

Devoir surveillé : Transferts thermiques  
(Durée 1h 30 min)

**Exercice 1 (12 points)**

La paroi plane d'un four est composée de 3 couches successives de briques :

Couche	Matériau	Epaisseur (cm)	$\lambda (W m^{-1} K^{-1})$
intérieure	briques réfractaires	20	1,17
médiane	briques isolantes	10	0,256
extérieure	briques de construction	15	0,691

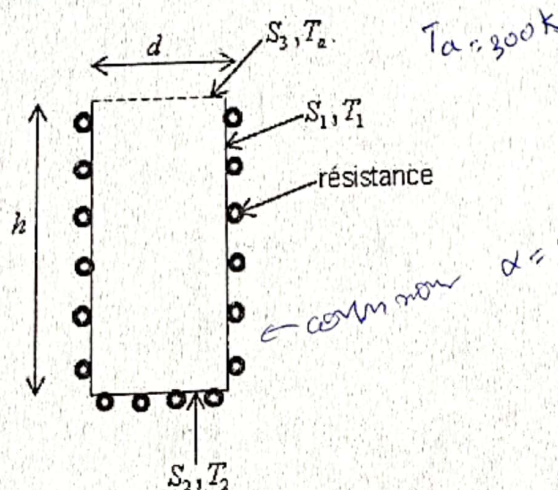
La température de la face intérieure du four est de  $871^{\circ}C$  et la température de la face extérieure du four est maintenue à  $52^{\circ}C$  par circulation d'air.

- 1°) Calculer le flux perdu par unité de surface du four. (3 points)
- 2°) Déterminer les températures aux interfaces des couches. (6 points)
- 3°) Calculer le flux perdu par unité de surface du four en supposant qu'il existe une mince lame d'air de  $6mm$  d'épaisseur entre la couche de briques réfractaires et celle de briques isolantes. On supposera que les températures des faces internes et externes sont inchangées par rapport à la question 1). Dans ces conditions la conductivité thermique moyenne de l'air est  $\lambda_a = 0,064 W m^{-1} K^{-1}$ . (3 points)

**Exercice 2 (8 points)**

Un four cylindrique est représenté sur la figure ci-dessous. Les dimensions sont  $d = 0,4m$  et  $h = 2d$ . Il est ouvert vers l'extérieur sur sa face supérieure et l'air ambiant est à la température de  $T_a = 300 K$ . Les parois du four se comportent comme des corps noirs. Les températures de parois sont maintenues à température constante par effet Joule (une résistance électrique est bobinée autour du four). La température de la base est  $T_2 = 1900 K$  et celle de la paroi latérale est  $T_1 = 1500 K$ .

- 1°) Trouvez les facteurs de forme  $F_{23}$ ,  $F_{21}$ ,  $F_{12}$  et  $F_{13}$ . (2 points)
- 2°) Calculer le flux net échangé entre la surface 1 et la surface 3 (1,5 points)
- 3°) Calculer le flux net échangé entre la surface 1 et la surface 2 (1,5 points)
- 4°) Calculer le flux net échangé entre la surface 2 et la surface 3 (1,5 points)
- 5°) Calculer la puissance électrique à fournir pour maintenir ces niveaux de température dans le four (1,5 points)





Devoir surveillé du Transferts thermique par rayonnement  
(Durée 1h 30 min)

**Exercice 1 (12 points)**

La transmissivité monochromatique du pare-brise d'une voiture est :

$$\begin{cases} \tau_\lambda = 0 & \text{pour } \lambda < 0,3 \mu\text{m} \\ \tau_\lambda = 0,92 & \text{pour } 0,3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 3 \mu\text{m} \\ \tau_\lambda = 0 & \text{pour } \lambda > 3 \mu\text{m} \end{cases}$$

Supposons que le soleil se comporte comme un corps noir dont la température à la surface est  $T_s = 5800 \text{ K}$ . Supposons aussi que l'intérieur de la voiture (tableau de bord, siège, etc.) se comporte aussi comme un corps noir dont la température est environ  $T_i = 400 \text{ K}$ .

Le flux solaire sur le pare-brise est  $1100 \text{ W/m}^2$ .

- 1°) Calculer la transmissivité du pare-brise au solaire. (3 points)
- 2°) Calculer la transmissivité du pare-brise au rayonnement provenant de l'intérieur de la voiture. (3 points)
- 3°) Estimez la densité du flux de chaleur radiatif provenant du soleil qui pénètre dans la voiture. (3 points)
- 4°) Estimez la densité du flux de chaleur radiatif qui provient de l'intérieur de la voiture et qui ressort. (3 points)

**Exercice 2 (8 points)**

Un cylindre creux d'épaisseur négligeable et de diamètre  $d_2 = 6 \text{ cm}$  rayonne avec un facteur d'émission  $\varepsilon_2 = 0,2$  et une température  $T_2 = 1000 \text{ K}$  vers deux cylindres concentriques au précédent, l'un intérieur de diamètre  $d_1 = 2 \text{ cm}$  et l'autre extérieur de diamètre  $d_3 = 10 \text{ cm}$ . Ces deux derniers cylindres sont maintenus à la température  $T_1 = T_3 = 300 \text{ K}$  et leur facteur d'émission est  $\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = 0,8$ .

