

Utilisation d'un échangeur air-sol comme solution de conditionnement d'air dans un bâtiment avicole

LAKNIZI Azzeddine^{1,2}, EL MAAKOUL Anas³, BEN ABDELLAH Abdellatif^{1,2},
SAADEDDINE Said³, MEZIANE Mohamed²

¹ : Faculté des Sciences et Techniques-Tanger, Equipe de recherche en Ingénierie, Innovation et management des Systèmes Industriels, eng.azzeddinlaknizi@gmail.com.

² : Université internationale de Rabat, Cellule de valorisation et transfert, Parc Technopolis Sala Al Jadida 11100.

³ : Faculté des Sciences et Techniques-Mohammedia, Département de Physique, B.P. 146 Yasmina. 20658 Mohammedia, saidsadedine@gmail.com.

Résumé- L'industrie avicole est l'un des secteurs clés de l'économie nationale, dont le rôle pionnier dans la chaîne alimentaire n'est plus à démontrer. Parmi les problèmes que rencontre ce secteur, on peut citer un taux de mortalité élevé dû souvent aux problèmes de conditionnement. Les échangeurs air-sol permettent de réaliser des économies substantielles en énergie. Ils se caractérisent aussi par leur impact positif sur l'ambiance interne.

Dans ce travail, nous présentons une modélisation et une étude paramétrique d'un échangeur air-sol. Les résultats sont discutés suivant le paramètre d'influence. Finalement, les gains énergétiques sont estimés pour une étude de cas de l'installation d'un système dans la ville de Tanger.

Mots-clés : L'industrie de la volaille, vagues de la chaleur, échangeur air-sol, conditionnement d'air.

créées sont de l'ordre de 360 000 d'emplois et la production s'élève à 560 000 Tonnes de viande et 4,5 Milliards d'œuf.

Ce secteur fait face, chaque été, à des pertes économiques considérables. En effet, les hautes températures enregistrées pendant les mois de juin, juillet et août entraînent la mort de plusieurs millions de volailles et des baisses de performances en élevage (pertes de poids).

Pour révolutionner ce secteur, réduire les taux de mortalité, limiter la baisse des performances et réaliser des économies d'énergie, nous proposons une solution de conditionnement d'air écologique qui est basée sur l'utilisation des échangeurs air-sol.

INTRODUCTION

D'après l'Organisation Global Footprint Network le jour du dépassement cette année est le 20 août 2015 [1]. Cela signifie que l'humanité a consommé en huit mois ce que la terre peut produire en un an. Ce constat nous oblige à revoir nos méthodes de consommation et trouver des solutions durables et renouvelables. Pour cela, ce travail présente une solution de conditionnement d'air pour le secteur avicole marocain.

Le secteur avicole marocain joue un rôle primordial en matière d'investissement, de création d'emplois et de contribution à la sécurité alimentaire. D'après la Fédération Inter-professionnelle du secteur avicole (FISA-Maroc) [2] les investissements sont évalués à 9,4 Milliards de DH ; les emplois

ECHANGEUR AIR-SOL

L'échangeur air-sol est un système géothermique qui extrait l'énergie thermique contenue dans le sol. Il est constitué d'un ou plusieurs tubes enterrés qui permettent le transfert de la chaleur entre l'air et le sol pour refroidir l'air pendant l'été et le chauffer pendant l'hiver. Il est couplé avec un ventilateur pour assurer le débit d'air nécessaire.

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

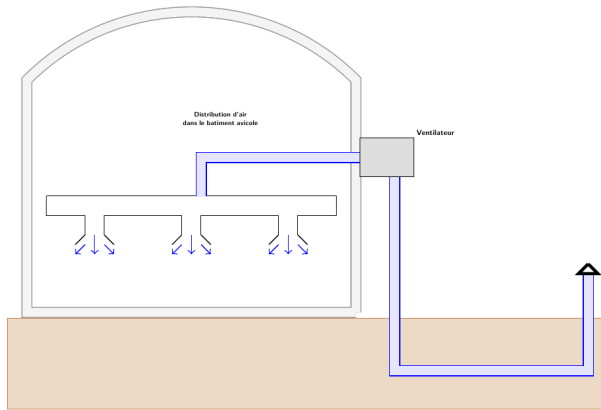


Fig. 1 : Echangeur air-sol couplé à un bâtiment avicole

ETUDE THEORIQUE

1. ECHANGE THERMIQUE

L'échange thermique dans le système échangeur air-sol se fait par convection à l'intérieur du tube et par conduction à travers les parois du tube. Pour quantifier le taux d'échange thermique, un bilan thermique sur un volume de contrôle doit être établi avec des hypothèses simplificatrices.

