ÉTUDE THÉORIQUE DU CHAUFFAGE DES GAZ PAR RAYONNEMENT SOLAIRE À HAUTES TEMPÉRATURES

par

GABRIEL OLALDE, A. SUWONO, J. L. PEUBE, M. DAGUENET

Laboratoire C.N.R.S. d'Energétique solaire, Odelló, France
Laboratoire de Thermodynamique et Energétique du Centre Universitaire de Perpinyà, France

RÉSUMÉ

On étudie le chauffage des gaz par rayonnement à hautes temperatures à travers d'un matériau poreux. On calcule analytiquement et numériquement la distribution des températures dans le fluide et le matériau solide.

RESUM

Hom estudia' l'escalfament dels gasos per irradiació a altes, temperatures a través d'un material porós. Hom calcula analíticament i numèricament la distribució de les temperatures en el fluid i en el material sòlid.

SUMMARY

The heating of gases by means of high temperature irradiation through a porous material, is studied.

Distribution of temperatures in the solid material and in the fluid are numerically and analytical computed.

1. INTRODUCTION

Nous étudions le problème du chauffage d'un gaz non absorbant dans un flux radiatif concentré fourni par le foyer d'un four solaire.

Une telle étude trouve son intérêt aussi bien en chimie (par exemple pour la production d'hydrogène) qu'en thermodynamique (par exemple pour les centrales hélioélectriques).

Les gaz sont, en général, peu absorbants, de sorte que nous les faisons traverser un milieu poreux qui leur offrira une grande surface de contact. En pratique, nous plaçons une des faces du milieu poreux devant le foyer et nous établissons un courant de gaz à travers cette surface. Le gaz se réchauffe à l'intérieur du milieu poreux.

Nous supposons que le gaz est transparent au rayonnement et traverse un lit granulaire homogène contenu dans un récipient de section suffisante pour que les effets des parois latérales puissent être négligeables. Nous supposons aussi le régime permanent, les propriétés physiques constantes, le flux de gaz dirigé dans le même sens que le flux de chaleur (figure 1).

2. MISE EN ÉQUATIONS ET RESOLUTION DU PROBLÈME

Il faut résoudre le système différentiel suivant:

— pour le fluide

$$\frac{d\theta}{dx}=\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\,\frac{\alpha}{\xi\,Cp\,\rho\,u}\,(T-\theta)+\frac{\lambda_F}{Cp\,\rho\,u}\,\frac{d^2\theta}{dx^2}, \qquad (1)$$

où

θ = température du fluide
T = température du solide
ε = parasite

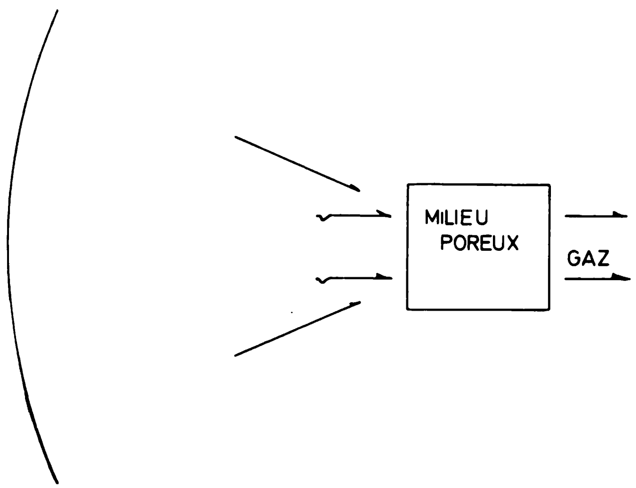


FIGURE 1

ξ=longueur caractéristique
S=aire de la section droite du lit
Cp=chaleur spécifique du fluide à pression constante
ρ=densité
μ=vitesse moyenne d'écoulement
α=coefficient moyen de convection du fluide aux corpuscules solides
χ=cote comptée à partir de la section d'entrée
λ_F=conductibilité thermique du fluide

— pour le solide:

$$\lambda_s^* \frac{d^2T}{dX^2} = \frac{\alpha}{\xi} (T - \theta) , \qquad (2)$$

où

λ_s^*=représente la conductivité apparente du milieu avec les conditions aux limites:

$$X=0 \qquad \theta=\theta_o \qquad \frac{dT}{dX}=\frac{q_o}{\lambda_S{}^*} \quad \text{où} \quad q_o=\text{énergie nette}$$

$$\chi \to \infty \qquad \theta_\infty = T_{\infty}.$$

Il est intéressant de rendre adimensionnel le système précédent [équations (1) et (2)].

