

Effet de l'humidité sur les échanges radiatifs dans un capteur cylindro-parabolique solaire

Nabil Basbous, Mohamed Taqi & Naoual Belouaggadia
Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II Mohammedia – Casablanca
Avenue Cdt Driss El Harti, BP 7955, Ben M'Sik, 20800 Casablanca
basbous.nabil@yahoo.fr
moha_taqi@yahoo.fr
n.belouaggadia@gmail.com

Résumé : Les capteurs cylindro-paraboliques solaires (CCP) sont la meilleure option de nos jours pour les applications industrielles fonctionnant dans une gamme de température allant de 150 à 400 °C [1]. De nombreuses études sont effectuées pour améliorer les performances des CCP, en particulier la minimisation des pertes thermiques au niveau du récepteur et son enveloppe. Les CCP avec du vide ou à des pressions faibles dans l'espace annulaire récepteur-enveloppe offrent certes le meilleur rendement thermique. Cependant, le coût de fabrication et de maintenance est élevé. Ainsi, la plupart des CCP fonctionnent dans les conditions climatiques où ils sont installés. Dans ce travail, on s'intéresse à l'étude de l'effet de l'humidité sur les performances d'un CCP. Les premiers résultats obtenus ont montré la validité du modèle physique proposé et que les échanges convectifs ne sont pas affectés par la présence de la vapeur d'eau. La simulation numérique de l'effet de l'humidité sur les échanges radiatifs fera l'objet du présent article.

Mots clés :

Capteur solaire cylindro-parabolique, humidité, échanges radiatifs, modélisation, simulation.

1. Introduction

Les premières centrales solaires à capteur cylindro-paraboliques ont été construites dans les années 80 au désert de Mojave en Californie aux états unis d'une capacité de 354MW [2]. La pression due au réchauffement climatique et à l'augmentation du prix du pétrole ont motivé la construction de plusieurs centrales solaires partout dans le monde : Espagne, Maroc, Inde, Iran, Mexique. Ainsi, des recherches ne cessent de se développer pour améliorer les performances des CCP.

Dans cet article, on s'intéresse à l'étude des pertes thermiques dans un CCP placé dans une ambiance humide. Les échanges convectifs semblent ne pas être affectés par l'humidité. Les échanges radiatifs sont modélisés sans tenir compte de la participation de l'air [3]. On cherche à étudier l'effet de l'air humide sur les pertes par rayonnement.

2. Analyse thermique

Les échanges thermiques ayant lieu dans un CCP sont schématisés sur la figure ci-dessous :

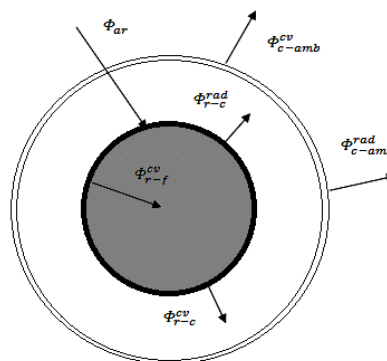


Figure 1 : Bilans énergétiques d'un CCP

Les modèles convectifs sont décrits dans [3]. Les échanges radiatifs sont gouvernés par les équations de bilan suivantes :

$$\begin{cases} A_r J_r = A_r \varepsilon_r \sigma T_r^4 + \rho_r (\tau_g^{cr} F_{cr} A_c J_c + A_r \varepsilon_{gr} \sigma T_g^4) \\ A_c J_c = A_c \varepsilon_c \sigma T_c^4 + \rho_c (\tau_g^{rc} F_{rc} A_r J_r + \tau_g^{cc} F_{cc} A_c J_c + A_c \varepsilon_{gc} \sigma T_g^4) \end{cases} \quad (1)$$

On peut écrire alors que :

$$\Phi_{r-c}^{rad} = A_r J_r - \tau_g^{cr} F_{cr} A_c J_c - A_r \varepsilon_{gr} \sigma T_g^4 \quad (2)$$