Les hypothèses sont :

- 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.
- Le sol est un milieu homogène avec des propriétés physiques constantes.

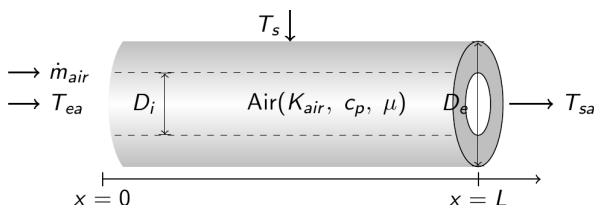


Fig. 2 : Tube enterré bilan thermique

Le bilan thermique sur un volume de contrôle donne :

$$d\dot{Q} = \dot{m} c_p dT = \frac{T_s - T}{R_{tot}}$$

(1)

Avec la résistance thermique totale :

$$R_{tot} = R_{conv} + R_{con} = \frac{1}{h \pi D_i dx} + \frac{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2 \pi K_l dx}$$

(2)

Le coefficient d'échange par convection forcée :

$$\bar{h} = \frac{\bar{N}u_D k_{air}}{D_i}$$

(3)

Le nombre de Nusselt est calculé à l'aide de la corrélation de Colburn[3]:

$$\bar{N}u_D = 0.0223 Re^{0.8} Pr^{0.33}$$

(4)

Où Re est le nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{4 \dot{m}}{\pi D_i \mu}$$

(5)

Et Pr le nombre de Prandtl :

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K}$$

(6)

En posant

$$R_{tot} = \frac{1}{h \pi D_i dx} + \frac{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2 \pi K_l dx} = \frac{R'_{tot}}{dx}$$

(7)

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

On a :

$$\frac{dT}{(T_s - T)} = \frac{dx}{\dot{m}C_p R'_{\text{tot}}} \quad (8)$$

L'intégration de l'équation (8) avec les conditions aux limites donne:

$$\begin{cases} T(x=0) = T_{ea} \\ T(x=L) = T_{sa} \end{cases} \quad (9)$$

$$\int_{T_{ea}}^{T_{sa}} \frac{dT}{(T - T_s)} = - \int_0^L \frac{dx}{\dot{m}C_p R'_{\text{tot}}} \quad (10)$$

On peut donc obtenir la température de sortie :

$$T_{sa} = T_s + (T_{ea} - T_s) e^{\left(- \frac{L}{\dot{m}C_p R'_{\text{tot}}} \right)} \quad (11)$$

La puissance échangée est alors :

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p (T_{sa} - T_{ea}) \quad (12)$$

2. LES PERTES DE CHARGES

Le calcul des pertes de charges permet de dimensionner le ventilateur qui va être couplé avec l'échangeur air-sol.

a. Les pertes de charge linéaires

Les pertes de charges linéaires ou minoritaires sont calculées par la formule suivante :

$$\Delta P_{lin} = f \frac{L}{D_i} \frac{\rho V^2}{2} \quad (13)$$

b. Les pertes de charge singulières

Les pertes de charges singulières ou locales sont rencontrées dans les coudes, les dérivationes et les transitions des

conduites, ces pertes sont calculées par la formule suivante :

$$\Delta P_{sin} = \xi \rho \frac{V^2}{2} \quad (14)$$

ETUDE PARAMETRIQUE

D'après les équations de bilan thermique et de pertes de charges on constate que les paramètres d'influence sont : le débit d'air, les propriétés thermiques du sol, la conductivité thermique du tube, la profondeur d'enfouissement des tubes et la géométrie de l'échangeur.

1. L'influence de débit massique

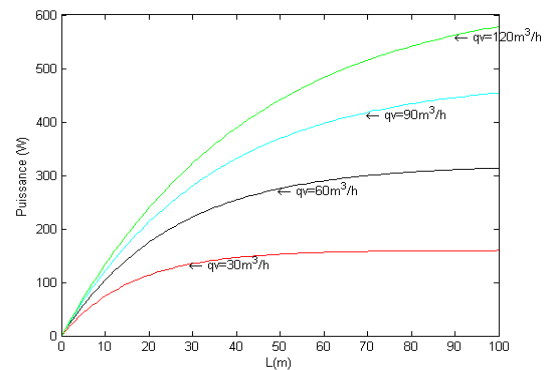


Fig.3 : Influence de débit sur la puissance échangée

On constate que la puissance échangée augmente avec le débit.

