

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Physique-Chimie et Mathématiques

Durée de l'épreuve : **3 heures**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

PHYSIQUE-CHIMIE 14/20 points
MATHÉMATIQUES 6/20 points

EXERCICE 1 (5 points) (physique-chimie et mathématiques)

Transferts thermiques dans une glacière

On souhaite savoir combien de temps une boisson peut rester au frais dans une glacière. On considère que la boisson reste fraîche tant que sa température est inférieure à 17°C.

Partie 1

On considère une glacière réfrigérante comprenant un dispositif de refroidissement de ce qu'elle contient. La paroi de la glacière est composée de deux couches de polypropylène (PP) d'épaisseur $e_{PP} = 0,25$ cm et d'une couche de mousse de polyuréthane (PU) d'épaisseur $e_{PU} = 4,5$ cm.

On donne les conductivités thermiques des matériaux :

- Polypropylène (PP) : $\lambda_{PP} = 0,20 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.
- Mousse polyuréthane (PU) : $\lambda_{PU} = 0,025 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

On rappelle que la résistance thermique surfacique r_{th} d'une paroi constituée d'un matériau unique est donnée par la relation :

$$r_{th} = \frac{e}{\lambda}$$

où e est l'épaisseur du matériau (en m) et λ sa conductivité thermique (en $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$).

La résistance thermique R_{th} d'une paroi de surface S est donnée par la relation :

$$R_{th} = \frac{r_{th}}{S}$$

Q1. Calculer la valeur de la résistance thermique surfacique de la couche de mousse de polyuréthane r_{PU} .

Q2. Montrer que la résistance thermique surfacique r_{th} de la paroi de la glacière est voisine de $1,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Q3. La surface totale S des parois de la glacière vaut $S = 1,2 \text{ m}^2$. Calculer la résistance thermique R_{th} globale entre l'intérieur de la glacière et l'air extérieur.

Le dispositif de refroidissement fonctionne un moment puis est interrompu à un instant pris comme origine des temps $t = 0$. La glacière demeure fermée pendant 1 h dans une pièce dont la température ambiante est constante et vaut $\theta_{ext} = 24,2^\circ\text{C}$.

Le suivi temporel de la température à l'intérieur de la glacière a permis d'obtenir le graphique de la figure 1 ci-après.

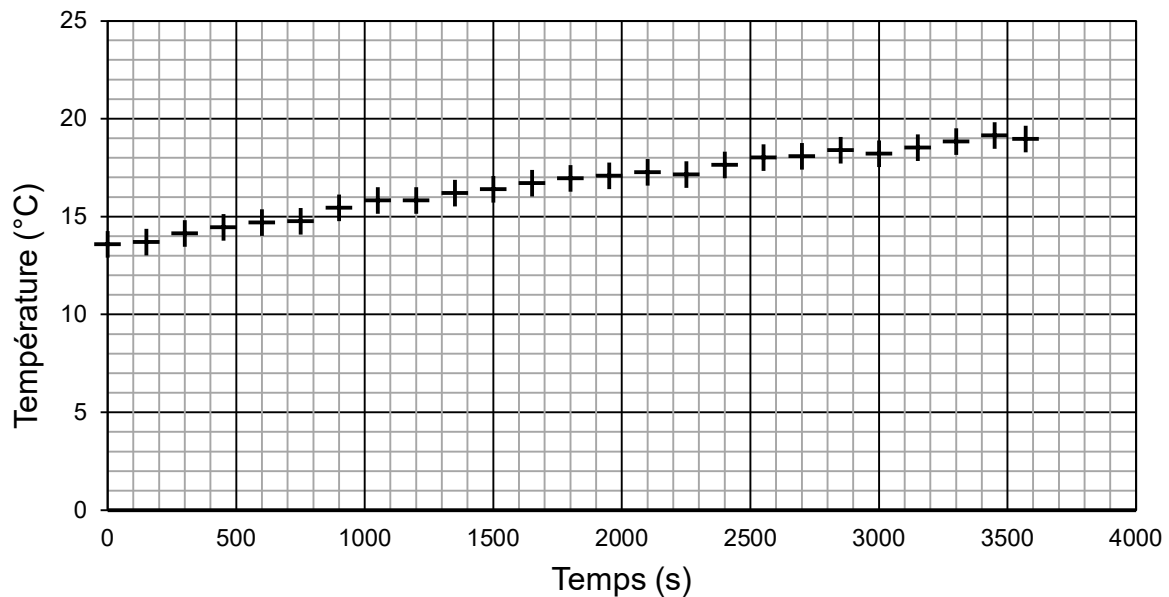


Figure 1 – Évolution de la température de la glacière au cours du temps

Données :

- capacité thermique de la glacière et de son contenu: $c_g = 3,6 \text{ kJ} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;
- on admet que la glacière et son contenu sont à la même température.