L'air humide est principalement un mélange des gaz O₂, N₂, H₂, CO₂ et H₂O à proportions différentes. Cependant, aux hautes températures, la participation des gaz à molécules symétriques tels que O₂ dans les échanges radiatifs est très négligeable à cause de l'absence d'un spectre d'absorption à ces températures. Il en résulte que seuls les gaz CO₂ et H₂O affectent le rayonnement thermique [4]. Nous nous sommes limités dans notre étude à l'effet de la vapeur d'eau parce que l'air humide peut en contenir des quantités importantes surtout aux hautes températures, alors que la fraction du dioxyde de carbone est très négligeable. Les propriétés radiatives de la vapeur d'eau dépendent des paramètres suivants [4] :

- La longueur équivalente du rayonnement : elle a été formulée pour la première fois par Hottel afin d'évaluer l'effet de la géométrie sur les échanges radiatifs entre un gaz iso-thermique et ces frontières. on peut l'exprimer comme suit [5] :

$$L_e = \frac{4V}{A} \quad (3)$$

- La température de rayonnement du gaz qui est évaluée par :

$$T_g^2 = \frac{d_{ci}^2 T_c^2 + d_{re}^2 T_r^2}{d_{ci}^2 + d_{re}^2} \quad (4)$$

- Les pressions partielles de la vapeur d'eau et totale du mélange. On peut aussi exprimer la pression partielle de la vapeur en fonction de l'humidité absolue par l'expression suivante :

$$p = x_v P \quad (5)$$

- La température de la source émettrice influe sur le coefficient d'absorption du gaz.

L'émissivité de l'air humide est exprimée par la relation suivante [4] :

$$\log(\varepsilon_g) = \frac{a + \sum_{i=1}^3 [b_i T_g^i + d_i (\log p L_e)^i]}{1 + \sum_{i=4}^6 [b_i T_g^{i-3} + d_i (\log p L_e)^{i-3}]} \quad (6)$$

Le coefficient d'absorption de l'air humide est donné par l'expression suivante [4]:

$$\alpha_g = \left(\frac{T_g}{T_s}\right)^{0,45} \varepsilon_g \left(T_s, p L_e \left(\frac{T_s}{T_g} \right) \right) \quad (7)$$

Le coefficient de transmission de l'air humide est exprimé comme suit :

$$\tau_g \approx 1 - \alpha_g \quad (8)$$

4. Résultats et discussion

Les caractéristiques du capteur testé sont indiquées sur le tableau suivant :

Tableau 1 : Caractéristiques du capteur LS-2 testé.

Caractéristiques	Valeurs
Longueur du capteur	7,8 m
Largeur du capteur	5 m
Coefficient de concentration	22,42
La distance focale	1,84 m
Le diamètre intérieur du récepteur	0,066 m
Le diamètre extérieur du récepteur	0,07 m
Le diamètre intérieur de la couverture	0,109 m
Le diamètre extérieur de la couverture	0,115 m
Coefficient d'absorption du récepteur	0,906
Coefficient d'émission du récepteur	0,14

Coefficient de transmission de la couverture	0,95
Coefficient de réflexion du miroir	0,93
Coefficient d'interception du miroir	0,92
Angle d'inclinaison	0

Les résultats des simulations numériques sont représentés sur les figures 2-6. Nous constatons que l'émissivité de l'air augmente avec la teneur en vapeur d'eau et diminue avec la température (Fig.2). Ce pendant le coefficient de transmission de l'air humide diminue avec la teneur en eau et augmente avec la température du gaz et de la source émettrice (Fig.3).

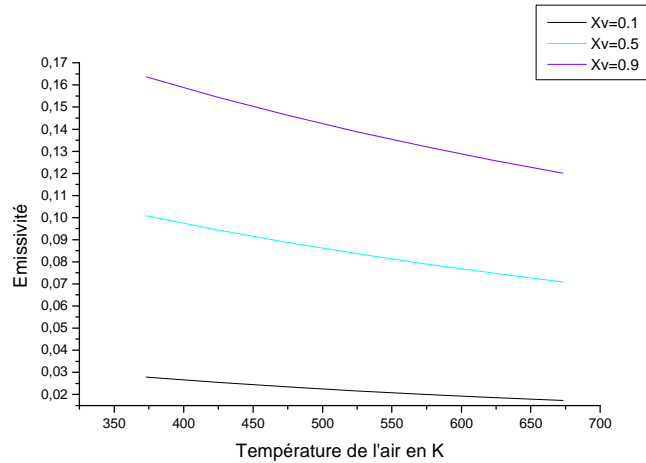


Figure 2 : Emissivité de l'air humide en fonction de la température et de la fraction molaire de la vapeur d'eau

