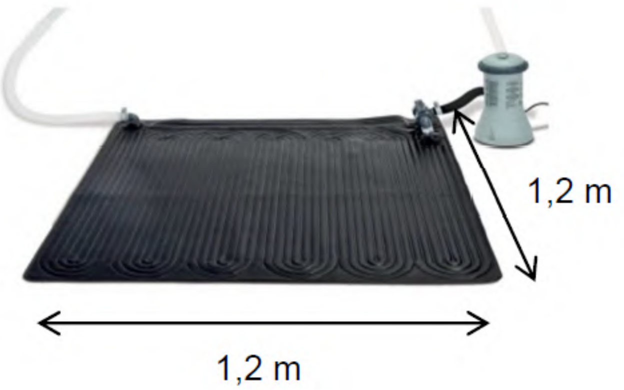
Exercice 1 : Solarisation d'une piscine hors sol *Bac 2022 Nouvelle Calédonie*

Un particulier désire élever de quelques degrés la température de sa petite piscine hors sol à l'aide d'un dispositif simple, peu coûteux et écologique. Dans un guide de piscines, il trouve la documentation suivante :

« Le tapis solaire est un moyen écologique et économique de chauffer sa piscine. Le tapis solaire se compose de tuyaux souples en PVC de couleur noire assemblés.

Le principe est simple : les tuyaux emmagasinent l'énergie provenant des rayons du soleil. L'eau de la piscine est aspirée via une pompe et elle passe par les tuyaux où elle est chauffée. Elle repart ensuite dans le bassin. »



Le tapis solaire est doté de connecteurs qui permettent de relier entre eux jusqu'à 6 tapis en série, en fonction du volume d'eau de la piscine à chauffer.

Volume V d'eau dans la piscine en m^3	$0,9 \leq V \leq 5$	$5 \leq V \leq 8$	$8 \leq V \leq 12$	$12 \leq V \leq 16$	$16 \leq V \leq 20$	$20 \leq V \leq 25$
Nombre de tapis recommandé	1	2	3	4	5	6

Un tapis est un carré de 1,2 m de côté.

Données :

· Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1000\ \text{kg·m}^{-3}$;

· Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4180\ \text{J·kg}^{-1}\text{·K}^{-1}$;

· Relation liant la température absolue T en kelvin (K) et la température θ en degré Celsius (°C) : $T(K) = \theta(°C) + 273,15$

· Le rendement η d'un capteur solaire est défini par le rapport de la puissance utile fournie par le capteur sur la puissance thermique incidente du rayonnement solaire arrivant sur la surface du capteur, c'est-à-dire $\eta = \frac{P_u}{P_i}$ et le rendement d'un tapis solaire a pour valeur $\eta = 0,21$;

· 1 kWh = $3,6 \times 10^6$ J ;

· Coût d'un kWh : 0,16 euro ;

· Les caractéristiques de la piscine sont les suivantes :

- Hauteur d'eau dans la piscine $h = 1,3$ m ;
- Surface du bassin de la piscine $S = 8,0\ \text{m}^2$.

Pendant le jour, les rayons du soleil parviennent à la surface de l'eau qui se réchauffe. On admet que l'eau de la piscine reçoit, au cours de la journée, une puissance thermique surfacique moyenne $P_{S1} = 170\ \text{W·m}^{-2}$ pendant une durée de 12 h.

Partie A : Bilan énergétique moyen sur une journée en l'absence de tapis solaires

A.1. Montrer que la valeur du transfert thermique Q_1 reçu par l'eau de la piscine pendant ces 12 h est proche de 6×10^7 J.

A.2. Énoncer le premier principe de la thermodynamique.

A.3. À l'aide de ce principe, déterminer la valeur de l'augmentation $\Delta\theta_1$ de la température de l'eau de la piscine.

A.4. En fin de journée, l'eau de la piscine a une température qui se situe autour de 24 °C.

Pendant la nuit, on considère que la température de l'air ambiant chute autour de 15 °C.

Justifier que l'eau de piscine va se refroidir au cours de la nuit.

A.5. Proposer une solution simple pour éviter les déperditions thermiques.

Partie B : Chauffage de la piscine à l'aide de tapis solaires

Pour élever de quelques degrés la température de l'eau de la piscine à un faible coût, le particulier décide de l'équiper de tapis solaires qu'il raccorde à la pompe lui permettant de filtrer l'eau.

B.1. Identifier le mode de transfert thermique qui explique :

- que le matériau des tapis se réchauffe ;

- que l'eau qui circule dans les tapis se réchauffe.

B.2. Déterminer la valeur de la puissance thermique incidente P_i du rayonnement solaire qui arrive sur un seul tapis.

B.3. Déterminer la valeur de la puissance thermique P_u fournie par ce tapis à l'eau.

B.4. On suppose que la saison dure 3 mois à raison de 12 h de chauffage solaire par jour.

Sachant qu'un tapis coûte 20 euros, indiquer si le coût d'investissement pour l'achat des tapis recommandés pour réchauffer la piscine sera amorti en fin de saison si on le compare au coût de la consommation d'un chauffage électrique.