Q4. La température initiale de l'air contenu dans la glacière est $\theta_i = 13,4^\circ\text{C}$. En utilisant la figure 1, indiquer la valeur θ_f de la température de l'air contenu dans la glacière après une heure.

Q5. Calculer la valeur de la variation d'énergie interne ΔU du système formé par la glacière et son contenu entre les instants $t = 0$ et $t = 1 \text{ h}$.

Q6. Représenter une paroi latérale de la glacière et préciser le sens du transfert thermique au travers de celle-ci.

Pendant les 500 premières secondes, la température passe de $\theta_i = 13,4^\circ\text{C}$ à $\theta_{500} = 14,4^\circ\text{C}$.

Q7. Montrer que le flux thermique moyen reçu par la glacière durant les 500 premières secondes est voisin de 7,2 W.

On rappelle la relation entre le flux thermique ϕ_{th} , la résistance thermique globale R_{th} et la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur de la glacière $\theta_{ext} - \theta_{int}$:

$$\phi_{th} = \frac{\theta_{ext} - \theta_{int}}{R_{th}}$$

Q8. Montrer que la résistance thermique globale R_{th} de la paroi de la glacière mesurée par cette méthode est voisine de $1,4 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$. On admettra que pendant les 500 premières secondes, la différence $\theta_{ext} - \theta_{int}$ vaut $10,3^\circ\text{C}$.

Q9. Comparer le résultat de la question **Q8** à celui de la question **Q3** et commenter.

Partie 2

On détermine un modèle numérique à partir de l'expérience de la partie 1. On suppose que la fonction θ modélisant la température de l'air contenu dans la glacière, en degré Celsius, en fonction du temps t , en seconde, est définie sur l'intervalle $[0; +\infty[$ par :

$$\theta(t) = -10,8 e^{-\frac{t}{5040}} + 24,2.$$

Q10. Déterminer $\lim_{t \rightarrow +\infty} \theta(t)$ et analyser le résultat dans le contexte de l'exercice.

Q11. Résoudre l'inéquation $\theta(t) \geq 17$. Interpréter le résultat dans le contexte de l'exercice.

EXERCICE 2 (6 points) (physique-chimie)

Étude d'une centrale à cycle combiné

Une centrale thermique à cycle combiné, comme celle de Bouchain dans le Nord de la France, dispose de deux turbines : une turbine à gaz pour réaliser une combustion de gaz naturel et une turbine à vapeur pour valoriser l'énergie des vapeurs issues de la combustion. Le rendement d'une telle centrale peut dépasser 60%, alors que le rendement d'une centrale thermique à gaz classique se situe autour de 40%.

Source : edf.fr



On se propose dans cet exercice d'étudier les caractéristiques particulières d'une centrale à cycle combiné.

Partie 1 – Étude du fonctionnement d'une centrale thermique à gaz classique

Dans cette première partie, on considère le fonctionnement d'une centrale thermique à gaz classique.

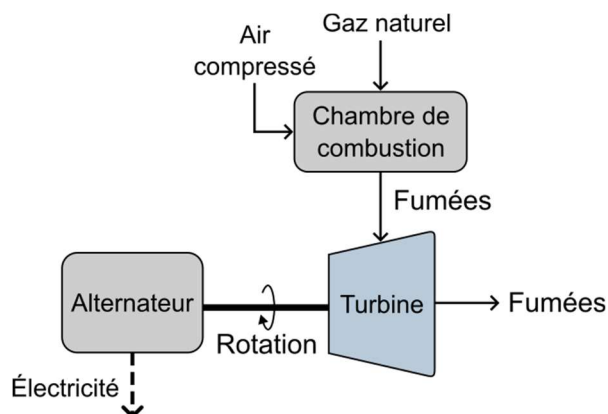


Figure 1 – Fonctionnement simplifié d'une centrale à gaz classique

L'énergie produite par la combustion du gaz naturel permet de mettre un alternateur en mouvement et de produire de l'électricité. La chaîne de conversion énergétique d'une centrale à gaz simple est représentée sur la figure 2 ci-dessous. Les valeurs des rendements de conversion énergétique sont indiquées pour la turbine à gaz et pour l'alternateur.

