Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

Bac 2022 Métropole (jour 1) **Correction © https://labolycee.org**

Spécialité physique chimie

Exercice B – REFROIDISSEMENT D'UN FER À CHEVAL (5 points)

MOTS-CLÉS : premier principe de la thermodynamique, loi de Newton de la thermique

1. Chauffage du fer

Q1. Par définition de la masse volumique : $\rho_{Fer} = \dfrac{m_{Fer}}{V_{Fer}} \Leftrightarrow m_{Fer} = \rho_{Fer}.V_{Fer}$

m_{Fer} = 7,87 g.cm^{-3} × 104 cm^3 = 818 g

```
7.87*104
                                818.48
```

Q2. $\Delta U = m_{Fer}.c_{Fer}.\Delta\theta$

$\Delta U = 818{,}48\times10^{-3}$ kg $\times$ 440 J.kg^{-1}.K^{-1} $\times$ (900 − 15) K $= 3{,}19\times10^{5}$ J = 319 kJ

```
818.48E-3*440*(900-15)
                          3.18716112E5
```

Remarque *: une différence de température en °C est égale à la même différence de température en K*

Q3. Au niveau microscopique, l'augmentation de l'énergie interne du fer à cheval correspond à une augmentation de l'énergie cinétique microscopique des atomes de fer (agitation thermique).

2. Refroidissement du fer

2.1. Refroidissement à l'air libre

Q4. Considérons que le système {fer à cheval} est au repos alors son énergie mécanique ne varie pas ; le 1er principe de la thermodynamique donne $\Delta U = W + Q$

On va considérer que le système n'échange pas de travail avec l'extérieur malgré les coups de marteaux du maréchal-ferrant…, ainsi $W = 0$ et donc $\Delta U = Q$.

Donc $Q = \Delta U = m_{fer}.c_{fer}.\Delta\theta$ avec $\Delta\theta = \theta(t+\Delta t) - \theta(t)$

Par définition du flux thermique : $\Phi = \dfrac{Q}{\Delta t} = m_{fer}.c_{fer}.\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$

La loi de Newton dans l'air donne : $\Phi = h_{air}.S.(\theta_{EXT} - \theta)$

En égalant les deux expressions de Φ : $m_{fer}.c_{fer}.\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = h_{air}.S.(\theta_{EXT} - \theta)$

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{h_{air}.S}{m_{fer}.c_{fer}}.(\theta_{EXT} - \theta)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{h_{air}.S}{m_{fer}.c_{fer}}.\theta_{EXT} - \frac{h_{air}.S}{m_{fer}.c_{fer}}.\theta$$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + \frac{h_{air}.S}{m_{fer}.c_{fer}}.\theta = \frac{h_{air}.S}{m_{fer}.c_{fer}}.\theta_{EXT}$$

En faisant tendre Δt vers 0, et avec $\tau = \dfrac{m_{fer}.c_{fer}}{h_{air}.S}$ on obtient $\Leftrightarrow \dfrac{d\theta}{dt} + \dfrac{\theta}{\tau} = \dfrac{\theta_{EXT}}{\tau}$

Q5. Vérifions que $\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{EXT}).e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{EXT}$ est solution de l'équation différentielle précédente.

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d\left((\theta_0 - \theta_{EXT}).e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{EXT}\right)}{dt} = (\theta_0 - \theta_{EXT}).\left(-\frac{1}{\tau}\right).e^{-\frac{t}{\tau}} + 0$$

Injectons les expressions de θ et $\frac{d\theta}{dt}$ dans l'équation différentielle $\frac{d\theta}{dt}+\frac{\theta}{\tau}=\frac{\theta_{EXT}}{\tau}$:

$$(\theta_0-\theta_{EXT}).\left(-\frac{1}{\tau}\right).e^{-\frac{t}{\tau}}+\frac{1}{\tau}.\left[(\theta_0-\theta_{EXT}).e^{-\frac{t}{\tau}}+\theta_{EXT}\right]=\frac{\theta_{EXT}}{\tau}$$

$$\Leftrightarrow (\theta_0-\theta_{EXT}).\left(-\frac{1}{\tau}\right).e^{-\frac{t}{\tau}}+\frac{1}{\tau}.(\theta_0-\theta_{EXT}).e^{-\frac{t}{\tau}}+\frac{\theta_{EXT}}{\tau}=\frac{\theta_{EXT}}{\tau}$$

$$\Leftrightarrow (\theta_0-\theta_{EXT}).\left(-\frac{1}{\tau}\right).e^{-\frac{t}{\tau}}+\frac{1}{\tau}.(\theta_0-\theta_{EXT}).e^{-\frac{t}{\tau}}=0$$

$$\Leftrightarrow (\theta_0-\theta_{EXT}).\left(-\frac{1}{\tau}+\frac{1}{\tau}\right).e^{-\frac{t}{\tau}}=0$$

$\Leftrightarrow (\theta_0-\theta_{EXT})\times 0\times e^{-\frac{t}{\tau}}=0$ Cette relation est vraie quel que soit *t* donc $\theta(t)=(\theta_0-\theta_{EXT})\times e^{-\frac{t}{\tau}}+\theta_{EXT}$ est bien solution de l'équation différentielle précédente.

