EXERCICE 1 commun à tous les candidats (4 points)

(physique-chimie et mathématiques).

L'étude proposée concerne un avion A320 d'environ 180 places.

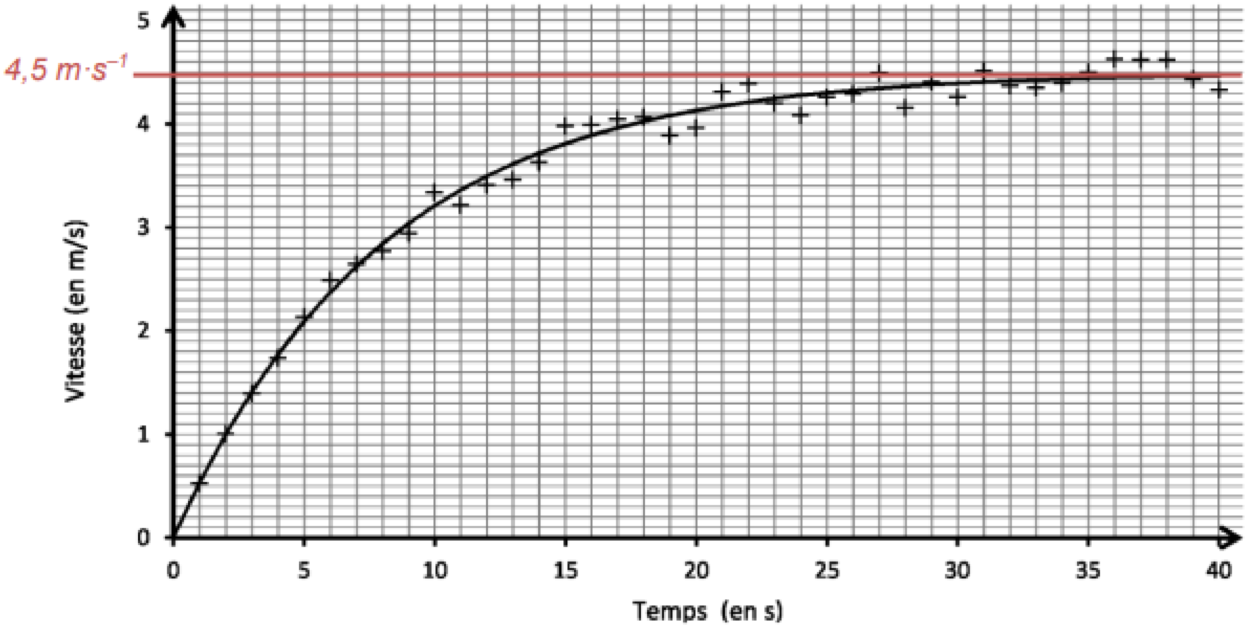
1. Exprimer en fonction de A, $\lim_{t\to\infty} f(t)$.

$\lim_{t\to\infty} f(t) = \lim_{t\to\infty} A \times (1 - e^{-0,13t})$

Or, $\lim_{t\to\infty} e^{-0,13t} = 0$

Donc $\lim_{t\to\infty} f(t) = \lim_{t\to\infty} A \times (1 - 0) = A$

2. Conjecturer la valeur de A à l'aide du graphique.



La valeur de A correspond à la limite de $f(t)$ quand t tend vers l'infini, donc à l'asymptote horizontale de la courbe ci-dessus : donc $A = 4,5\ m \cdot s^{-1}$.

3. Montrer que $v'(t) = 0,585 \times e^{-0,13t}$. En déduire l'accélération initiale de l'avion.

$v(t) = 4,5 \times (1 - e^{-0,13t}) = 4,5 - 4,5 \times e^{-0,13t}$

Donc $v'(t) = 0 - 4,5 \times -0,13 \times e^{-0,13t} = 0,585 \times e^{-0,13t}$

Or l'accélération est la dérivée de la vitesse par rapport au temps, donc $v'(t)$ est l'accélération de l'avion. L'accélération initiale est donc $v'(t=0) = 0,585 \times e^{-0,13 \times 0} = 0,585\ m \cdot s^{-2}$.

4. Préciser la direction et le sens de la force de traction $\overrightarrow{F_T}$ exercée par les moteurs électriques sur l'avion.

