Exercices sur les transferts de chaleur et la sévérité de trempe

Exercice n°1

On considère le diagramme TRC de l'acier 35 NC 6.

1. Calculer t_{700} et v_{700} correspondant à la courbe de refroidissement la plus rapide.
2. On considère la courbe de refroidissement aboutissant à 26 HRC.
    a. Calculer t_{700}.
    b. Calculer v_{700} et en déduire le coefficient k de la loi de Newton v = - k (T – T_f).
    c. Calculer t_{300} à partir de la loi de Newton.
    d. Quelle est valeur déterminée sur la courbe. Expliquer.

Exercice n°2

On réalise le chauffage de 2 barres de rayon r suffisamment longues avec le même four.

1. Au bout de 2 heures, les barres sont en régime stationnaire. On note les températures en fonction de la distance au thermomètre le plus proche du four.

Acier	Distance en m	Température en °C
	0	77,4
	0,2	37
	0,4	25,8
	0,6	23,4
	0,8	21,3

Cuivre	Distance en m	Température en °C
	0	60,4
	0,2	50
	0,4	39,4
	0,6	33,6
	0,8	29,6

    a. Tracer les courbes Ln (T – T_{amb}) en fonction de la distance. Déterminer les pentes k. On prendra une température ambiante T_{amb} = 20 °C.
    b. Justifier que $k = \left(\frac{2h}{r\lambda}\right)^{1/2}$ où h est le coefficient de convection thermique commun aux 2 barres et λ le coefficient de conduction thermique.
    c. Calculer le coefficient de convection h. En déduire le coefficient de conduction de l'acier. On prendra λ_{Cu} = 400 W.m^{-1}.K^{-1} et r = 1,25 cm.

2. On considère que le début du chauffage suit la loi de Fick. On a ainsi :
   $(T - T_\propto) / (T_0 - T_\propto) = (1 - erf(u))$
   avec $erf(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-v^2} dv$ et $v = \frac{x}{2\sqrt{D\,t}}$ et $D = \frac{\lambda}{\rho c}$
   En se plaçant en x = 0,2 m sur la barre en cuivre, calculer sa température après 5 mn, 10 mn, puis 20 mn de chauffage.
   On prendra pour le cuivre :
    - la chaleur massique c = 380 J.kg^{-1}.K^{-1}
    - et la masse volumique ρ = 8920 kg.m^{-3}.

Exercice n°3

Les métaux purs suivent souvent la loi de Wiedman-Franz : $L = \frac{\lambda\rho}{T}$ = 2,45.10^{-8} $\Omega . W . K^{-2}$ où λ est la conductivité thermique, ρ la résistivité et T la température du matériau.

1. Justifier la relation et les unités de L.
2. Calculer la conductivité thermique de l'argent à la température ambiante T = 20 °C sachant que sa résistivité électrique est ρ = 1,6 10^{-8} Ω.m.

Exercice n°4

Calculer la sévérité H de l'eau d'après Grossmann en utilisant la relation issue des nombres de Nusselt $N = \frac{hd}{\lambda}$, Prandtl $P = \frac{\eta c_p}{\lambda}$ et Grashof $G = \frac{\alpha g \Delta T \rho^2 d^3}{\eta^2}$. Les 3 nombres suivent le plus souvent une relation de la forme : $N = m(PG)^n$ avec m = 0,135 et n = 1/3 et par conséquent indépendante de la dimension d de la pièce.

On donne pour l'eau : λ = 0,6 W m^{-1} K^{-1}, ρ = 10^3 kg.m^{-3}, α = 2,1 10^{-4} K^{-1},
η = 10^{-3} Pl, c_p = 4180 J kg^{-1} K^{-1}. On prendra Δ T = 850 °C, λ_{acier} = 25 W m^{-1} K^{-1} et g = 9,8 m s^{-2}.

Exercice n°5

On réalise une trempe d'un rond en acier avec une huile de sévérité H = 0,025 mm^{-1} . On mesure une durée de refroidissement Δ t = 100 s entre 700 et 300 °C à la surface de la pièce. En déduire, à l'aide de l'abaque de l'OTUA, le diamètre de la pièce, la durée de refroidissement entre 700 et 300 °C à cœur et celle pour r / R = 0,7.

Exercice n°6

La norme permet de calculer la sévérité H d'une huile de trempe à l'aide de la relation :

$$H = K \frac{v_{max}}{T_{v_{max}} - T_{bain}}$$

Une pièce est trempée dans de l'huile de coefficient de convection thermique h. Justifier la relation donnant les échanges de chaleur par convection à la surface de la pièce de masse m, de chaleur massique c et de conductivité thermique λ : dQ = mc dT = h S ΔT dt .

1. En déduire la relation : $H = \frac{h}{2\lambda} = K \frac{dT}{dt} \frac{1}{\Delta T}$ et préciser la relation entre K, m, c, S et λ.
2. Préciser les conditions d'utilisation de la relation par la norme.
3. On donne la courbe de refroidissement et la courbe dérivée d'une huile appelée Iloquench 415. On trempe une éprouvette en argent initialement à 800 °C dans l'huile à 50 °C. Déterminer les valeurs T_1 , T_2 , v_{max} et la température T_{max} correspondante.
4. Calculer la constante K sachant que la sévérité de l'huile est H = 20,5 m^{-1}.
5. L'éprouvette est en argent de masse volumique ρ = 10,5 g cm^{-3} et de chaleur massique c = 235 $J.kg^{-1}.°C^{-1}$, de forme cylindrique de 16 mm de diamètre et de 48 mm de hauteur. En déduire la valeur de la conductivité thermique de l'argent et commenter le résultat obtenu.

Exercice n°7

On considère le régime stationnaire d'une barre en acier de rayon r = 12,5 mm et de conductivité thermique λ = 50 W m^{-1} K^{-1} dont une extrémité est chauffée dans un four à 400 °C et l'autre reste à la température ambiante T_{amb} = 20 °C. On fait après avoir attendu un temps suffisant le relevé de température suivant :

x en m	0	0,25	0,6	0,8	1	1,2	1,4
T en °C	400	400	90	42	28	23	20

1. Tracer la courbe **Ln (T - T_{amb}) = f (x).** En déduire la pente k de la partie linéaire et écrire la relation **T = g (x)** correspondante.
2. Calculer la valeur du coefficient de convection h d'échange entre la barre et l'air et en déduire la valeur de la sévérité H de l'air d'après Grossmann.
3. Pendant la mise en température de la barre, celle ci suit l'équation de propagation de la chaleur :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\rho c}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} .$$

La barre a pour chaleur massique c = 450 J $kg^{-1}°C^{-1}$ et masse volumique ρ = 7800 $kg.m^{-3}$.

On relève pour la position x = 0,6 m, les valeurs :

t en s	1800	7200
T en °C	26	88

Calculer la valeur de la constante $D = \frac{\lambda}{\rho c}$, préciser les unités et vérifier que les 2 couples de valeurs vérifient la relation : $(T - T_\propto) / (T_0 - T_\propto) = (1 - erf(u))$