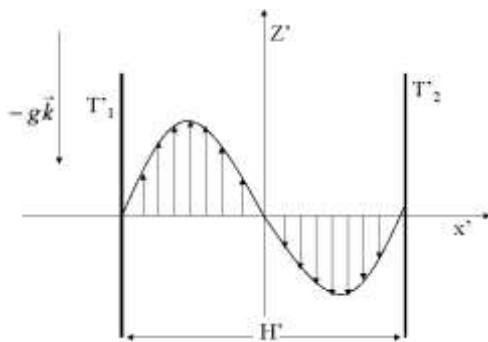


**TD de transfert thermique  
 Série N°2**

**Exercice 1:**

On étudie l'écoulement stationnaire d'un fluide Newtonien visqueux incompressible dans un espace limité par deux plans verticaux parallèles distants de  $H'$ , portés à des températures constantes et uniformes  $T'_1$  et  $T'_2$  avec  $T'_1 > T'_2$  (Figure 1),  $\mu$  est la viscosité dynamique du fluide,  $\alpha$ , sa diffusivité thermique et  $\beta$  son coefficient de dilatation. La masse volumique  $\rho$  du fluide est supposée dépendre de la température  $T'$  conformément à l'équation:  $\rho = \rho_2 [1 - \beta(T' - T'_2)]$ .  $p'$  désigne la pression.



On admet que la vitesse se réduit à la seule composante verticale  $W'$  fonction à priori de  $x'$  et de  $z'$ , que la pression est fonction à priori de  $x'$  et de  $z'$ , et que la température ne dépend que de  $x'$ .

**Figure 1 : Convection naturelle dans un canal vertical**

**1. Equation du problème:**

**1.1.** Ecrire les équations de conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement (projetée sur les axes  $x'$  et  $z'$ ), et préciser les conditions aux limites sur la température et la vitesse.

**1.2.** Montrer que  $W'$  ne dépend que de  $x'$  et que  $p'$  ne dépend que de  $z'$ .

**2. Problème thermique:**

**2.1.** Rendre adimensionnelle l'équation de conservation de l'énergie en utilisant le système

suisvant :  $x = \frac{x'}{H'}$  ;  $T = \frac{T' - T'_2}{T'_1 - T'_2}$

Ecrire les conditions aux limites sur la température adimensionnelle.

**2.2.** Donner le profil de température adimensionnelle  $T(x)$ .

**2.3.** Montrer que le coefficient de transfert convectif calculé sur le plan de température  $T'_1$

s'écrit :  $h = -\frac{\lambda}{H'} \frac{dT}{dx} \Big|_{x=-1/2}$ , où  $\lambda$  est la conductivité du fluide.

Exprimer le nombre de Nusselt  $Nu$ .

**3. Problème dynamique:**

**3.1.** Réécrire l'équation de conservation de la quantité de mouvement (projetée sur l'axe  $z'$ ) en introduisant la variable :  $p^* = p' + \rho_2 g z'$ .

**3.2.** Rendre adimensionnelle cette équation, en complétant le système des grandeurs de référence précédemment utilisé par :  $W = \frac{W'}{\alpha / H'}$  ;  $p = \frac{p^*}{\rho_2(\alpha / H')^2}$ . On fera apparaître les

nombres adimensionnels appropriés.

Ecrire les conditions aux limites sur la vitesse adimensionnelle.

**3.3.** A l'aide de la conservation du débit et des conditions aux limites sur  $W$ , résoudre l'équation précédente et donner l'expression de  $W(x)$  et de  $\frac{dp}{dz'}$ .

Montrer que la vitesse maximale a pour expression :  $W_m = \frac{Ra}{72\sqrt{3}}$ .