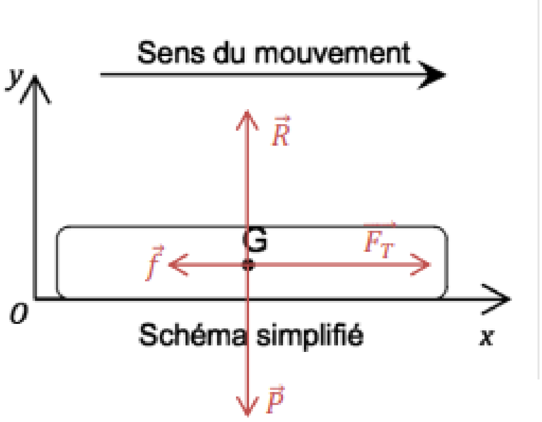
La force de traction $\overrightarrow{F_T}$ est horizontale vers la droite (dans le sens du mouvement).

4. Direction **/0,25** Sens : **/0,25**

5. Recopier le schéma simplifié sur votre copie et représenter en G, sans souci d'échelle, toutes les forces s'exerçant sur l'avion. Indiquer le nom de chacune de ces forces.

L'avion est soumis à :

- *Son poids $\vec{P}$;*
- *La réaction du sol $\vec{R}$*
- *La force de traction $\overrightarrow{F_T}$*
- *Des forces de frottements modélisées par une force $\vec{f}$*



5. Schéma : **/0,25** Noms : **/0,25**

6. On se place à l'instant $t = 0\ s$. En appliquant le principe fondamental de la dynamique, montrer que si l'on néglige les forces de frottement, on peut écrire $F_T = m \times a$.

D'après la 2^e loi de Newton appliquée à l'avion :

$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \vec{a}$, *soit :* $\vec{P} + \vec{f} + \vec{R} + \overrightarrow{F_T} = m \times \vec{a}$

En projetant sur l'axe (Ox) et en négligeant les forces de frottements, il vient : $F_T = m \times a$

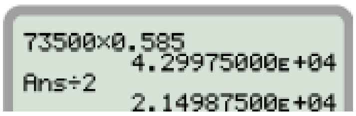
6. $\sum \vec{F} = m x \vec{a}$ **/0,25**

$\vec{P} + \vec{R} + \overrightarrow{F_T} = m x \vec{a}$ **/0,25**

7. En déduire la valeur de la force de traction exercée par chacun des moteurs électriques lors du démarrage de l'avion, sachant que l'accélération à $t = 0\ s$ est estimée à 0,585 m·s^{-2}.

En charge maximale, l'avion pèse 73500 kg, donc :

$F_T = m \times a = 73500 \times 0{,}585 = 4{,}30 \times 10^4\ N$



L'avion est équipé de 2 moteurs, donc la valeur de la force de traction exercée par chacun des moteurs électriques est de 2,15×10⁴ N.

7. A.N. **/0,25** Par moteur (/2) **/0,25**

EXERCICE 2 commun à tous les candidats (6 points)
(physique-chimie)

Le robot d'assistance à la personne Romeo

1. Déterminer le nombre d'accumulateurs à placer en série et en parallèle pour obtenir le pack batterie complet qui alimente le robot Romeo. Justifier votre réponse.

Un accumulateur a une tension nominale de 3,2 V, donc pour atteindre une tension nominale de 48 V, il faut $\frac{48}{3,2} = 15$ *accumulateurs en série.*
Un accumulateur a une capacité nominale de 1100 mA·h, donc pour atteindre une capacité nominale de 3300 mA·h, il faut mettre en parallèle $\frac{3300}{1100} = 3$ *séries de 15 accumulateurs.*

1. 15 accu en série **/0,25**
3 en dérivation **/0,25**

2. Déterminer la masse du pack batterie.

Un accumulateur pèse 38,8 g.

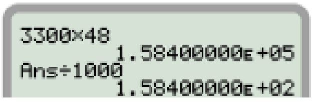
Donc un pack de 45 accumulateurs pèse $38{,}8\ g \times 45 = 1746\ g \approx 1{,}75\ kg$.

2. Résultats + unité : **/0,25**

3. Déterminer l'énergie que peut fournir le pack batterie.

$E = Q \times U = 3300\ mA \cdot h \times 48\ V$

$E = 1{,}58 \times 10^5\ mW \cdot h = 158\ W \cdot h$



3. Formule : **/0,25**
Résultats + Unité : **/0,25**

4. Justifier le choix de la technologie $LiFePO_4$ pour assurer l'autonomie énergétique du robot Romeo.

Les batteries $LiFePO_4$ sont celles qui ont l'énergie massique la plus élevée (pour une même masse, elles stockent plus d'énergie, ou pour avoir une certaine énergie, elles pèseront moins lourd).

De plus, elles ont une durée de vie plus élevée.

4. Justification : **/0,25**

5. En considérant que la valeur moyenne de l'intensité du courant débité est de 2,8 A, déterminer l'autonomie de fonctionnement du robot. Exprimer le résultat en minute. Commenter.