2. L'influence des propriétés thermiques du sol

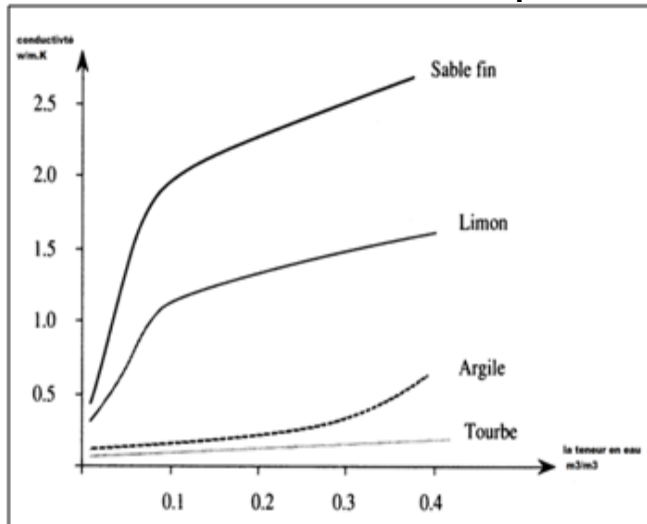


Fig. 4 : Influence des propriétés thermiques du sol sur la puissance échangée [4]

3. L'influence de la conductivité thermique du tube

Les matériaux les plus utilisés, tels que le PP, PE et PVC [5], sont de nature non métallique pour éviter la corrosion.

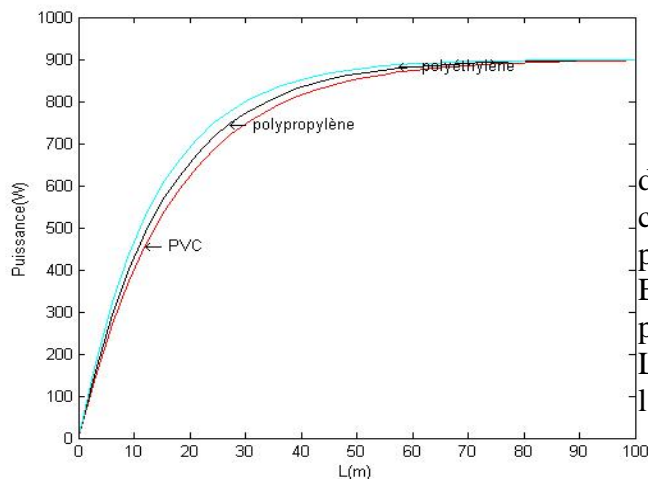


Fig. 5 : Influence de la conductivité thermique du tube sur la puissance échangée

D'après la figure la conductivité thermique du tube a une faible influence pour des longueurs inférieures à 40 m et au-delà de cette valeur l'influence est nulle.

4. L'influence de la profondeur d'enfouissement

La température du sol est calculée selon l'équation suivante [6] :

$$T(z, t) = T_{moy} - T_{amp} \times \exp \left\{ -z \times \left(\frac{\pi}{365 \times \alpha_{sol}} \right)^{1/2} \right\} \times \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \times \left(t - t_{shift} - \frac{z}{2} \times \left(\frac{365}{\pi \times \alpha_{sol}} \right)^{1/2} \right) \right\} \quad (15)$$

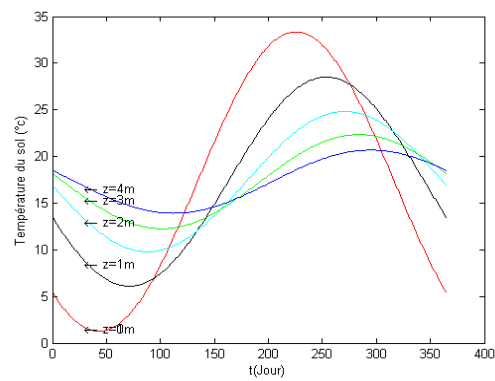


Fig. 6 : Influence de la profondeur d'enfouissement sur la température du sol.