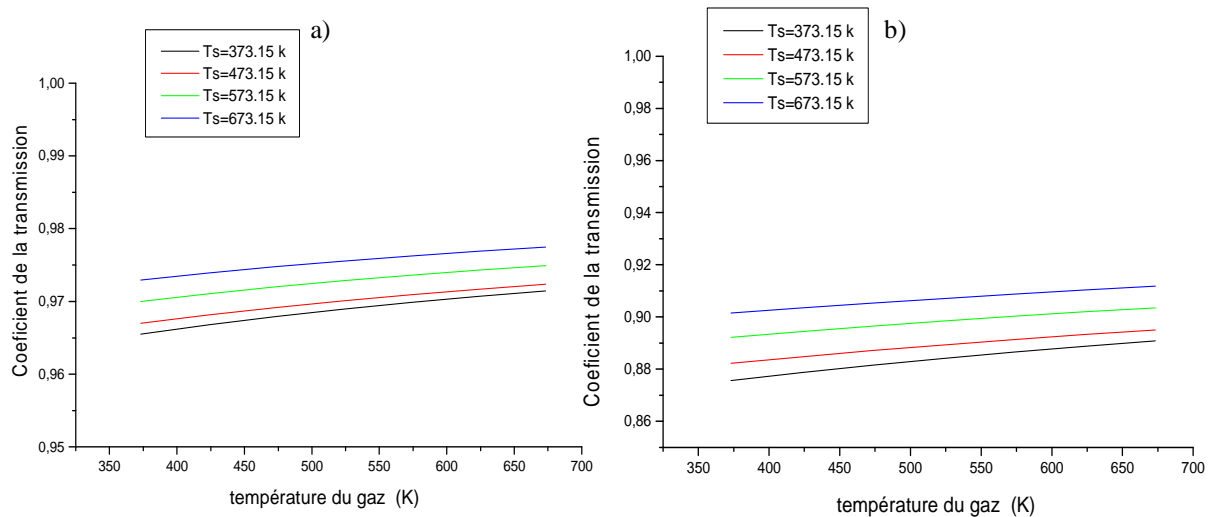


Figure 3 : Coefficient de transmission de l'air humide en fonction de la fraction molaire de l'eau et de la température du gaz et de la température de la source émettrice : a) $X_v=0,1$, b) $X_v=0,5$

Les figures 4 et 5 montrent que l'humidité augmente fortement les pertes thermiques d'un CCP. Ceci est dû à la participation de la vapeur d'eau aux échanges radiatifs en conformité avec l'évolution des propriétés optiques de l'air humide :

- Aux basses températures, les pertes thermiques sont beaucoup plus importantes dans un milieu humide que dans un milieu sec. Le coefficient de transmission de l'air est petit et son émissivité est grande ce qui explique ce résultat.
- Quant aux températures élevées, les pertes thermiques dans un milieu humide tendent à s'approcher à celles dans un milieu sec. Le coefficient de transmission augmente et l'émissivité diminue à ces températures.