On a $Q = I \times \Delta t$, *donc* $\Delta t = \frac{Q}{I}$

$\Delta t = \frac{3300\ mA \cdot h}{2{,}8\ A} = \frac{3{,}3\ A \cdot h}{2{,}8\ A} = 1{,}18\ h \approx 71\ min$

Ce robot ne peut fonctionner qu'un peut plus d'une heure, c'est une autonomie un peu faible pour l'utilisation souhaitée.

5. Formule : **/0,25**
A.N.+ résultat : **/0,25**
Unité : **/0,25**

6. Écrire l'équation de la réaction modélisant la décharge de l'accumulateur.

Les demi-équations se produisant lors de la décharge sont :

$$FePO_4\ (s) + Li^+ + e^- \rightarrow LiFePO_4\ (s)$$

$$LiC_6\ (s) \rightarrow 6\ C\ (s) + Li^+ + e^-$$

Donc la réaction modélisant la décharge de l'accumulateur est :

$$FePO_4\ (s) \cancel{+ Li^+ + e^-} + LiC_6\ (s) \rightarrow LiFePO_4\ (s) + 6\ C\ (s) \cancel{+ Li^+ + e^-}$$

Soit : $FePO_4\ (s) + LiC_6\ (s) \rightarrow LiFePO_4\ (s) + 6\ C\ (s)$

6. Equation bilan **/0,5**

7. Lors de la décharge de l'accumulateur, préciser si l'on observe, à la borne négative, une réaction d'oxydation ou de réduction. Justifier votre réponse.

Lors de la décharge, à la borne négative, on observe : $LiC_6\ (s) \rightarrow 6\ C\ (s) + Li^+ + e^-$

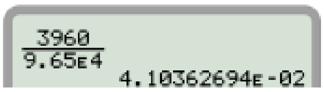
C'est une réaction de perte d'électron, donc une oxydation.

7. Oxydation **/0,25**
car perte e^- **/0,25**

8. On rappelle que la capacité nominale d'un accumulateur est de 1100 mA·h. Déterminer la quantité de matière d'électrons que doit faire circuler l'accumulateur lors de sa décharge complète.

$1\,A\cdot h\;=\;3600\,C$, donc $1100\,mA\cdot h\;=\;1{,}1\,A\cdot h\;=\;1{,}1\;\times\;3600\,C\;=\;3960\,C$

$Q = n(e^-)\times F$, donc $n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{3960\,C}{9{,}65\times10^4 C\cdot mol^{-1}} = 4{,}1\times10^{-2}\,mol.$



8. conversion en coulomb **/0,25**
A.N. + unité **/0,25**

9. En déduire la masse nécessaire de chacune des électrodes $FePO_4$ et LiC_6 présentes dans un accumulateur.

D'après la demi-équation à la borne négative, il faut une quantité de LiC_6 :

$n_{LiC_6} = n(e^-) =\; 4{,}1\times10^{-2}\,mol$

Ce qui correspond à une masse $m_{LiC_6} = n_{LiC_6}\times M_{LiC_6}$

$m_{LiC_6} = n_{LiC_6}\times(M_{Li}+6\times M_C) =\; 4{,}1\times10^{-2}\,mol\times(\,6{,}9+6\times12)g\cdot mol^{-1} = 3{,}24\,g$

De même d'après la demi-équation à la borne positive : $n_{FePO_4} = n(e^-) =\; 4{,}1\times10^{-2}\,mol$

Ce qui correspond à une masse $m_{FePO_4} = n_{FePO_4}\times M_{FePO_4}$

$m_{FePO_4} =\; n_{FePO_4}\times(M_{Fe}+M_P\;+\;4\times M_O)$

$m_{FePO_4} =\; 4{,}1\times10^{-2}\,mol\times(\,55{,}8+31+4\times16)g\cdot mol^{-1} = 6{,}19\,g$

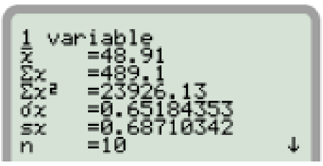
9. $nLiC_6=ne^-$ **/0,25**
m = n x M **/0,25**
A.N. + Unité **/0,25**
Même raisonnement pour l'autre **/0,25**

10. Déterminer la valeur moyenne U_{0m} des 10 mesures de la tension à vide.

$U_{om} = \frac{48{,}6\,V+48{,}4\,V+49{,}6\,V+49\,V+47{,}8\,V+50\,V+48{,}4\,V+49{,}7\,V+49\,V+48{,}6\,V}{10} = 48{,}9\,V$

10. Résultats + unité **/0,25**

11. Déterminer l'écart-type expérimental σ_{n-1} (aussi noté Sx) lié à la mesure de la tension à vide.



$\sigma_{n-1} = 0{,}687\,V$

11. Résultats : **/0,25**

12. En déduire la valeur de l'incertitude-type par une approche statistique (type A) sur la moyenne U_{0m} de la tension à vide.