Autre méthode :

On écrit l'équation différentielle $\frac{d\theta}{dt}+\frac{\theta}{\tau}=\frac{\theta_{EXT}}{\tau}$ sous la forme *y'* = *a*.*y* + *b* qui admet des solutions de la forme $y = K.e^{a.x} - \frac{b}{a}$:

$$\frac{d\theta}{dt}=-\frac{\theta}{\tau}+\frac{\theta_{EXT}}{\tau}$$

Par analogie, $a = -\frac{1}{\tau}$ et $b = \frac{\theta_{EXT}}{\tau}$

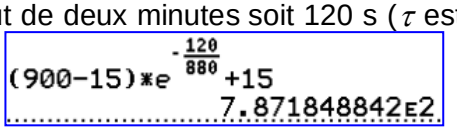
donc $-\frac{b}{a}=-\frac{\frac{\theta_{EXT}}{\tau}}{-\frac{1}{\tau}}=\theta_{EXT}$

ainsi les solutions sont de la forme $\theta(t)=K.e^{-\frac{t}{\tau}}+\theta_{EXT}$.

En tenant compte des conditions initiales, on peut trouver l'unique solution : $\theta(t=0)=\theta_0$

$\theta_0=K.e^0+\theta_{EXT}=K+\theta_{EXT}\Leftrightarrow K=\theta_0-\theta_{EXT}$ donc $\theta(t)=(\theta_0-\theta_{EXT}).e^{-\frac{t}{\tau}}+\theta_{EXT}$

Q6. D'après l'énoncé, le maréchal-ferrant pose le fer à cheval au bout de deux minutes soit 120 s (τ est donnée en s) : $\theta(t=120s)=(900-15)\times e^{-\frac{120}{880}}+15=787°C$



Le fer est donc encore très chaud quand il est posé sur le sabot ; on comprend bien pourquoi cela brûle la corne.

2.2. Refroidissement dans l'eau avant la pose.

Q7. En adaptant le modèle dans l'eau froide : $\theta(t) = \left(\theta_0 - \theta_{EXT}\right) \times e^{-\frac{t}{\tau_{eau}}} + \theta_{EXT}$ avec θ_0 = 600°C et

$$\tau_{eau} = \frac{m_{fer}.c_{fer}}{h_{eau}.S}$$

$$\tau_{eau} = \frac{818 \times 10^{-3}\ \text{kg} \times 440\ \text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}}{360\ \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \times 293 \times 10^{-4}\ \text{m}^2} = 34{,}1\ \text{s}$$ *cohérent car très inférieure à 880 s obtenue dans l'air*

Il faut donc trouver t_f qui vérifie : $\theta_{finale} = \left(\theta_0 - \theta_{EXT}\right) \times e^{-\frac{t_f}{\tau_{eau}}} + \theta_{EXT}$

$$\theta_{finale} - \theta_{EXT} = \left(\theta_0 - \theta_{EXT}\right).e^{-\frac{t_f}{\tau_{eau}}}$$

$$e^{-\frac{t_f}{\tau_{eau}}} = \frac{\theta_{finale} - \theta_{EXT}}{\theta_0 - \theta_{EXT}}$$

$$-\frac{t_f}{\tau_{eau}} = \ln\left(\frac{\theta_{finale} - \theta_{EXT}}{\theta_0 - \theta_{EXT}}\right)$$

$$t_f = -\tau_{eau}.\ln\left(\frac{\theta_{finale} - \theta_{EXT}}{\theta_0 - \theta_{EXT}}\right)$$

Finalement : $t_f = -34{,}1 \times \ln\left(\frac{40 - 15}{600 - 15}\right) = 108\ \text{s}$

Q8. On peut imaginer que si seulement 20 secondes suffisent, c'est que le modèle choisi n'est pas adapté.

Les échanges entre le fer et l'eau n'obéissent probablement pas à la loi de Newton :

- les échanges entre le fer et l'eau ne sont pas principalement conducto-convectifs car le fer est très chaud et il perd de l'énergie par rayonnement ;
- la température de l'eau n'est pas constante alors qu'elle doit jouer le rôle de thermostat ;
- l'eau change d'état (ce qui demande beaucoup d'énergie).

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.