La figure montre que la température du sol augmente pendant la période de chauffage avec la profondeur, et diminue pendant la période de rafraîchissement. Elle tend vers une valeur stable pour des profondeurs supérieures à 2 m. L'augmentation de la température implique l'augmentation de la puissance échangée.

5. L'influence de la géométrie de l'échangeur

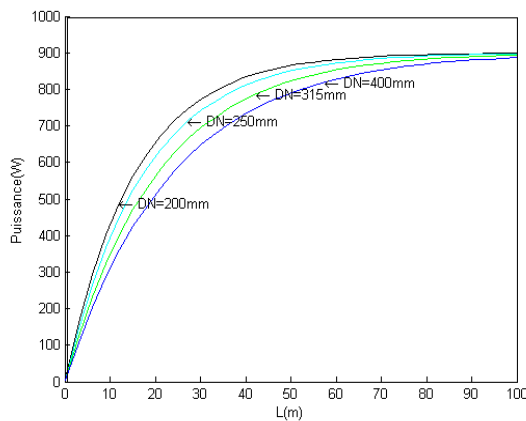


Fig. 7 : Influence du diamètre de tube sur la puissance échangée

D'après la figure la puissance échangée augmente pour des petits diamètres et cela est due au fait que pour des petits diamètres l'écoulement est turbulent ; donc le coefficient d'échange par convection est important.

ETUDE DE CAS TANGER

1. Les conditions climatiques de Tanger

D'après les données météorologiques de la ville de Tanger fournies par ASHRAE-METEO [7] la température maximale moyenne est de 35°C et la température minimale moyenne est 19.3°C. Le mois le plus chaud est août et le mois le plus froid est janvier. La température annuelle moyenne est de 17.9°C. La même source indique qu'une température minimale de 0.3 °C et une température maximum de 38.9°C avaient été enregistrées durant les 5 années précédentes.

2. Les gains énergétiques

Les dimensions retenues de l'échangeur sont $D_e=0.214$ m, $D_i=0.2$ m et $L= 30$ m le matériau consécutif est le polypropylène de conductivité thermique 0.028 W/m.K. la profondeur d'enfouissement est de 2 m.

Tableau IV

Les gains énergétiques

Mois	Température d'entrée	Température de sortie	La puissance échangée(kw)
mai	29.1	22.54	3.7
Juin	33.2	24.2085	5
juillet	35.2	25.0801	5.7
Août	35.8	25.3291	5.9
septembre	33.1	24.2085	5
Octobre	28.9	22.4654	3.64

CONCLUSION

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'utilisation d'un échangeur air-sol dans le secteur avicole. Pour atteindre cet objectif, dans un premier temps on a établi un modèle mathématique en se basant sur un bilan thermique. Ensuite, une étude paramétrique a été effectuée dans laquelle on s'est intéressé aux effets du débit, de la profondeur d'enfouissement, de la conductivité du tube, de la conductivité du sol et de la géométrie sur la puissance thermique échangée.

Une étude de cas pour la ville de Tanger à été effectuée pour calculer les gains énergétiques. Les résultats obtenus montrent que le système échangeur air sol permet de refroidir l'air extérieur par 7°C à 10°C.

Remerciements

Le présent travail a été conduit avec le soutien financier du IRESEN dans le cadre du projet « InnoTherm III : Solar thermal applications and solar technologies support ».

Références

<http://www.footprintnetwork.org>

<http://www.fisamaroc.org.ma/>

F.W. Dittus, L.M.K. Boelter, "Heat transfer in automobile radiators of the tubular type", Univ. California, Berkeley Publ. Eng., vol. 2, 1930, pp. 443-461.

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

Peretti, C., et al., The design and environmental evaluation of earth-to-air heat exchangers (EAHE). A literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. 28(0): p. 107-116.

<http://ashrae-meteo.info/>

Nomenclature

T Température, °C

m débit massique, kg/s

Cp chaleur massique kJ/kg.K

R résistante thermique

h coefficient d'échange par convection

D diamètre, m

K conductivité, W/m.K

Re nombre de Reynolds

Nu nombre de Nusselt

Pr nombre de Prandtl

Lettres grecques

μ viscosité dynamique

ρ la masse volumique

α diffusivité du sol

ξ coefficient de pertes de charges

Indices / Exposants

s sol

ea entrée air

es sortie air

tot totale

conv convection

cond conduction

t tube

sin singulière

lin linéaire