$u(U_{0m}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}687\,V}{\sqrt{10}} = 0{,}217\,V \approx 0{,}22\,V$

12. A.N. + unité : **/0,25**

13. Comparer la valeur moyenne mesurée et la valeur de référence en nombre d'incertitudes-types les séparant. Conclure quant à la conformité de ce pack batterie.

Si on considère que l'incertitude type est la même, le quotient est $\frac{|U_{om}-U_{ref}|}{u(U_{om})} = \frac{|48{,}9-48{,}0|}{0{,}22} \approx 4$

Cette valeur est supérieure à 2, le pack n'est pas conforme.

13. Comparaison **/0,25**
Conclusion **/0,25**

EXERCICE 4 au choix du candidat (6 points)

(physique-chimie)

EXERCICE 4 – A : Solar Impulse 2

Mots clefs des principaux domaines abordés : combustion ; quantité de matière.

1. Donner la signification du pictogramme de sécurité entouré (document ci-dessus) ainsi que les précautions, associées à ce pictogramme, qu'il faut prendre lors de l'utilisation du kérosène.

Le pictogramme entouré signifie que le mélange est inflammable, il faut donc l'utiliser loin de toutes sources de chaleurs ou de flammes.

1. Inflammable **/0,5** Précautions **/0,5**

2. Recopier et compléter l'équation de combustion du kérosène ci-dessous.

$$2\ C_{10}H_{22}(\ell) + 31\ O_2(g) \rightarrow 20\ CO_2(g) + 22\ H_2O(g)$$

2. 31 / 22 **/0,5+0,5**

3. Calculer la quantité de matière n_k de kérosène nécessaire à ce vol de 24 h.

$$n_k = \frac{m_k}{M_k} = \frac{500\ kg}{142\ g{\cdot}mol^{-1}} = = \frac{500 \times 10^3 g}{142\ g{\cdot}mol^{-1}} = 3{,}52 \times 10^3 mol$$

3. Calcul M **/0,5** Formule : **/0,5** Résultats + Unité : **/0,25**

4. Montrer, en utilisant l'équation de la combustion, que la quantité de matière n_{CO_2} de dioxyde de carbone rejetée durant un vol de 24 h vaut 3,52 × 10⁴ mol.

D'après l'équation de combustion : $2\ C_{10}H_{22}(\ell) + 31\ O_2(g) \rightarrow 20\ CO_2(g) + 22\ H_2O(g)$

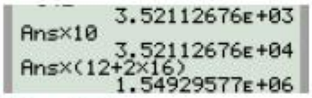
La combustion de 2 mol de kérosène produit 20 mol de dioxyde de carbone (donc 10 fois plus).

Donc la combustion de $n_k = 3{,}52 \times 10^3\ mol$ de kérosène produit $3{,}52 \times 10^4\ mol$ de dioxyde de carbone.

4. Facteur 10 : **/0,25** Résultats + Unité : **/0,25**

5. Calculer la masse m_{CO_2} de dioxyde de carbone rejetée durant ce vol de 24 h.

$$m_{CO_2} = n_{CO_2} \times M_{CO_2} = n_{CO_2} \times (M_C + 2 \times M_O)$$

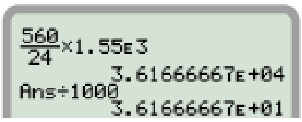


$$m_{CO_2} = 3{,}52 \times 10^4 mol \times (12{,}0 + 2 \times 16{,}0) g \cdot mol^{-1} = 1{,}55 \times 10^6 g = 1{,}55 \times 10^3 kg$$

5. Calcul M **/0,5** Formule : **/0,5** Résultats + Unité : **/0,25**

6. En déduire la masse de dioxyde de carbone qu'aurait rejetée un avion de mêmes caractéristiques réalisant un vol identique en tous points, mais consommant comme carburant du kérosène. On exprimera le résultat en nombre entier de tonnes.

D'après la réponse à a question 5, un vol de 24h aurait rejeté une masse $m_{CO_2} = 1{,}55 \times 10^3\ kg$ de CO₂.



