

## EXERCICE 1. LA PHYSIQUE DE LA PLONGÉE (10 points)

## 1. Équilibre dynamique du plongeur

**Q1. Identifier les deux forces modélisant les actions mécaniques exercées sur le système {plongeur + équipement} en équilibre.**

Dans le référentiel terrestre, le système subit la force poids  $\vec{P}$  et la poussée d'Archimède  $\vec{P}_A$ .

**Q2. À l'aide de la deuxième loi de Newton, représenter, sans souci d'échelle, les forces exercées sur le système sachant qu'il est en équilibre.**

D'après la deuxième loi de Newton,  $\Sigma \vec{F}_{ext.} = m \cdot \vec{a}$

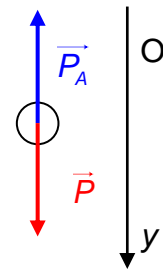
$$\vec{P} + \vec{P}_A = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{P} + \vec{P}_A = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Le système est à l'équilibre donc immobile ainsi  $\vec{v} = \vec{Cte}$  ;

$$\vec{P} + \vec{P}_A = 0.$$

$$\vec{P} = -\vec{P}_A \text{ donc } P = P_A.$$



Lorsque le plongeur inspire, le volume de ses poumons augmente.

**Q3. Expliquer les conséquences de cette inspiration sur le mouvement du plongeur initialement immobile en justifiant, notamment, la direction et le sens du vecteur accélération.**

$$\vec{P} + \vec{P}_A = m \cdot \vec{a}$$

Par projection suivant un axe Oy vertical orienté vers le BAS

$$P_y + P_{Ay} = m \cdot a_y$$

$$P - P_A = m \cdot a_y$$

La norme de la poussée d'Archimède a pour expression  $P_A = \rho \cdot V \cdot g$  où  $g$  et  $\rho$  sont constantes. En inspirant le plongeur augmente son volume  $V$  ainsi la poussée d'Archimède devient plus forte.

$$\text{Ainsi } P_A > P,$$

$$m \cdot a_y < 0$$

donc  $a_y < 0$  le vecteur accélération est orienté vers le haut et il est vertical.

## 2. Durée de la plongée

**Q4. Montrer que la quantité de matière initiale d'air comprimé contenue dans les bouteilles de plongée à la pression de 230 bar et à la température de 283 K vaut  $n = 293$  mol.**

D'après la loi des gaz parfaits,  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ .

$$\text{Donc } n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}, \text{ avec } V \text{ en m}^3.$$

$$n = \frac{230 \times 1 \times 10^5 \times 30 \times 10^{-3}}{8,31 \times 283} = 293 \text{ mol}$$

230E5*30E-3
8.31*283
2.934010282E2

**Q5. Déterminer graphiquement la valeur de la pression de l'eau à une profondeur de 35 m.**

On lit  $P_{eau} = 4,5$  bar.

Un détendeur permet de diminuer la pression de l'air en sortie des bouteilles. Ainsi, la pression de l'air respiré par le plongeur est égale à la pression de l'eau à la profondeur à laquelle il évolue. Dans ces conditions le plongeur consomme pour sa respiration 20,0 L d'air par minute. Le plongeur prévoit d'utiliser la moitié de l'air à sa disposition pour son exploration à 35 m et l'autre moitié pour la descente et la remontée.

**Q6. Estimer la valeur de la durée pendant laquelle le plongeur pourra effectuer son exploration à une profondeur de 35 m.**

Grâce au détendeur, on a  $P_{eau} = P_{air}$ .

Le plongeur utilise la moitié de l'air à sa disposition, donc  $n = 293/2 = 146,7$  mol (résultat intermédiaire non arrondi).

Déterminons le volume qui correspond à cette quantité de matière.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P}$$

$$V = \frac{\frac{293}{2} \times 8,31 \times 283}{4,5 \times 10^5} = 0,77 \text{ m}^3 = 7,7 \times 10^2 \text{ L}$$

Le plongeur consomme 20,0 L par minute.

La durée d'exploration est donc de  $\frac{7,7 \times 10^2}{20,0} = 38$  min

### 3. Intérêt de la combinaison

$$Q = \underbrace{P_m \times \Delta t}_{\textcircled{1}} + \underbrace{\frac{T_{eau} - T(t)}{R_{eq}} \times \Delta t}_{\textcircled{2}}$$

**Q7. Indiquer quels phénomènes correspondent aux transferts thermiques associés respectivement aux termes ① et ②.**

Le terme ① correspond à l'énergie fournie au corps par son métabolisme.

Le terme ② correspond au transfert thermique entre le corps et l'eau.

**Q8. Pendant cette durée  $\Delta t$ , la température du plongeur varie de  $\Delta T$ . Exprimer la variation d'énergie interne  $\Delta U$  du plongeur en fonction de  $m_p$ ,  $c_h$  et  $\Delta T$ .**

$$\Delta U = m_p \cdot c_h \cdot \Delta T.$$

**Q9. À l'aide du premier principe de la thermodynamique, déduire que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température  $T(t)$  du plongeur peut s'écrire sous la**

**forme :**  $\tau \cdot \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = T_f$  **avec**  $\tau = m_p \cdot c_h \cdot R_{eq}$  **et**  $T_f = P_m \cdot R_{eq} + T_{eau}$ .