Posons:

$$T^+=\frac{T-T_\infty}{T_\infty};\ \theta^+=\frac{\theta-\theta_\infty}{\theta_\infty};\ X^+=\frac{X}{D};$$

$$P=\frac{Cp\,\mu}{\lambda_F}; \qquad Nu=\frac{\alpha\,D}{\lambda_F}; \qquad Re=\frac{D\,\mu\rho}{\mu}.$$

Il vient:

$$\frac{d^4T^+}{dX^{+4}} - Pr\,Re\,\frac{d^3T^+}{dX^{+3}} - 6\,N\mu\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}+\frac{\lambda_F}{\lambda_S{}^*}\right)\frac{d^2T^+}{dX^{+2}} +$$

$$+6\frac{\lambda_F}{\lambda_S{}^*}\,Re\;Pr\;Nu\,\frac{dT^+}{dX^+}=0; \tag{3}$$

$$\theta^+=T^+-\frac{\lambda_S{}^*}{6\,\lambda_F\,Nu}\;\frac{d^2T^+}{dX^{+2}}. \tag{4}$$

Cherchons une solution générale de T^+ de la forme $T^+=$ $=e^{pX+}$. En utilisant la méthode de calcul numérique de BAIRSTOW il vient:

$$T^+=\frac{q_o{}^+}{\rho}\exp\left(pX^+\right), \tag{5}$$

$$\theta^+=\frac{q_o{}^+}{p}\left(1-\frac{\lambda_S{}^*\,p^2}{6\,F\,Nu}\right)\exp\left(pX^+\right), \tag{6}$$

où p est la racine négative (qui seule a un sens physique) du système d'équations (3)-(4).

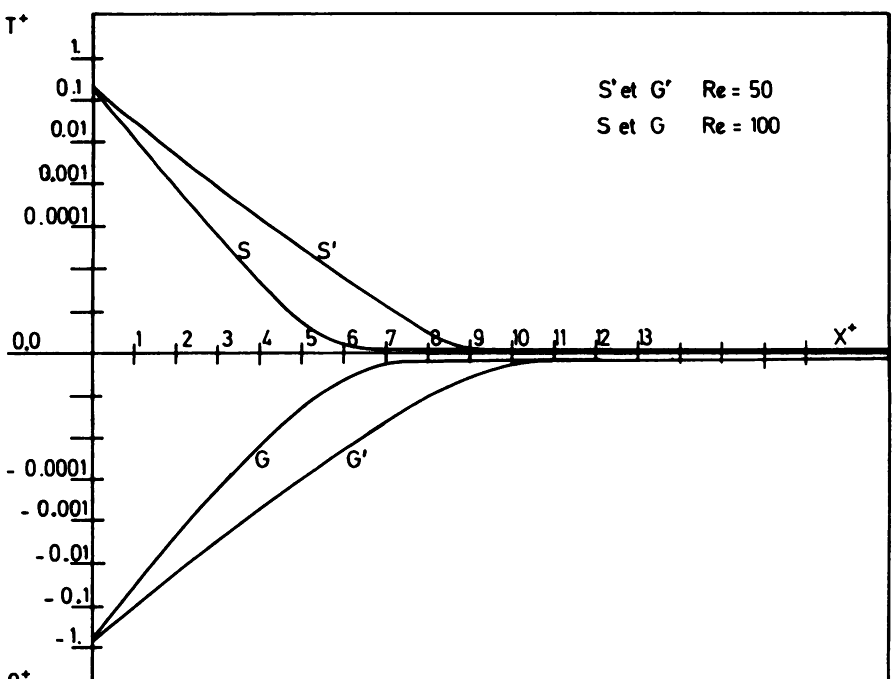
$$q_o^+ = \frac{q_o\, D}{\lambda_S{}^*\, T_\infty},$$

q_o étant la solution de l'équation

$$q_o^4 + \beta\, q_o^3 + \gamma\, q_o^2 + \varnothing\, q_o - \frac{a\, p}{E\, \sigma} = 0.$$

Dans laquelle
a = facteur absortion
E = facteur émission
q = énergie donnée
β, γ, ∅ = paramètres en fonction de Re, Nu, propriétés physiques du fluide et solide, température ambiante.

Nous représentons sur la figure 2 les variations de T^+ et θ^+ lor.sque Re = 50 et lorsque Re = 100.



VARIATION DU PROFIL DES TEMPÉRATURES EN FONCTION DE Re.

FIGURE 2

3. Conclusions

Nos calculs permettent, en principe, de déterminer les conditions expérimentales pour porter un gaz à une température donnée. En fais, en supposant le matériel poreux infiniment long, nous négligeons les pertes d'énergie par la face de sortie. Pour cerner de plus près la réalité, nous étudions actuellement le problème du chauffage du gaz dans un milieu poreux de dimension finie.

BIBLIOGRAPHIE

1. J. D. Verschoor, P. Greebler, «Heat Transfer by Gas Conduction and Radiation in Fibrous Insolations», *A.S.M.E.* August 1952.
2. B. Larvin, S. Churchill, «Heat Transfer by Radiation through Porous Insulations», *A.I.Ch.E. Journal*. December 1959.
3. Daizo Kuni and J. M. Smith, «Heat Transfer characteristics of porous rocks», *A.I.Ch.E. Journal*, Vol 7 March 1961.
4. Geıard Charbt, *Cours d'Analyse Numérique*, Société d'Enseignement Supérieur, 75005 Paris.
5. P. Dumbtz, «Conductivité thermique des matériaux pulvérulents et granulaires», *R.G.T.*, n.° 55, Juillet 1966.