Donc en 560 h de vol on aurait rejeté une masse $m = \frac{560}{24} \times 1{,}55 \times 10^3 kg = 3{,}61 \times 10^4 kg \approx 36\ t$ de CO₂.

6. Résultats + unité **/1**

EXERCICE 4 au choix du candidat (6 points)

(physique-chimie)

EXERCICE 4 – B : DÉGIVRAGE

Mots-clés : capacité thermique, chaleur latente, résistance

1. Déterminer la masse de glace m déposée sur l'aile de l'avion.

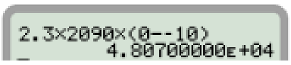
On calcule d'abord le volume de glace :

$V = S \times e = 5{,}0\ m^2 \times 0{,}5\ mm = 5{,}0\ m^2 \times 0{,}5 \times 10^{-3}\ m = 2{,}5 \times 10^{-3}\ m^3$

Soit un volume $V = 2{,}5\ L$ *de glace.*

$m = \rho_{es} \times V = 0{,}92\ kg \cdot L^{-1} \times 2{,}5\ L = 2{,}3\ kg$

2. Exprimer puis déterminer la valeur E_1 de l'énergie nécessaire pour augmenter la température de la glace de -10°C à 0°C.



$E_1 = m \times c_{es} \times (T_{fin} - T_{init})$

$E_1 = 2{,}3\ kg \times 2090\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} \times (0 - (-10))\ K = 4{,}8 \times 10^4\ J = 48\ kJ$

3. Exprimer puis déterminer la valeur E_2 de l'énergie nécessaire pour transformer à 0°C la glace en eau liquide.

$E_2 = m \times L = 2{,}3\ kg \times 333\ kJ \cdot kg^{-1} = 7{,}7 \times 10^2 kJ$

4. En déduire la valeur de l'énergie totale nécessaire à cette opération de dégivrage.

$E = E_1 + E_2 = 48\ kJ + 7{,}7 \times 10^2 kJ = 8{,}1 \times 10^2\ kJ$

5. Nommer et identifier les appareils M_1 et M_2 permettant la mesure de la tension aux bornes du conducteur ohmique de résistance R et de l'intensité du courant dans le circuit.

M_1 est l'ampèremètre permettant la mesure de l'intensité du courant.

M_2 est le voltmètre permettant la mesure de la tension aux bornes du conducteur ohmique.

6. Si la résistance globale vaut $R \approx 0{,}63\ \Omega$, déterminer les valeurs de la tension U et de l'intensité I affichées sur les deux appareils. Bien justifier.

Loi d'Ohm : $U = R \times I$ or $U = U_G = 28{,}0$ V donc $I = U / R = 28{,}0 / 0{,}63 \approx 44{,}4$ A.

7. Recopier sur votre copie et compléter la chaîne énergétique de la résistance chauffante.

8. Déterminer la valeur de la puissance de la batterie nécessaire afin d'alimenter la totalité des résistances.

D'après les données, il y a cinq éléments chauffants résistifs consommant chacun une puissance électrique $P_E = 250\ W$.

Il faut donc que la puissance de la batterie soit : $P = 5 \times P_E = 5 \times 250\ W = 1250\ W$

9. En admettant qu'il n'y a pas de perte thermique au niveau des éléments chauffants résistifs, déterminer la durée t_1 permettant le dégivrage complet de l'aile. Commenter le résultat.

D'après la question 4, il faut fournir à la glace une énergie $E = 8{,}1 \times 10^2\ kJ$ *pour la faire fondre.*

$E = P \times \Delta t$ *donc* $\Delta t = \frac{E}{P} = \frac{8{,}1 \times 10^2\ kJ}{1250\ W} = \frac{8{,}1 \times 10^5\ J}{1250\ W} = 6{,}5 \times 10^2 s$ *(soit un peu plus de 10 min).*

Cette durée est assez rapide, mais sous-estimée car on a négligé les différentes pertes lors des calculs.

1. V = S x e **/0,25**
A.N. + unité **/0,25**
m = ρ x V **/0,25**
A.N. + unité **/0,25**

2. Formule : **/0,25**
A.N. + résultat + unité **/0,25**

3. E = m x L **/0,25**
A.N. + résultat + unité **/0,25**

4. E = E1 + E2 **/0,25**
Résultats + Unité : **/0,25**

5. M_1 : ampèremètre **/0,25**
M_2 Voltmètre **/0,25**

6. Loi d'Ohm **/0,5**
A.N. +R + unité **/0,25**

7. **/0,75**
(0,25 par bonne réponse)

8. A.N. + résultat + unité **/0,5**

9. Formule : **/0,5**
A.N. + Résultat +unité **/0,25**
Commentaire **/0,25**