pas dépasser une vitesse de 0.2 m/s pour garder les exigences de confort thermique, pour cela, il est préférable d'utiliser un tube de 0.25 m.

VI. CONCLUSION

L'application d'une cheminée solaire de dimensions (1m x 0.35m) sur une pièce cubique de dimensions (1m x 1m x 1m) montre que la cheminée solaire a un effet important dans

l'amélioration de la ventilation et l'augmentation du taux de renouvellement de l'air. On peut conclure aussi que :

- La vitesse de l'air à la sortie de la cheminée solaire augmente selon l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire. Cette élévation au niveau de la cheminée induit une augmentation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la pièce. Ce qui traduit l'efficacité du système considéré.
- Il y a une bonne concordance entre les résultats obtenus et ceux extraits de la littérature.

Le système peut être amélioré par l'utilisation d'un échangeur air-sol pour le refroidissement naturel, afin de diminuer la température de l'air intérieure de quelques degrés.

L'échangeur air-sol, est un échangeur géothermique à très basse énergie utilisé pour rafraîchir l'air ventilé dans un bâtiment. Il consiste à alimenter un bâtiment en air frais en le faisant circuler auparavant dans une conduite enterrée, selon les conditions climatiques, le refroidit ou le préchauffe en utilisant l'inertie thermique du sol. Nous avons par ailleurs conduit une conception d'un échangeur air sol répondant aux exigences du confort thermique.

REFERENCES

- [1] Bassam Moujalled, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, Thèse de doctorat l'institut des sciences appliquées de Lyon, (2007)
- [2] Romuald Jobert, Le puits canadien ou puits provençal, Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de Lyon (CETE), (novembre 2005)
- [3] Le puits canadien, Les dossiers techniques de l'agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise, (avril 2005)
- [4] N. Moumimi , H. Benfatah , N. Hatraf , A. Moumimi et S.Youcef Ali, Le rafraîchissement par la géothermie: étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra, *Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3, pp. 399 – 406 (2010)*
- [5] David Amitrano, Eléments de dimensionnement d'un échangeur air/sol, dit « puits Canadien ». Université J. Fourier, Grenoble, (2006)
- [6] M. Maerefat*, A.P. Haghghi, Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney, *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 2316-2324 (2010)
- [7] Jyotirmay Mathur, Sanjay Mathur, Anupma, Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation, *Energy and Buildings*, vol. 38, pp.1156–1163, (2006)



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



[8] P. Hollmuller, Utilisation des échangeurs air-sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Mesures in situ, modélisation analytique, simulation numérique et analyse systémique. Thèse De Doctorat, université de Genève, (2002)

NOMENCLATURE

Symboles	Grandeurs	Unités
T :	Température	K
Q :	Débit volumique	m ³ /h
U :	Vitesse d'écoulement	m/s
Cp :	Capacité calorifique massique	J/kg.K
I :	Intensité de rayonnement solaire	W/m ²
a :	Diffusivité thermique	m ² /s
R :	Résistance thermique	m ² .K/W
h :	Coefficient d'échange convectif	W/m ² . K
S :	Surface d'échange thermique	m ²
D :	Diamètre de conduite	m
R :	Rayon de conduite	m
L :	Longueur de conduite	m
<i>Lettres Grecques</i>		
ρ :	Masse volumique	kg/m ³
μ :	viscosité dynamique	kg/s.m
ν :	Viscosité cinématique	m ² /s
φ :	Flux thermique	W
α :	Angle d'inclinaison	°
ε :	Dissipation d'énergie turbulente	
λ :	Conductivité thermique	W/m. K
<i>Nombres adimensionnels</i>		
Re :	Nombre de Reynolds	$\frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$
Pr :	Nombre de Prandtl	$\frac{\mu}{Cp \cdot \rho}$
Nu :	Nombre de Nusselt	$\frac{hD}{\lambda}$