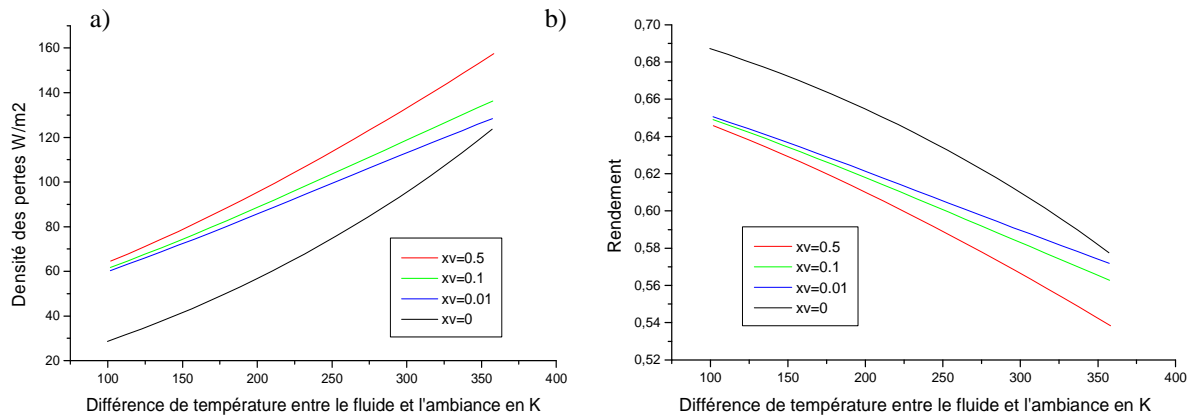


Figure 4 : Effet de l'humidité sur les performances du CCP testé en fonction de la fraction molaire de la vapeur d'eau : a) pertes thermiques, b) le rendement

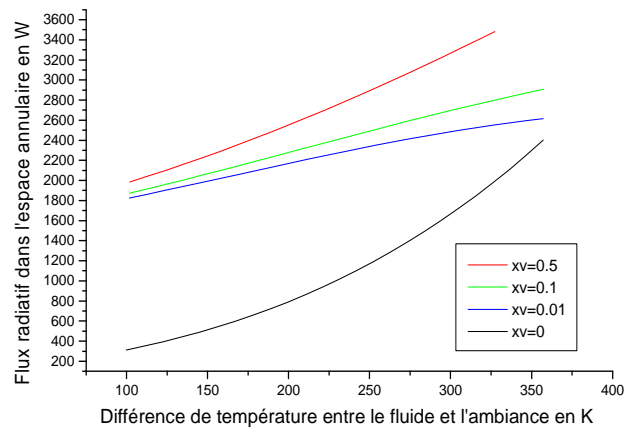


Figure 5 : Flux de pertes par rayonnement thermique dans l'espace annulaire d'un CCP

Conclusion

L'étude de l'effet de l'humidité montre que celle-ci affecte les performances d'un CCP par l'augmentation des pertes thermiques. Ceci s'explique par la participation de l'air humide aux transferts radiatifs. Les résultats numériques ont aussi montré qu'aux basses températures les pertes thermiques sont plus importantes qu'aux températures élevées.

Nomenclature

Symboles

A	aire, m^2
a	constante dans l'équation 6
b_i	coefficients polynômiaux de la variable T_g dans l'équation 6
d_i	coefficients polynômiaux de la variable pL_e dans l'équation 6
F	facteur de forme
J	radiosité, W/m^2
L_e	longueur équivalente, m^2
P	pression totale
p	pression partielle de la vapeur d'eau
T	température, K
V	volume, m^3
Xv	fraction molaire de la vapeur d'eau dans l'air

Symboles grecs

α	coefficient d'absorption du gaz
ε	émissivité
ρ	coefficient de réflexion
σ	constante de Boltzman
τ	coefficient de transmission du gaz
Φ	flux thermique, W

Exposant, Indices

amb	ambiance
c	couverture
cv	convection
e	extérieur
f	fluide
g	gaz
i	intérieur
r	récepteur
rad	rayonnement
s	source émettrice

Références

- [1] Eduardo Zarza Moya, Parabolic trough technology, session I, Summer school CIEMT-CNRST, Renewable energies 2007, Rabat & Almeria.
- [2] Milton Matos Rolim, Fraidenraich N, Tiba C, Analytic modeling of a solar power plant with parabolic linear collectors, *Solar energy* 83, 126-133, 2009.
- [3] Basbous N, Taqi M, Belouggadia N, Numerical simulation of a parabolic trough collector in a humid ambiance, IRSEC'13, 2013.
- [4] Anil K. Mehrotra, Kunal Karan, Leo A. Behie, Estimate gas emissivities for equipment and process design, *Energy transfer/conversion*, Pages 70-77, 1995
- [5] Walter W. Yuen, Definition and evaluation of mean beam lengths for applications in multidimensional radiative heat transfer: A mathematically self-consistent approach, *Journal of heat transfer*, Volume 130, 2008.