- 1°) Calculer le flux de chaleur échangé entre le cylindre intermédiaire et le cylindre intérieure pour une longueur de  $1 \text{ m}$ . (2,5 points)
- 2°) Calculer le flux de chaleur échangé entre le cylindre intermédiaire et le cylindre extérieur pour une longueur de  $1 \text{ m}$ . (2,5 points)
- 3°) Calculer le flux de chaleur total rayonné par le cylindre intermédiaire. (3 points)



**Devoir surveillé de Transfert de chaleur**  
(Durée 2h)

**Exercice 1 (8 points)**

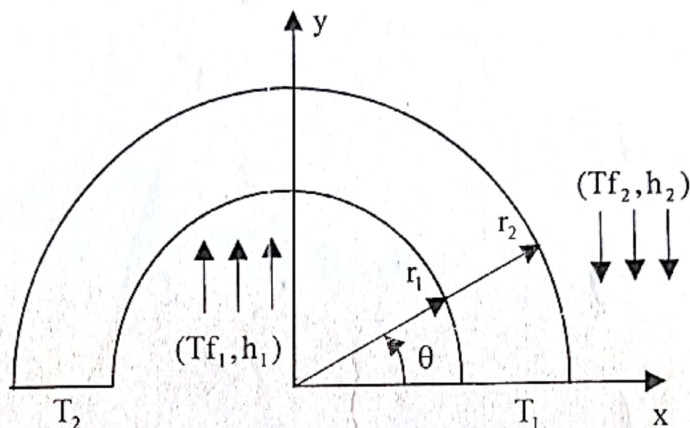
Le tube illustré sur la figure ci dessus est de longueur  $L$ , de rayons interne  $r_1$  et externe  $r_2$ . On suppose que la variation de température dans la direction  $z$  est négligeable. Les surfaces interne et externe du tube échangent par convection avec des fluides respectivement à  $T_{f1}$  et  $T_{f2}$  et avec des coefficients  $h_1$  et  $h_2$ . Les faces du tube à  $\theta = 0$  et  $\theta = \pi$  sont respectivement à  $T_1$  et  $T_2$ .

1°) Donner les conditions aux limites. (3 points)

2°) En supposant que  $r_2 - r_1 \ll r_1$  et que toutes les propriétés sont constantes. Déterminer en régime permanent :

a- la distribution de température  $T(\theta)$ . (2 points)

b- l'expression du flux de chaleur. (3 points)



**Données**

L'équation de la chaleur en coordonnée cylindrique est :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ \lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] + \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

**Exercice 2 (12 points)**

La paroi plane d'un four est composée de 3 couches successives de briques :

- une couche de 15 cm de briques réfractaires d'alumine
- une couche de briques isolantes de kaolin
- une couche de 22,5 cm d'épaisseur de briques ordinaires de construction

La température des briques réfractaires des faces intérieures du four est de  $982^\circ\text{C}$ . La température de la surface de contact des couches de briques réfractaires et isolantes est de  $938^\circ\text{C}$ . La température de l'interface des couches de briques isolantes et de construction est de  $138^\circ\text{C}$ . Dans les conditions de fonctionnement du four, les conductivités thermiques moyennes des couches de la paroi sont :

Couche	$\lambda \text{ (} W m^{-1} ^\circ C^{-1} \text{)}$
briques réfractaires d'alumine	$\lambda_1 = 1,62$
briques isolantes de kaolin	$\lambda_2 = 0,23$
briques ordinaires de construction	$\lambda_3 = 1,39$

1°) Calculer les pertes de chaleur par  $m^2$  de surface de mur. (4 points)

2°) Calculer l'épaisseur  $e_2$  de la couche de briques isolantes de kaolin (4 points)

3°) Calculer la température de la surface extérieure du four  $T_{ext}$ . (4 points)

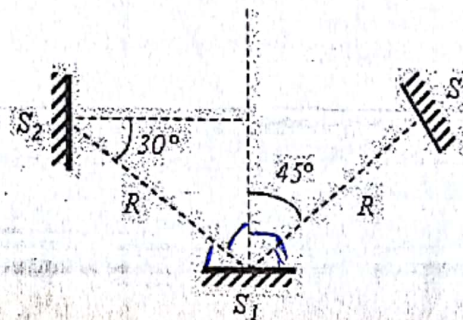


Travaux dirigés de transfert de chaleur : Rayonnement

✓ **Exercice 1**

On considère une petite surface  $S_1 = 0,001 \text{ m}^2$  à émission isotrope. La luminance totale de flux émis dans la direction normale à  $S_1$  est  $L_n = 7000 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{sr)}$ . Le rayonnement émis est reçu par deux petites surfaces  $S_2 = S_3 = 0,001 \text{ m}^2$  qui sont à distance  $R = 0,5 \text{ m}$  (voir figure).

