

ENTRAÎNEMENT AU BACCALAURÉAT – SESSION 2022

Lycée International des Pontonniers - Strasbourg - TSPEG_SPC

Proposition de correction – Épreuve de spécialité

EXERCICE I – UN SPORT TRADITIONNEL : LE LANCER DE GERBE DE PAILLE

1. Étude du lancer

- 1.1.** Le système étudié est la gerbe de paille assimilée au point M de masse m constante. On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen et muni du repère (O, \vec{i}, \vec{j}) . Les forces extérieures exercées sur le point M se réduisent au seul poids $\vec{P} = m \times \vec{g}$ puisque les actions de l'air sont négligées.

D'après la deuxième loi de Newton, nous avons : $\sum \vec{F}_{ext} = m \times \vec{a}$ soit $\vec{P} = m \times \vec{a}$ d'où $m \times \vec{g} = m \times \vec{a}$ et finalement $\vec{a} = \vec{g}$

En exprimant les coordonnées du vecteur accélération dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) , on obtient : $a \begin{pmatrix} a_x = g_x = 0 \\ a_y = g_y = -g \end{pmatrix}$

Pour conclure, on a donc démontré que $a_x(t) = 0$ et $a_y(t) = -g$.

- 1.2.** Selon l'axe (Ox) : $a_x = \ddot{x} = 0$ d'où $v_x = \dot{x} = C_1 = v_{x_0} = v_0 \times \cos \alpha$ et en intégrant une fois encore : $x(t) = v_0 \times t \times \cos \alpha + x_0 = v_0 \times t \times \cos \alpha$ car le point M est à la verticale de l'origine à $t = 0$.

Selon l'axe (Oy) : $a_y = \ddot{y} = -g$ d'où $v_y = \dot{y} = -g \times t + C_2 = -g \times t + v_{y_0} = -g \times t + v_0 \times \sin \alpha$

Par conséquent, $y(t) = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times t \times \sin \alpha + y_0 = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times t \times \sin \alpha + H$ car le point M est à l'altitude $y_0 = H$ à $t = 0$.

- 1.3.** D'après $x(t) = v_0 \times t \times \cos \alpha$, on obtient $t = \frac{x}{v_0 \times \cos \alpha}$ et en remplaçant dans l'expression de $y(t)$, il vient :

$$y = -\frac{1}{2} \times g \times \frac{x^2}{v_0^2 \times \cos^2 \alpha} + \cancel{v_0 \times \sin \alpha} \times \frac{x}{\cancel{v_0 \times \cos \alpha}} + H = -\frac{g}{2 \times v_0^2 \times \cos^2 \alpha} \times x^2 + (\tan \alpha) \times x + H$$

- 1.4.** Pour savoir si la gerbe de paille franchira la barre horizontale, il faut calculer son altitude lorsque $x = D$ soit :

$$y(D) = -\frac{g}{2 \times v_0^2 \times \cos^2 \alpha} \times D^2 + (\tan \alpha) \times D + H$$

$$y(D) = -\frac{9,8}{2 \times 9,0^2 \times (\cos(80^\circ))^2} \times 2,0^2 + (\tan(80^\circ)) \times 2,0 + 2,80 = 6,1 \text{ m} > 4,50 \text{ m}$$

La gerbe de paille passe donc au-dessus de la barre horizontale qu'elle franchit sans problème.

- 1.5.** Énergie cinétique en M_0 :

$$E_C(M_0) = \frac{1}{2} \times m \times v_0^2 = \frac{1}{2} \times 7,257 \times 9,0^2 = 2,9 \cdot 10^2 \text{ J} = 290 \text{ J.}$$

Énergie potentielle de pesanteur du système en M_0 :

$$E_{PP}(M_0) = m \times g \times H = 7,257 \times 9,8 \times 2,80 = 2,0 \cdot 10^2 \text{ J} = 200 \text{ J.}$$

1.6. Proposition I : Fausse. En effet, si les actions de l'air sont négligées, l'énergie mécanique est constante tout au long du mouvement.

Proposition II : Fausse. En effet, en M_1 la vitesse verticale v_y est nulle mais la vitesse horizontale $v_x = v_0 \times \cos \alpha$ n'est pas nulle, au même titre que l'énergie cinétique.

Proposition III : Fausse. En effet, l'énergie mécanique étant constante, sa valeur est la même en M_2 et en M_0 . M_2 étant à la même altitude que M_0 , l'énergie potentielle de pesanteur est la même en M_2 et en M_0 . Comme $E_m = E_C + E_{PP}$, si E_m et E_{PP} sont les mêmes, l'énergie cinétique est la même en M_0 et en M_2 .

