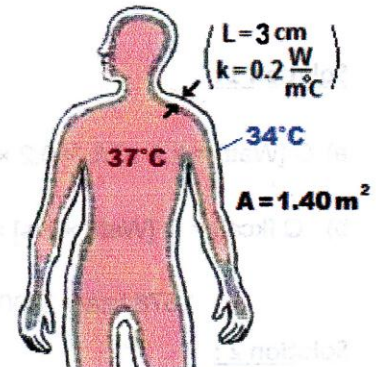


**EXAMEN FINAL (durée : 1h30min)**

**Exercice 1 : (6 pts)**

- a) Pour le corps humain, quel est le taux de transfert de chaleur par conduction à travers les tissus du corps avec les conditions suivantes: l'épaisseur du tissu est de 3 [cm], le changement de température de  $\Delta T = 3[^\circ\text{C}]$ , et la surface de la peau est de 1.4 [m<sup>2</sup>].  
 b) Comment cela se compare-t-il au taux moyen de transfert de chaleur résultant d'un apport énergétique d'environ 2400 kcal par jour? (1 [kcal] = 4186 [Joules])

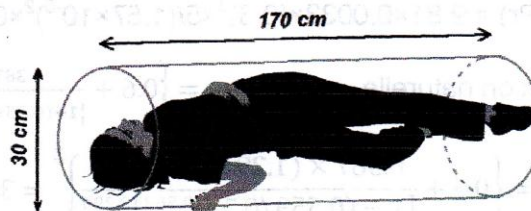


**Exercice 2 : (6 pts)**

- a) Combien de kilogrammes d'eau doivent évaporer par respiration un homme de 80 [kg] pour abaisser sa température corporelle de 1 [°C]?  
 b) Si l'homme respire à un rythme modéré de 18 respirations par minute, en évaporant 0.04 [g] d'eau des poumons à chaque respiration, quelle est le temps nécessaire pour évaporer toute la quantité d'eau. On donne:  $C = 0.83$  [kcal/kg.K],  $L_v(37^\circ\text{C}) = 580$  [kcal/kg].

**Exercice 3 : (8 pts)**

Une personne est retrouvée morte à 5h00 du matin dans une pièce dont la température est de 20[°C]. La température du corps est à 25 [°C] lorsque la mort est constaté. Le corps humain de cette personne peut être modéliser comme un cylindre de 30 [cm] de diamètre et 1.70 [m] de long.



- a) Déterminer le coefficient de transfert de chaleur par convection "h" de cette personne lorsqu'elle est retrouvée.  
 b) Calculez le taux de transfert de chaleur de la personne avec l'air ambiant à ce moment la.  
 c) Si on considère que la température de la personne morte est la même partout et change seulement en fonction du temps alors on peut appliquer la relation suivante:

$$\frac{[T(t) - T_{air}]}{(T_i - T_{air})} = e^{-b.t} \quad \text{avec} \quad b = 50 \text{ h}/(\rho.C.D)$$

T(t): température de la personne au temps "t"

T<sub>i</sub> : température de la personne au temps initiale " t = 0 "

b: constante de l'équation,  $b = 50 \text{ h}/(\rho.C.D)$

$\rho$ , C et D : sont respectivement, la masse volumique, la chaleur massique et le diamètre du corps humain.

En supposant que la personne avait une température de 37°C avant son décès, déterminer à quelle heure cette personne est morte.

On donne:

- pour l'air :  $Pr = 0.73$ ,  $\nu = 1.57 \times 10^{-5}$  [m<sup>2</sup>/s],  $\beta = 0.0033$  [1/K],  $k_{air} = 0.0234$  [W/m.K].
- pour la personne :  $\rho = 996$  [kg/m<sup>3</sup>],  $C = 4178$  [J/kg.K].

- d) Quand est ce qu'on peut considérer pour un corps que la température est la même partout et qu'elle change juste en fonction du temps?

$$(\text{Rappel: } Nu_D = h \cdot D / k, \quad Ra_D = Gr_D \times Pr, \quad Gr_D = g \cdot \beta \cdot D^3 \Delta T / \nu^2)$$

**SOLUTION EXAMEN FINAL**

**Solution 1 :**

a)  $Q \text{ [Watt]} = k A \Delta T / L = 0.2 \times 1.4 \times (37 - 34) / 0.03 = 28 \text{ W}$  (3 pts)

b)  $Q \text{ [kcal]} = Q \text{ [Watt]} \times t \text{ [s]} \times (1 \text{ kcal} / 4186 \text{ J}) = 28 \text{ [W]} \times 24 \times 3600 \text{ [s]} \times (1 \text{ kcal} / 4186 \text{ J}) = 578 \text{ kcal}$

$578 \text{ kcal} / 2400 \text{ kcal} = 24.08 \%$  (3 pts)

**Solution 2 :**

a)  $M$  est la masse de l'homme et  $m$  la masse de l'eau évaporé:

$M C \Delta T = m L_v \Rightarrow m = M C \Delta T / L_v = 80 \times 0.83 \times 1 / 580 = 0.1145 \text{ kg} = 114.5 \text{ g}$  (3 pts)

b) 18 respirations par minute, chaque respiration 0.04 g  $\Rightarrow 18 \times 0.04 = 0.72 \text{ g/min}$

temps =  $114.5 \text{ [g]} / 0.72 \text{ [g/min]} = 159 \text{ minutes}$  (3 pts)

**Solution 3 :**

a)  $Gr \times Pr = (g \cdot \beta \cdot D^3 \Delta T / \nu^2) \cdot (Pr) = 9.81 \times 0.0033 \times (0.3)^3 \times 5 / (1.57 \times 10^{-5})^2 \times 0.73 = 1.29 \times 10^7$

Table convection naturelle  $\rightarrow Nu_D = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 \times (Ra)^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$

$Nu_D = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 \times (1.29 \times 10^7)^{0.166}}{[1 + (0.559/0.73)^{0.563}]^{0.296}} \right\}^2 = 30.01$

$\Rightarrow h = Nu \times k / D = 30.01 \times 0.0234 / 0.3 = 2.34 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  (2 pts)

b)  $Q = h \times A \times \Delta T = 2.34 \times \pi \times 0.3 \times 1.7 \times 5 = 18.74 \text{ W}$  (2 pts)

c)  $b = 50 h / (\rho \cdot C \cdot D) = 50 \times 2.34 / (996 \times 4178 \times 0.3) = 9.37 \times 10^{-5}$

$[T(t) - T_{air}] / (T_i - T_{air}) = e^{-bt} \Rightarrow t = -\frac{\ln\{[T(t) - T_{air}] / (T_i - T_{air})\}}{b} = -\frac{\ln\{(25-20) / (37-20)\}}{9.37 \times 10^{-5}} = 13060 \text{ [s]}$

$\Rightarrow t = 13060 / 3600 \sim 3.63 \text{ heure}$

$\Rightarrow \text{heure de la mort} = 5 - 3.63 = 1.37 = 1\text{h}22 \text{ du matin}$  (2 pts)

d) Lorsque la résistance de conduction est très inférieur à la résistance de convection. (2 pts)