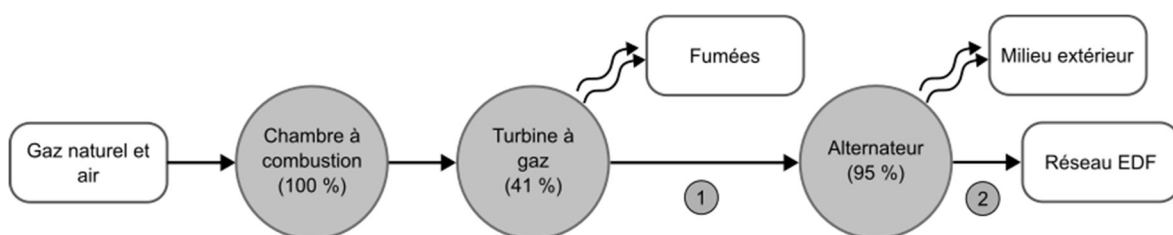


Figure 2 – Chaîne de conversion énergétique d'une centrale à gaz simple

Q1. Nommer les deux formes de transfert d'énergie mises en jeu dans la centrale à gaz simple, numérotées 1 et 2 sur la figure 2.

On s'intéresse au fonctionnement de la centrale pendant une heure, durant laquelle la centrale fournit au réseau EDF une énergie utile $E_u = 2,8 \times 10^8 \text{ Wh}$.

Données :

- on rappelle : $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$.

Q2. Calculer le rendement global de conversion énergétique de l'installation. En déduire que la valeur de l'énergie consommée E_{cons} par heure par la turbine à gaz est voisine de $2,6 \times 10^{12} \text{ J}$.

Pour simplifier l'étude, on considère que le gaz utilisé est constitué uniquement de méthane, constituant majoritaire du gaz naturel.

Données :

- formule brute du méthane : CH_4 ;
- masse molaire moléculaire du méthane : $M(\text{CH}_4) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- le pouvoir calorifique PC d'un combustible est égal à l'énergie libérée lors de la combustion d'un kilogramme de combustible. Pour le méthane $PC = 55 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Q3. Écrire l'équation-bilan de la réaction de combustion complète du méthane.

Q4. En considérant que l'intégralité de l'énergie issue de la combustion est fournie à la turbine, montrer que la masse de combustible consommée pendant une heure dans la turbine à combustion est $m_{\text{comb}} = 4,7 \times 10^4 \text{ kg}$.

Q5. Déterminer la quantité de matière de méthane consommée. En déduire que la quantité de matière de dioxyde de carbone produit vaut environ $n_{\text{CO}_2} = 2,9 \times 10^6 \text{ mol}$.

Partie 2 – Étude de l'ajout d'une turbine à vapeur

Afin d'augmenter le rendement global de la centrale thermique à gaz, on souhaite valoriser l'énergie thermique des fumées issues de la combustion. Les fumées sont utilisées pour obtenir de la vapeur d'eau par le biais d'un évaporateur. La vapeur d'eau issue de l'évaporateur entraîne une turbine à vapeur reliée à un alternateur. Elle circule ensuite dans un condenseur où elle est refroidie et condensée.

La figure 3 ci-après représente de façon simplifiée le fonctionnement d'une centrale à cycle combiné.

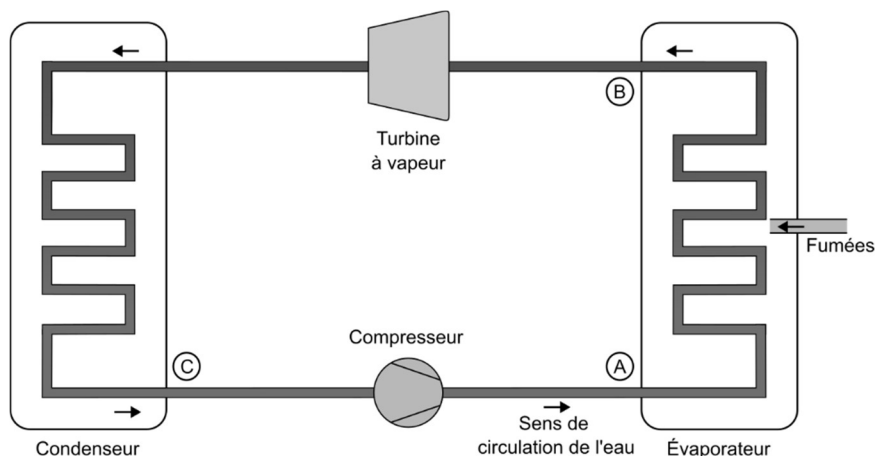


Figure 3 – Fonctionnement simplifié d'une centrale à cycle combiné

Le document 1 ci-dessous indique différentes valeurs de température et de pression de l'eau dans le circuit secondaire.