1.7. Si les actions de l'air ne peuvent pas être négligées, l'énergie mécanique est dissipée tout au long du mouvement sous forme d'énergie thermique. L'énergie mécanique est donc maximale à l'instant initial et ne fait que décroître par la suite. **La proposition I est donc vraie.**

Concernant l'énergie cinétique en M_1 , même si les coordonnées de la vitesse auront diminué, la vitesse horizontale reste non nulle donc **la proposition II reste fausse**.

M_2 étant à la même altitude que M_0 , l'énergie potentielle de pesanteur du système est la même. En revanche, l'énergie mécanique ayant diminué en raison des frottements, l'énergie cinétique en M_2 sera bel et bien inférieure à celle en M_0 . **La proposition III est donc vraie** à présent.

2. Le microphone de l'animateur

2.1. En appliquant la loi des mailles, on obtient $E = u_R(t) + u_C(t)$

2.2. D'après la loi d'Ohm, nous savons que $u_R(t) = R \times i$. Par ailleurs, nous savons que $i = \frac{dq}{dt}$. Or $q = C \times u_C(t)$ donc $i = \frac{dq}{dt} = C \times \frac{du_C(t)}{dt}$. Par conséquent, $u_R(t) = R \times C \times \frac{du_C(t)}{dt}$. En remplaçant cette expression dans l'équation obtenue à la question précédente, il vient $E = R \times C \times \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t)$

2.3. La fonction 1 ne convient pas car lorsque t devient très grand, $u_C(t)$ deviendrait fortement négative, ce qui ne correspond pas à la courbe.

La fonction 2 ne convient pas non plus car lorsque t devient très grand, $u_C(t)$ tend vers 0, ce qui ne correspond pas non plus à la courbe.

La **fonction 3** convient car elle admet une limite égale à E lorsque t tend vers $+\infty$, ce qui correspond à la courbe qui présente une asymptote horizontale à 48 V, la tension aux bornes du générateur.

2.4. Soit $u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$. En dérivant cette fonction, on obtient $\frac{du_C(t)}{dt} = \frac{E}{R \times C} \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$ d'où $R \times C \times \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = R \times C \times \frac{E}{R \times C} \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right) = E$ donc cette fonction vérifie bien l'équation différentielle établie précédemment.

2.5. On détermine la constante de temps τ par la méthode graphique des 63% : il s'agit de la durée au bout de laquelle la tension $u_C(t)$ a atteint 63% de sa valeur finale, à savoir $u_C(\tau) = 0,63 \times 48 = 30$ V. La lecture graphique nous donne environ $\tau = 7,0$ ms.

Or nous savons que $\tau = R \times C$ d'où $C = \frac{\tau}{R}$. Par ailleurs, d'après l'énoncé, $C = \frac{\epsilon \times S}{d}$ d'où $\frac{\epsilon \times S}{d} = \frac{\tau}{R}$. Par conséquent, on obtient la distance d entre les armatures :

$$d = \frac{\epsilon \times S \times R}{\tau} = \frac{1,4 \times 10^{-15} \times 100 \times 10^6}{7,0 \times 10^{-3}} = 2,0 \times 10^{-5} \text{ m} = 20 \mu\text{m}$$

On peut remarquer que cette valeur est conforme avec l'énoncé qui indique qu'en l'absence de son, la distance entre les deux armatures est de l'ordre de 15 à 25 μm .

2.6. D'après la relation $C = \frac{\epsilon \times S}{d}$, si la distance d séparant les deux armatures diminue, la capacité C du condensateur augmente.

3. L'enceinte

3.1. $L_1 = 10 \times \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) = 10 \times \log \left(\frac{3,2 \times 10^{-3}}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = 95 \text{ dB}$

3.2. D'après le tableau fourni, les spectateurs ne devraient pas être exposés plus de 15 min à un tel niveau sonore. Il faudra donc prévoir une distance plus grande que 1,0 m entre l'enceinte et les spectateurs.

3.3. D'après l'énoncé, $I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$ d'où $P = I \times 4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3,2 \times 10^{-3} \times 4 \times \pi \times 1,0^2 = 4,0 \times 10^{-2} \text{ W}$, ce qui correspond à la valeur indiquée.

3.4. Niveau sonore auquel les spectateurs sont exposés avec ce choix des organisateurs :

$$L_2 = 10 \times \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) = 10 \times \log \left(\frac{2,0 \times 10^{-4}}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = 83 \text{ dB}$$

D'après le tableau fourni, on voit que les spectateurs pourront être exposés à ce niveau sonore plus de 2 h donc plus longtemps que la durée de la manifestation.

