

Examen : Action thermique sur les structures

Master 1 Génie Civil

Janvier 2012 – Session 1

Afin d'augmenter l'isolation d'un double vitrage (fenêtre ou capteur solaire), il est possible de substituer à l'air un gaz ayant des propriétés particulières comme l'argon ou le krypton.

On étudie une ouverture constituée d'un double vitrage (hauteur 2,0 m, largeur 0,50 m) : réalisée par l'association de deux épaisseurs de verre de 5 mm et d'une lame d'air de 20 mm située entre ses deux vitres.

La température à l'intérieur du bâtiment est maintenue à 19°C.

Le verre a une conductivité thermique de 1,2 W/(mK).

Les transferts convectifs et radiatifs sur les deux faces extérieures du double vitrage (c'est-à-dire en contact avec l'air intérieur du bâtiment et avec l'air extérieur) peuvent être caractérisés par un coefficient d'échange $h = 12 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Dans la lame d'air, il y a superposition de deux modes de transfert de chaleur : un transfert conductif dans le gaz compris entre les deux vitres et un transfert convectif, lié au mouvement du gaz dans la lame d'air. Le flux entre les deux faces est donné par :

$$\varphi = U \cdot (T_1 - T_2)$$

$$U = \frac{\lambda_e}{e}$$

T_1 et T_2 sont les températures sur les deux faces en vis-à-vis, intérieures au double vitrage.

λ_e : conductivité thermique équivalente

Le transfert dans la lame d'air peut toujours se ramener à un problème de conduction, en définissant une conductivité thermique équivalente λ_e qui prend en compte les aspects conductifs et convectifs :

$$\frac{\lambda_e}{e} = U = \frac{1}{R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

R_{si} = résistance thermique superficielle face 1 (intérieur au vitrage)

R_{se} = résistance thermique superficielle face 2 (intérieur au vitrage)

λ : conductivité thermique du gaz présent dans la lame d'air

e : épaisseur de la lame d'air

Dans cet exercice on ne prendra pas en compte les transferts radiatifs entre les deux surfaces intérieures du double vitrage, car ils interviennent peu sur les propriétés des gaz.

1. Dans le cas où le phénomène de convection peut être négligé par rapport aux transferts conductifs :

a) Déterminer la résistance thermique du double vitrage si la lame d'air est remplie :

1. d'air
2. de krypton.

Quantifier la différence relative.

b) Déterminer et tracer le profil de températures dans le double vitrage en régime permanent si la température à l'extérieur est de -5°C et ce dans le cas où la lame d'air est remplie de krypton.

2. Dans le cas où le phénomène de convection est pris en compte :

Déterminer la résistance thermique du double vitrage si la lame d'air est remplie :

1. d'air
2. de krypton.

Quantifier la différence relative.

3. Quel est l'intérêt d'utiliser du krypton ? Sur lequel des deux modes de transfert de chaleur a-t-il le plus d'effet ?

4. On souhaite à présent étudier les conséquences mécaniques dans le vitrage. On se place dans le premier cas étudié : 1.b.

Le coefficient de dilatation du verre est de $9.10^{-6} / \text{K}$ et la température de montage est de 10°C uniforme dans tout le vitrage.

- a) Proposer une modélisation mécanique du vitrage
- b) Pour un vitrage dont le rapport des dimensions (largeur / hauteur) est inférieur à 0,4, on peut simplifier le problème : négliger l'effet de plaque et représenter la vitre par une poutre équivalente de portée la plus petite des deux dimensions. Proposer une autre modélisation qui prenne en compte cette simplification.
- c) Calculer les conséquences mécaniques pour les deux vitres du double vitrage.

Données :

Caractéristiques physiques des gaz

Gaz	C_p (J/(kgK))	μ (kg/(ms))	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))
Air	1006	$1,85.10^{-5}$	1,18	0,026
Argon	520	$2,27.10^{-5}$	1,62	0,018
Krypton	250	$4,38.10^{-5}$	3,41	0,016

Avec : λ : conductivité thermique, C_p : capacité thermique, μ : viscosité dynamique, ρ : masse volumique

Nombre de Prandtl (*caractérise la viscosité de l'écoulement*)

$$\text{Pr} = \mu \cdot C_p / \lambda$$

Nombre de Rayleigh (*utilisé en convection naturelle pour les gaz, dont le Pr est de l'ordre de 1*)

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr}$$

Nombre de Nusselt (*caractérise le rapport du flux échangé par convection ($h \cdot \Delta T$) sur le flux échangé par conduction ($\lambda \cdot \Delta T / L$), s'utilise pour calculer le coefficient d'échanges convectifs h)*)

$$\text{Nu} = h \cdot L / \lambda$$

L est la dimension caractéristique de l'écoulement (m) : on prendra ici e (m).

Nombre de Grashof

(*s'utilise en convection naturelle*)

$$\text{Gr} = g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot \rho^2 \cdot L^3 / \mu^2$$

Avec $\beta = 1/T$ (T en K), pour les gaz considérés ici T=300K

ΔT = écart de température paroi-paroi pour les calculs de l'exercice

g = accélération de la pesanteur = 9.81 SI

L est la dimension caractéristique de l'écoulement (m) : on prendra ici e (m).

Convection naturelle entre les deux faces intérieures du double vitrage

$$\text{Nu} = 0.13 \cdot (\text{Ra})^{0.25}$$