Point de mesure	Température (°C)	Pression (bar)
Entrée de l'évaporateur A	24,3	121
Sortie de l'évaporateur B	520	111
Sortie de la turbine et du condenseur C	24,1	1,03

Document 1 — Valeurs de température et de pression en différents points du circuit secondaire

Source : direns.minesparis.psl.eu

Les points correspondants aux valeurs de pression et de température indiquées dans le document 1 sont représentés sur le diagramme d'état de l'eau en figure 4 ci-après.

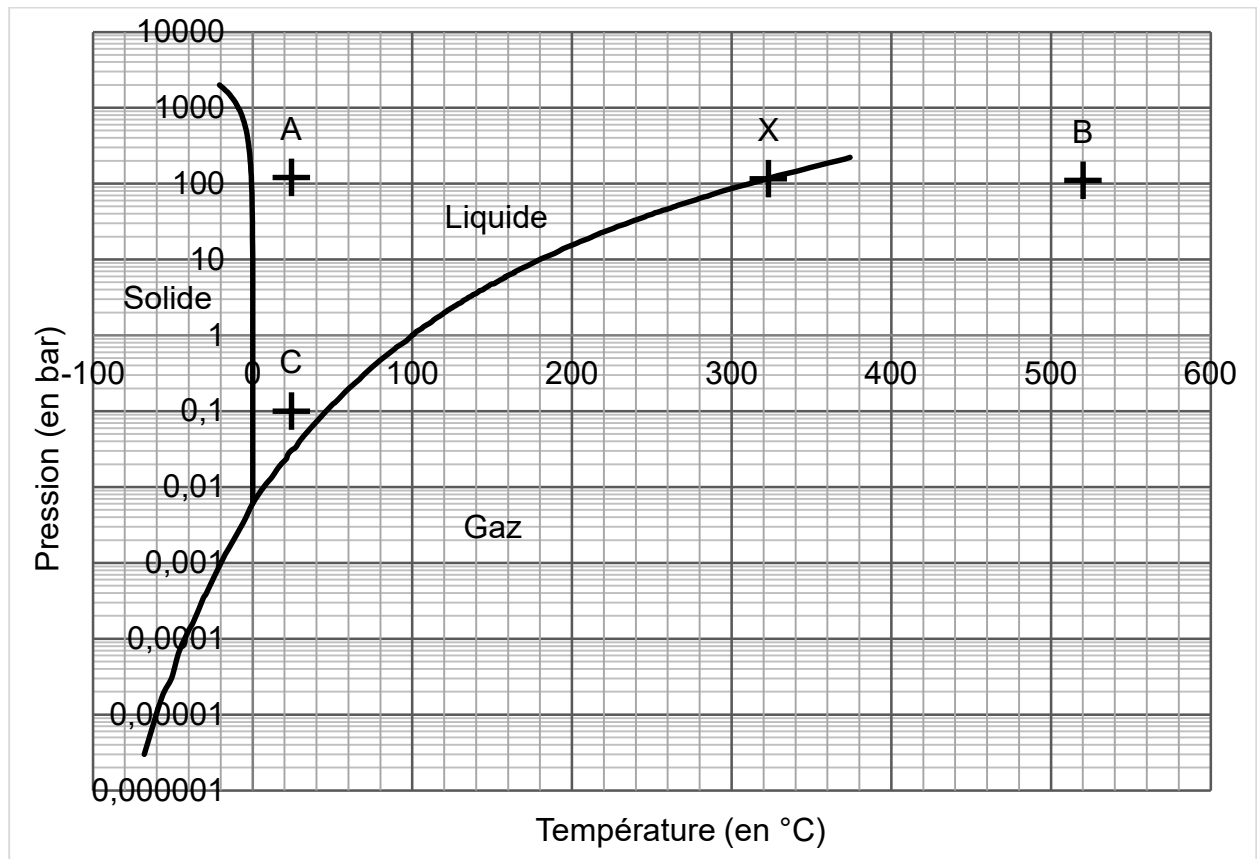


Figure 4 – Diagramme d'état de l'eau

Q6. Lors de la transition du point A au point B, la pression est constante. Préciser le nom du changement d'état qui a lieu dans l'évaporateur au point X repéré sur la figure 4 ci-dessus.

