

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2017

Toute documentation permise
 Calculatrices : modèles autorisés seulement
 Durée de l'examen : 3 heures

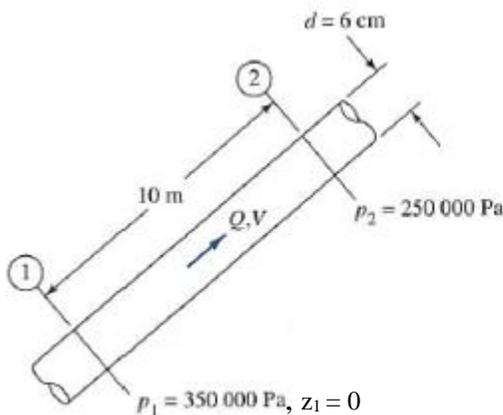
14-MT-A2 Phénomènes d'échanges métallurgiques

Question 1. (20 points)

De l'eau à 45°C s'écoule à travers un tube incliné de 40° par rapport à l'horizontale, tel que montré à la figure ci-dessous. En supposant que l'écoulement est laminaire, on vous demande de déterminer :

- Le débit massique.
- Le nombre de Reynolds. Est-ce que l'hypothèse d'un écoulement laminaire est valide ?

Les valeurs de la densité et de la viscosité de l'eau à la pression atmosphérique sont données dans le tableau ci-dessous.



$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$
0	1000	1.788 E-3	1.788 E-6
10	1000	1.307 E-3	1.307 E-6
20	998	1.003 E-3	1.005 E-6
30	996	0.799 E-3	0.802 E-6
40	992	0.657 E-3	0.662 E-6
50	988	0.548 E-3	0.555 E-6
60	983	0.467 E-3	0.475 E-6
70	978	0.405 E-3	0.414 E-6
80	972	0.355 E-3	0.365 E-6
90	965	0.316 E-3	0.327 E-6
100	958	0.283 E-3	0.295 E-6

Question 2. (30 points)

Déterminer le temps de solidification dans les cas suivants :

- une plaque en nickel de 10 mm d'épaisseur, coulée dans un moule en sable de silice.
- une sphère en aluminium de 125 mm de diamètre, coulée dans une carapace en céramique.
- un cylindre en acier de 25 mm de diamètre (et de longueur considérée comme infinie), coulé dans un moule en mullite.

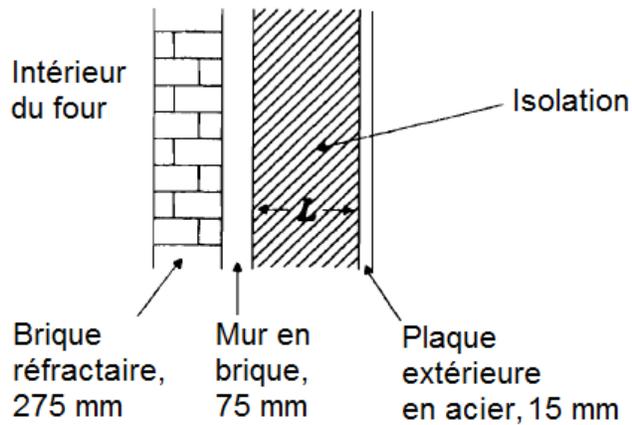
Prendre note que ces matériaux ont été coulés à leurs températures de fusion respectives (sans surchauffe). On suppose également que la température initiale des moules cités ci-haut est de 300 K. Les autres données de l'exercice sont présentées dans les tableaux suivants :

Mold material	k , W m ⁻¹ K ⁻¹	ρ , kg m ⁻³	C_p , J kg ⁻¹ K ⁻¹
Silica sand	0.52	1600	1170
Mullite	0.38	1600	750
Ceramic shell	0.70	1800	1100

Casting material	T_M , K	H_f , J kg ⁻¹	ρ' , kg m ⁻³	C_p' , J kg ⁻¹ K ⁻¹	k' , W m ⁻¹ K ⁻¹
Iron	1808	2.72×10^5	7210	750	40
Nickel	1728	2.91×10^5	7850	670	35
Aluminum	933	3.91×10^5	2400	1050	260

Question 3. (25 points)

Dans le but de réduire les pertes de chaleur à travers les parois d'un four de grandes dimensions, le service technique d'une entreprise a décidé d'ajouter une isolation externe avec une plaque extérieure en acier (voir figure ci-dessous). Calculer l'épaisseur nécessaire de l'isolation pour réduire les pertes de chaleur de 75%.



Données :

Brique réfractaire et mur en brique :
 $k = 0,87 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Isolation : $k = 0,0675 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Acier : $k = 43 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

$h = 60 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ (intérieur du four)

$h = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ (extérieur du four)

Question 4. (25 points)

On désire durcir superficiellement une pièce semi-infinie en acier au carbone au moyen d'un traitement de cémentation dans une atmosphère riche en méthane (CH_4). La concentration massique nominale de la plaque en carbone est de 0,25%. La température du traitement est de 950°C . Si la concentration massique en carbone à la surface atteint immédiatement 1,20% et reste constante durant le traitement, on vous demande de déterminer le temps nécessaire pour obtenir une concentration massique en carbone de 0,80% à 0,5 mm sous la surface.

Le coefficient de diffusion du carbone dans le fer à 950°C est de $1,6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Les valeurs de la fonction erreur sont données dans le tableau ci-dessous.

z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$
0	0	0,55	0,5633	1,3	0,9340
0,025	0,0282	0,60	0,6039	1,4	0,9523
0,05	0,0564	0,65	0,6420	1,5	0,9661
0,10	0,1125	0,70	0,6778	1,6	0,9763
0,15	0,1680	0,75	0,7112	1,7	0,9838
0,20	0,2227	0,80	0,7421	1,8	0,9891
0,25	0,2763	0,85	0,7707	1,9	0,9928
0,30	0,3286	0,90	0,7970	2,0	0,9953
0,35	0,3794	0,95	0,8209	2,2	0,9981
0,40	0,4284	1,0	0,8427	2,4	0,9993
0,45	0,4755	1,1	0,8802	2,6	0,9998
0,50	0,5205	1,2	0,9103	2,8	0,9999

NB. Si la fonction erreur calculée ne permet pas de déterminer directement z , vous devez procéder à une interpolation.