Le candidat est invité à prendre des initiatives ; toute démarche même incomplète sera valorisée.

<u>Exercice 2</u> : refroidissement d'un fer à cheval *Métropole 2022*

Le maréchal-ferrant est un artisan spécialisé dans le ferrage des chevaux ; il pose un fer sous chaque sabot du cheval afin de les protéger.

Un fer à cheval doit être parfaitement adapté à la morphologie du sabot du cheval pour que celui-ci ne se blesse pas. Cela nécessite un ensemble d'opérations réalisées lors de la pose du fer par le maréchal-ferrant : le fer est chauffé à une température d'environ 900 °C dans une forge pour être malléable. À l'aide d'un marteau, il est ensuite déformé pour s'ajuster à la forme du sabot.

Données :

- température du fer à la sortie de la forge : $\theta_0 = 900$ °C ;
- volume du fer à cheval : $V_{FER} = 104$ cm^3 ;
- masse volumique du fer, supposée indépendante de la température : $\rho_{FER} = 7,87$ g·cm^{-3} ;
- surface extérieure du fer à cheval : $S = 293$ cm^2 ;
- température ambiante extérieure : $\theta_{Ext} = 15$ °C ;
- capacité thermique massique du fer supposée indépendante de la température : $c_{Fer} = 440$ J·kg^{-1}·K^{-1} ;
- loi de Newton donnant l'expression du flux thermique reçu par le système {fer à cheval}, de température θ en provenance de l'air extérieur, de température θ_{Ext} : $\Phi = h \cdot S \cdot (\theta_{Ext} - \theta)$ avec h le coefficient de transfert thermique surfacique et S la surface d'échange :
  - dans l'air : $h_{air} = 14$ W·m^{-2}·K^{-1} ;
  - dans l'eau froide : $h_{eau} = 360$ W·m^{-2}·K^{-1}.

I. Chauffage du fer

Lors du chauffage du fer à cheval pour le rendre plus malléable, sa température passe de la température ambiante $\theta_{Ext} = 15$ °C à $\theta_0 = 900$ °C.

Q1. Déterminer la valeur de la masse m_{Fer} du fer à cheval.

Q2. Calculer la variation d'énergie interne ΔU du fer à cheval lors de cette étape.

Q3. Interpréter au niveau microscopique la variation d'énergie interne ΔU du fer à cheval.

II. Refroidissement du fer

Lorsque le fer est à la température souhaitée de 900 °C, le maréchal-ferrant le sort de la forge et le façonne à l'aide d'un marteau pendant une minute environ. Il s'installe ensuite près du cheval et il s'écoule à nouveau environ une minute.

Le fer, encore chaud, est alors posé quelques secondes sur la face inférieure du sabot, ce qui est sans douleur pour l'animal, mais brûle la corne en laissant une trace. Cela permet au maréchal-ferrant de juger si la forme est satisfaisante. Si c'est le cas, il refroidit rapidement le fer en le trempant dans l'eau puis le fixe définitivement sur le sabot à l'aide de clous.

II.1) Refroidissement à l'air libre

On considère que les transferts thermiques entre le fer à cheval et le milieu extérieur suivent la loi de Newton. Le système étudié est le fer à cheval.

Q4. Le maréchal-ferrant martèle le fer à cheval dans l'air. Appliquer le premier principe de la thermodynamique pour le système étudié entre les instants t et t + Δt ; la durée Δt étant supposée faible devant une durée caractéristique d'évolution de la température et la température variant de θ(t) à θ(t + Δt).

En déduire que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température du fer à cheval peut s'écrire sous la forme : $\frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta}{\tau} = \frac{\theta_{Ext}}{\tau}$ avec $\tau = \frac{m_{Fer} \cdot c_{Fer}}{h_{air} \cdot S}$

Dans ces conditions τ = 880 s.

L'équation différentielle précédente admet pour solution la fonction :

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{Ext}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{Ext}$$

Q5. Vérifier que la fonction proposée θ(t) est bien solution de l'équation différentielle précédente.

Q6. Calculer la valeur de la température du fer au moment où le maréchal-ferrant le pose sur la face inférieure du sabot du cheval. Commenter.

II.2) Refroidissement dans l'eau avant la pose.

Pour accélérer le refroidissement du fer afin de le poser rapidement sur le sabot, le maréchal-ferrant plonge le fer encore chaud à la température de 600 °C dans un récipient contenant de l'eau à température ambiante de 15 °C que l'on considère comme constante.

Q7. En adaptant la solution obtenue dans le cadre du modèle précédent, estimer la valeur de la durée nécessaire pour que le fer soit refroidi à une température θ_{finale} = 40 °C à laquelle l'artisan pourra poser le fer à l'aide de clous sur le sabot du cheval.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Q8. Dans la réalité, 20 secondes suffisent pour refroidir le fer dans de l'eau à 15 °C. Commenter.