- ✓ 1°) quelle est la luminance associée à l'émission dans chacune des deux directions.
- ✓ 2°) Calculer les angles solides sous lesquels  $S_2$  et  $S_3$  sont vus à partir de  $S_1$ .
- ✓ 3°) Déterminer le flux reçus par  $S_2$  et  $S_3$ .
- ✓ 4°) En déduire les éclairements totaux de ces deux surfaces.



$$L = \frac{I}{d\Omega} = \frac{d^2\phi}{d\Omega dS' \cos\beta}$$

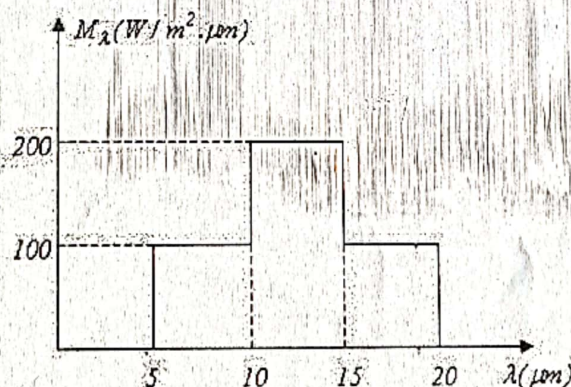
$\text{W}$

$$L: \text{W}/\text{sr} \cdot \text{m}^2$$

✓ **Exercice 2**

L'émittance monochromatique d'une surface diffuse peut être approximée comme montré sur la figure.

- ✓ 1°) Calculer l'émittance totale de la surface.
- ✓ 2°) En déduire la luminance du rayonnement émis dans une direction donnée.



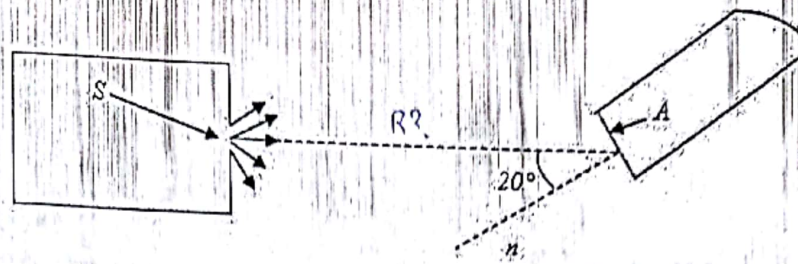
✓ **Exercice 3**

Un four ayant une ouverture de diamètre  $D = 20 \text{ mm}$  et d'émittance totale  $M = 3,72 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$  est utilisé pour calibrer un instrument de mesure de surface détectrice  $A = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ . L'instrument sert à mesurer le flux de chaleur.

- ✓ 1°) A quelle distance dans la direction normale à l'ouverture le détecteur doit être placé pour qu'il reçoive  $1000 \text{ W/m}^2$ .

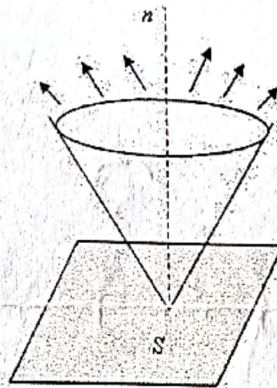


- ✓ 2°) quelle serait l'éclairement de la source détectrice si elle est inclinée de  $20^\circ$  par rapport à la normale de l'ouverture.



#### Exercice 4

L'émission d'une surface  $S$  est identique à celle d'un corps noir à  $T = 1500 K$ . Déterminer la densité du flux émis par rayonnement dans le cône d'angle au sommet  $60^\circ$  et dans l'intervalle de longueur d'onde  $2 \mu m < \lambda < 4 \mu m$ .