**N.B.** On rappelle les expressions suivantes des nombres adimensionnels :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \text{ où } \nu \text{ est la viscosité cinématique : } \nu = \frac{\mu}{\rho^2} ; Ra = \frac{g\beta(T'_1 - T'_2)H^3}{\nu\alpha}$$

$$\text{et } Gr = \frac{g\beta(T'_1 - T'_2)H^3}{\nu^2}$$

### Exercice 2:

Un tube cylindrique est refroidi par convection forcée à l'aide d'un courant d'eau. L'écoulement est turbulent de vitesse 3m/s. Le tube a un diamètre interne égal à 2 cm et la température de la paroi est 75°C. Trouver, le coefficient de transfert de chaleur, si on admet que les températures d'entrée et de sortie de l'eau sont 20°C et 50°C, respectivement. On donne les propriétés physiques de l'eau à 35°C :

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 ; \mu = 10^{-3} \text{ kg/ms} ; C_p = 4186 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} \text{ et } \lambda = 0,6 \text{ W/m}^\circ\text{C}.$$

### Exercice 3:

On considère une chambre chaude ayant une paroi verticale de hauteur 30,5 cm. La température de la surface interne est 232°C et la température ambiante est de 38°C. Trouver le coefficient de transfert de chaleur par convection et le flux de chaleur par unité de surface de la paroi. On néglige le transfert par rayonnement. Pour  $T = 408\text{K}$ , on donne:

$$\rho = 0,883 \text{ kg/m}^3 ; \mu = 2,2910^{-5} \text{ kg/ms} ; \lambda = 0,0337\text{W/mK} \text{ et } Pr = 0,689.$$

### Exercice 4:

La vapeur d'eau se condense sur la surface externe d'un tube. Le coefficient de transfert de chaleur est de 10500 W/m<sup>2</sup>K et la température est égale à 107°C. En même temps l'intérieur du tube est refroidi par un écoulement d'eau de 1,5 m/s et une température moyenne globale de 65,6 °C. On signale que le tube est en acier, sa conductivité thermique est égale à 45W/mK, sa longueur est de 3m, et les diamètres sont : di = 2cm et de=3cm

1. Trouver, le coefficient de transfert de chaleur par convection forcée ;
2. Trouver, le coefficient de transfert de chaleur global basé sur la surface interne ;
3. Déterminer le flux de chaleur

On donne les propriétés physiques de l'eau:

$$\rho = 980 \text{ kg/m}^3 ; \mu = 4,3210^{-4} \text{ kg/ms} ; \lambda = 0,633\text{W/mK} \text{ et } Pr = 2,72.$$

**Exercice 5:**

Une plaque circulaire de 16 cm de diamètre est maintenue horizontalement dans un grand réservoir d'eau à 70°C. Déterminer le flux de chaleur nécessaire à la plaque pour maintenir sa surface à une température constante et égale à 130°C. On donne :

$g=9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $\beta = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ,  $\nu = 0,294 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $Pr = 1,74$  et  $\lambda = 0,68 \text{ W/mK}$ .

**Exercice 6:**

Un réservoir de forme cylindrique ; à axe vertical, de diamètre  $d = 8\text{m}$  de hauteur,  $I = 4\text{m}$ , est destiné à stocker de l'eau chaude à une température moyenne  $T_m = 80^\circ\text{C}$ . La paroi est en matériau métallique et peut être considérée comme isotherme à une température  $T_p = 70^\circ\text{C}$ . Sachant que la température de l'air ambiant, supposé calme, est de  $T_a = 10^\circ\text{C}$ , on demande de calculer :

1. Les coefficients de transfert par convection relatifs, respectivement, à la paroi latérale ( $h_e$ ) et à la paroi supérieure ( $h_s$ ) dont la longueur de référence est :  $L_S = (\text{Surface})^{0,5}$  ;
2. La puissance totale ( $Q_T$ ) échangée avec l'air ambiant ;
3. La valeur moyenne du coefficient de transfert par convection avec l'eau stockée ( $h_1$ ), la paroi étant supposée de faible épaisseur. On donne les propriétés de l'air ambiant :  $\lambda = 0,03 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  ;  $\nu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  et  $Pr = 0,7$  .