Données :

Capacité thermique massique de l'eau sous forme gazeuse	$c_g = 1850 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
Capacité thermique massique de l'eau liquide	$c_l = 4185 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
Énergie massique de vaporisation	$L_v = 2,26 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Énergie massique de fusion	$L_f = 3,33 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Énergie massique de liquéfaction	$L_l = - 2,26 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Q7. Déterminer la valeur de l'énergie reçue par une masse d'eau de 1 kg, pendant le changement d'état se produisant au point X repéré sur la figure 4 ci-dessus.

À l'entrée de l'évaporateur A, l'eau est liquide et sa température vaut 24,3°C. Dans l'évaporateur, l'eau subit une transformation que l'on peut décomposer en plusieurs étapes :

- Étape 1 : élévation de la température de l'eau liquide de 24,3°C à 320°C.
- Étape 2 : vaporisation de l'eau à température constante.
- Étape 3 : élévation de la température de la vapeur d'eau de 320 °C à 520°C, à la sortie de l'évaporateur B.

Q8. Déterminer la valeur de l'énergie reçue par une masse d'eau de 1 kg au cours de chacune des étapes de la transition du point A vers le point B. En déduire que l'énergie totale reçue par cette masse d'eau dans l'évaporateur est voisine de $3,9 \times 10^6$ J.

Grâce à la combustion et à la valorisation de l'énergie produite par la turbine à vapeur, une énergie utile de valeur $E_u = 2,8 \times 10^8$ Wh peut ainsi être fournie au réseau EDF pendant une heure en produisant une quantité de matière de CO_2 $n'_{\text{CO}_2} = 2,7 \times 10^6$ mol.

Q9. Comparer la quantité de matière de CO_2 n'_{CO_2} à celle qui a été calculée à la question **Q5**, pour une même valeur d'énergie fournie. Indiquer l'intérêt d'utiliser des centrales à cycle combiné pour produire de l'électricité.

EXERCICE 3 (4 points)

(mathématiques)

Dans cet exercice, les questions 1, 2, 3 et 4 sont indépendantes les unes des autres.

Question 1

Pour cette question, indiquer, en justifiant, la lettre correspondant à la réponse exacte.

On considère la fonction f définie sur $\mathbb{R}$ par $f(x) = (2 + 5x)e^{3x}$.

On admet que f est dérivable sur $\mathbb{R}$ et on note f' sa dérivée.

Pour tout x appartenant à $\mathbb{R}$, on a :

A	B	C	D
$f'(x) = 5e^{3x}$	$f'(x) = 15e^{3x}$	$f'(x) = (11 + 15x)e^{3x}$	$f'(x) = (7 + 5x)e^{2x}$

Question 2

On considère l'équation différentielle (E) :

$$y' = -3y + 5,$$

où y est une fonction de la variable x , définie et dérivable sur $\mathbb{R}$.

Déterminer les fonctions définies sur $\mathbb{R}$, solutions de l'équation différentielle (E).

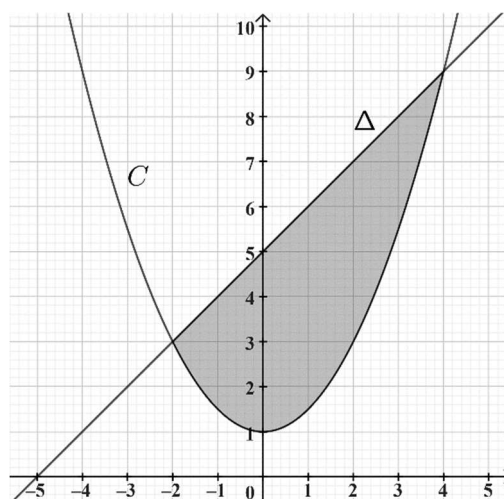
Question 3

Déterminer la forme exponentielle du nombre complexe $z = -6\sqrt{3} + 6i$.

Question 4

Les fonctions f et g définies sur $\mathbb{R}$ respectivement par $f(x) = \frac{1}{2}x^2 + 1$ et $g(x) = x + 5$ sont représentées sur le graphique ci-contre par la courbe C , courbe représentative de la fonction f et la droite Δ , courbe représentative de la fonction g .