ATTENTION CETTE PARTIE N'EST PLUS AU PROGRAMME DES ÉCRITS DE MARS DEPUIS LA SESSION 2023.

D'après le premier principe de la thermodynamique, Le système étant au repos,  $\Delta U = W + Q$ .

Le système n'échange pas de travail avec le milieu extérieur donc  $\Delta U = Q$ .

$$m_p \cdot c_h \cdot \Delta T = P_m \cdot \Delta t + \frac{T_{eau} - T(t)}{R_{eq}} \cdot \Delta t$$

$$m_p \cdot c_h \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = P_m + \frac{T_{eau} - T(t)}{R_{eq}}$$

$$m_p \cdot c_h \cdot R_{eq} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = P_m \cdot R_{eq} + T_{eau} - T(t)$$

$$m_p \cdot c_h \cdot R_{eq} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} + T(t) = P_m \cdot R_{eq} + T_{eau}$$

Si  $\Delta t \rightarrow 0$  alors on obtient  $m_p \cdot c_h \cdot R_{eq} \cdot \frac{dT}{dt} + T(t) = P_m \cdot R_{eq} + T_{eau}$ ,

avec  $\tau = m_p \cdot c_h \cdot R_{eq}$  et  $T_f = P_m \cdot R_{eq} + T_{eau}$  on retrouve l'équation différentielle proposée

$$\tau \cdot \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = T_f$$

**Q10. Préciser la signification physique du terme  $T_f$ .**

Lorsque la température du système atteint sa valeur finale et constante alors  $\frac{dT(t)}{dt} = 0$

et  $T(t) = T_f$ .

$T_f$  est la température finale du système.

**Q11. Parmi les deux représentations de la figure 2, choisir, en justifiant la réponse, celle qui correspond à l'évolution de la température du plongeur avec sa combinaison et sans sa combinaison. Vérifier la cohérence de votre choix avec les expressions des grandeurs  $T_f$  et  $\tau$  données dans la question 9.**

On connaît la valeur de  $R_{eq}$  uniquement pour le plongeur avec combinaison.

$$T_f = P_m \cdot R_{eq} + T_{eau}$$

$$T_f = 200 \times 5,0 \times 10^{-2} + 283 = 293 \text{ K}$$

Cette valeur correspond à la courbe 2.

La courbe 2 correspond à l'évolution de la température avec combinaison.

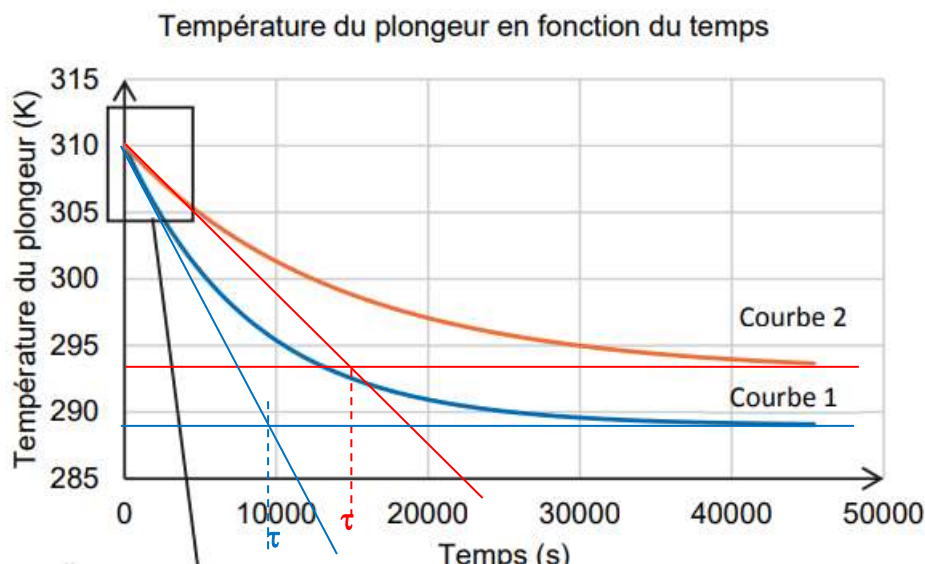
$$\tau = m_p \cdot c_h \cdot R_{eq}$$

$$\tau = 80 \times 3,5 \times 10^3 \times 5,0 \times 10^{-2} = 1,4 \times 10^4 \text{ s}$$

À la date  $t = \tau$ , l'asymptote horizontale  $T = T_f$  coupe la tangente, à la date  $t = 0$ , à la courbe représentative de  $T$ .

On retrouve graphiquement environ la bonne valeur de  $\tau$  avec la courbe 2.

La courbe 1 donne une valeur de  $\tau$  trop faible.



**Le plongeur prévoit une sortie d'une durée totale de 60 minutes.**

**Q12. Déterminer la durée au bout de laquelle le plongeur muni de sa combinaison risquerait, dans le cadre de ce modèle, l'hypothermie. Commenter le résultat.**

Un homme est en hypothermie légère lorsque la valeur de la température intérieure de son corps est inférieure à 35 °C, soit inférieure à  $35 + 273 = 308 \text{ K}$ .

Utilisons l'agrandissement de la courbe 2, il montre que la température de 308 K est atteinte entre 1500 et 2000 s, donc bien avant 3600 s.

Le plongeur ne doit pas rester 60 minutes à cette profondeur, il risque une hypothermie.