#### Exercice 5

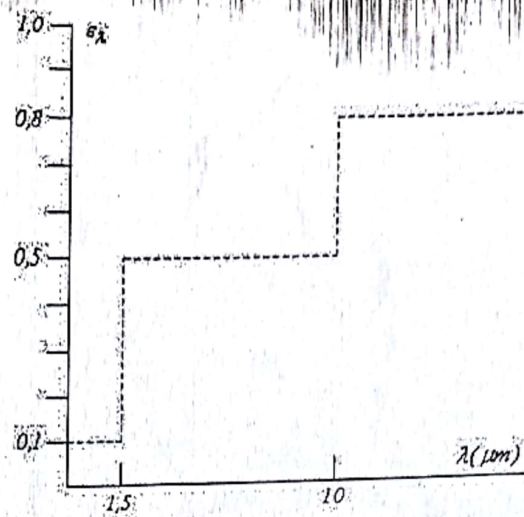
Un four ayant une petite ouverture fonctionne à la température  $T = 1000 K$ .

- ✓ 1°) Calculer l'émittance du rayonnement quittant l'ouverture.
- ✓ 2°) Déterminer la luminance monochromatique à  $\lambda = 2 \mu m$  du flux émis.
- ✓ 3°) Donner la fraction de l'émittance dans la bande spectrale  $\lambda = 2 \mu m$  à  $\lambda = 6 \mu m$ .

#### Exercice 6

Une surface opaque  $S$  à  $T = 500 K$  est exposée au rayonnement émis par du charbon en combustion de température  $T = 2000 K$ . La surface est à émission et réflexion diffuses. L'émissivité monochromatique de  $S$  est donnée sur la figure ci-dessous.

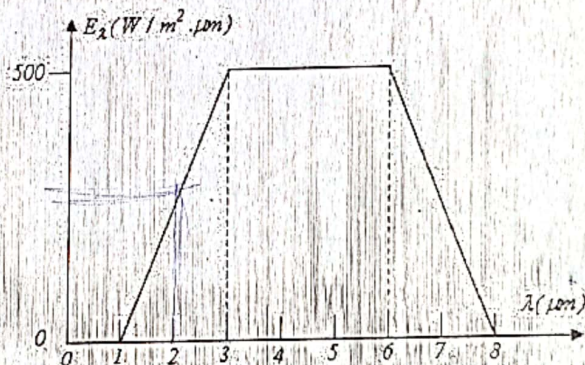
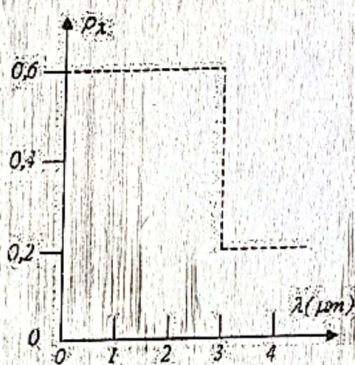




- 1°) Calculer l'émissivité totale hémisphérique de  $S$ .
- 2°) Donner la distribution spectrale de l'émittance  $M_\lambda(\lambda)$  de  $S$ .
- 3°) En déduire l'émittance totale de  $S$ .
- 4°) Déterminer l'absorptivité monochromatique et totale de  $S$ .
- 5°) La surface  $S$  est-elle grise?

#### Exercice 7

Une surface opaque  $S$  est à émission et réflexion diffuses et isolée sur une de ces deux faces. L'autre face, à une réflectivité et un éclairement monochromatique qui varient comme montrées sur la figure. La surface  $S$  est maintenue à la température  $T = 750 \text{ K}$ .

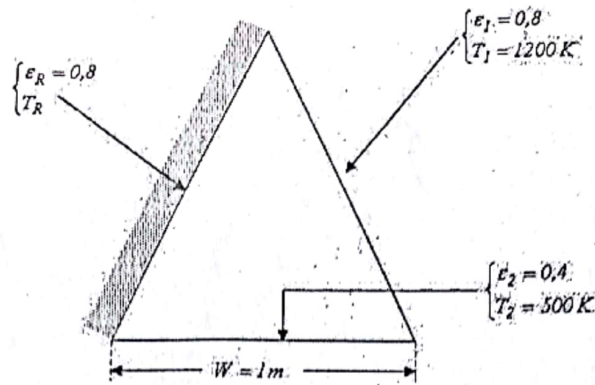


- 1°) Calculer l'absorptivité et l'émissivité totales de  $S$ .
- 2°) Déterminer le flux radiatif perdu par  $S$ .

#### Exercice 8

Une conduite très longue a la forme d'un triangle équilatéral de côté  $W = 1 \text{ m}$ . Toutes les surfaces sont à émission et réflexion diffuses. Les données du problème sont indiquées sur la figure. La surface  $S_R$  est adiabatique.





- 1°) En utilisant l'analogie électrique, déterminer les expressions des flux qu'ils faut fournir aux surfaces  $S_1$  et  $S_2$  pour les maintenir isothermes.
- 2°) Quelle est l'effet de  $\epsilon_R$  sur les résultats.
- 3°) Calculer la température de  $S_R$ .
- 4°) Etablir le système d'équations qui permet d'obtenir les radiosités de toutes les surfaces.