Lire graphiquement les positions relatives des courbes représentatives C de la fonction f et Δ de la fonction g puis montrer que l'aire de la partie colorée comprise entre la courbe C et la droite Δ vaut 18 unités d'aire.



EXERCICE 4 (5 points) (physique-chimie)

L'importance des coulées en natation

Lors des Jeux Olympiques de Paris en 2024, le nageur français Léon Marchand a remporté 4 médailles d'or. Ce sont les coulées réalisées lors de ses courses qui ont marqué les esprits.

On appelle coulée la phase pendant laquelle le nageur se déplace sous l'eau après un plongeon ou un virage.

Partie 1 – Étude mécanique des coulées

Lorsqu'un nageur de masse m se déplace dans un fluide, il est soumis à plusieurs forces :

- son poids $\vec{P}$;
- la poussée d'Archimède $\vec{P}_A$ (direction : verticale, sens : du bas vers le haut) ;
- la résultante des forces de frottements ou trainée hydrodynamique $\vec{T}$;
- la résultante des forces motrices $\vec{F}_m$ exercées par l'eau sur le nageur.

La direction de la résultante des forces de frottements hydrodynamique $\vec{T}$ et celle de la résultante des forces motrices $\vec{F}_m$ sont horizontales.

Q1. Représenter sur un schéma, sans notion d'échelle, les forces auxquelles est soumis un nageur lors d'une coulée.

On suppose que le nageur effectue une coulée à profondeur constante. On admet que dans cette situation, la relation $\vec{P} + \vec{P}_A = \vec{0}$ est vérifiée.

Q2. En appliquant le principe fondamental de la dynamique, établir la relation mathématique liant les forces $\vec{T}$ et $\vec{F}_m$ lorsque le nageur réalise une coulée à profondeur et à vitesse constantes.

Lors de son titre au 200 m papillon aux championnats du monde à Fukuoka en 2023, Léon Marchand a effectué une dernière coulée de 13,88 m en 7,46 s.

Q3. Calculer la vitesse moyenne v_1 à laquelle il a effectué cette coulée.

On suppose que la coulée a été effectuée à profondeur constante et à une vitesse constante et égale à v_1 . D'autres analyses ont montré que la valeur de la trainée hydrodynamique peut s'écrire sous la forme $T = kv_1^2$, avec $k = 22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$.

Q4. Montrer que la valeur F_m de la résultante des forces motrices exercées par l'eau sur le nageur, lors de cette dernière coulée, est voisine de 76 N.

Le vecteur force $\vec{F}_m$ est de même direction et de même sens que le vecteur vitesse du nageur.

Q5. Calculer le travail W_m de la force $\vec{F}_m$ lors de cette coulée, puis sa puissance P_m .

La vitesse moyenne de nage de Léon Marchand lors du dernier 50 m de course est d'environ $v_2 = 1,64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pour parcourir les 13,88 m en nageant à la surface à cette vitesse, il aurait dû développer une puissance de l'ordre de 225 W.

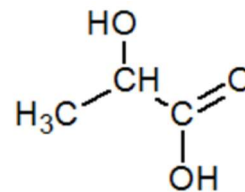
Q6. Conclure sur l'intérêt des coulées pour les nageurs de compétition.

Partie 2 – Coulées et acide lactique

Le glucose est une source d'énergie facilement métabolisable par l'organisme humain, au profit des cellules musculaires. Lors d'un effort sportif, le glucose est dégradé par l'organisme en acide pyruvique. En l'absence de dioxygène, l'acide pyruvique est à son tour dégradé en acide lactique. Ces diverses transformations chimiques permettent à l'organisme de produire l'énergie nécessaire au bon fonctionnement des muscles.

Données :

- Formule semi-développée de l'acide lactique :



- Couple acide-base de l'eau : $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$.

Q7. Justifier que l'acide lactique appartient à la famille des acides carboxyliques.

Dans la suite de l'exercice la molécule d'acide lactique est notée AH. Les ions lactates, base conjuguée de l'acide lactique sont notés A⁻.

Q8. L'acide lactique réagit avec l'eau présente dans le corps humain pour former des ions lactate. Écrire l'équation-bilan de cette réaction acido-basique.

Lors d'un effort intense, l'augmentation de la quantité d'ions $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ dans les cellules musculaires rend le sang plus acide ce qui peut provoquer une diminution de la capacité à poursuivre l'effort.

Q9. Indiquer en justifiant comment la production d'ions lactates par l'organisme peut réguler le pH musculaire en consommant une partie des ions $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ produits en excès lors d'un effort musculaire.