3.5. On peut calculer, à partir de cette distance de 3,0 m, l'intensité sonore reçue par les spectateurs, la puissance émise par l'enceinte n'ayant pas changé :

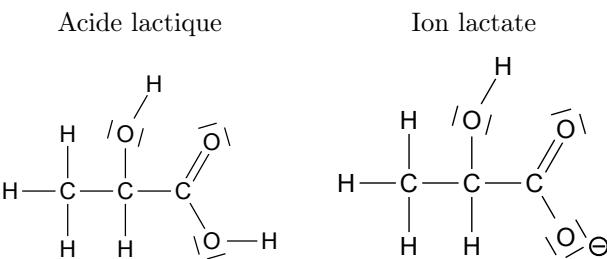
$$I_3 = \frac{P}{4 \times \pi \times d_3^2} = \frac{4,0 \times 10^{-2}}{4 \times \pi \times 3,0^2} = 3,5 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} > 2,0 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Cette distance n'est donc pas suffisante pour respecter la valeur maximale choisie par les organisateurs (même si elle est suffisante en termes de législation).

EXERCICE II – L'ACIDE LACTIQUE ET LE LACTATE D'ÉTHYLE

1. L'acide lactique

1.1. Schémas de Lewis :



1.2. Couples acide-base mis en jeu : $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3(\text{aq})/\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-(\text{aq})$ et $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}(\ell)$

1.3. Par définition, $K_A = \frac{[\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-]_{\text{éq}} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3]_{\text{éq}} \times c^\circ}$

Or, d'après l'équation de la réaction, on voit qu'il se forme autant d'ions lactate $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-$ que d'ions oxonium H_3O^+ d'où $[\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-]_{\text{éq}} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$

D'après l'équation de la réaction, on voit aussi qu'il y a autant d'acide lactique $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ consommé que d'ions oxonium H_3O^+ formés d'où $n_f(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = n_i(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) - n_f(\text{H}_3\text{O}^+)$ et en divisant par le volume V de la solution, on obtient : $\frac{n_f(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)}{V} = \frac{n_i(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)}{V} - \frac{n_f(\text{H}_3\text{O}^+)}{V}$ d'où $[\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3]_{\text{éq}} = C - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$

En remplaçant ce que nous venons de trouver dans l'expression de K_A , on obtient bien $K_A = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}^2}{(C - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}) \cdot c^\circ}$

1.4. Concentration en quantité de matière d'ions oxonium de cette solution :

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = c^\circ \times 10^{-pH} = 1,0 \times 10^{-3,03} = 9,3 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

1.5. Si l'acide lactique était un acide fort, nous aurions $pH = -\log C = -\log(8,00 \times 10^{-3}) = 2,1$. Or le pH mesuré est de 3,03 donc il s'est formé moins d'ions oxonium que si c'était un acide fort : c'est donc un acide faible.

1.6. D'après ce qui précède : $K_A = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}^2}{(C - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}) \cdot c^\circ} = \frac{(9,3 \times 10^{-4})^2}{(8,00 \times 10^{-3} - 9,3 \times 10^{-4}) \times 1,0} = 1,2 \times 10^{-4}$

Le pK_A est donc égal à $pK_A = -\log K_A = -\log(1,2 \times 10^{-4}) = 3,9$

1.7. On ne conserve qu'un seul chiffre significatif pour l'incertitude-type d'où $u(pK_A) = 0,03$. La valeur du pK_A ne peut donc être plus précise qu'au centième d'unité près d'où la valeur retenue : $pK_{Am} = 3,87$.

Pour conclure, on obtient donc $pK_{Am} = 3,87 \pm 0,03$

1.8. La relation entre le pH et le pK_A est $pH = pK_A + \log \left(\frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} \right)$. Il s'ensuit que, lorsque la concentration en base est égale à la concentration en acide, $pH = pK_A$. On peut donc déterminer pK_{Aref} en lisant l'abscisse du point d'intersection des deux courbes représentées sur le diagramme de prédominance. On retrouve bien la valeur $pK_{Aref} = 3,90$.

1.9. Pour comparer pK_{Am} à la valeur de référence, on peut calculer :

$$\left| \frac{pK_{Am} - pK_{Aref}}{u(pK_A)} \right| = \left| \frac{3,87 - 3,90}{0,03} \right| = 1 < 2. \text{ On en déduit que la valeur expérimentale } pK_{Am} \text{ est compatible avec la valeur de référence.}$$

2. Estérification de l'acide lactique

2.1. Vitesse volumique d'apparition de l'ester : $v = \frac{d[\text{ester}]}{dt} = \frac{d[\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3]}{dt}$

2.2. Comme le volume est constant et que $[\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3] = \frac{n(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3)}{V}$, alors la vitesse volumique de formation de l'ester s'écrit aussi $v = \frac{1}{V} \times \frac{d n(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3)}{dt}$. Or la dérivée de $n(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3)$ est donnée par le coefficient directeur de la tangente à la courbe représentative de $n(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3) = f(t)$.

En considérant la courbe (b), on voit que ce coefficient directeur diminue au cours du temps, ce qui prouve que la vitesse volumique de formation de l'ester diminue elle aussi au cours du temps.

2.3. En comparant les courbes (a) et (b), on voit qu'à chaque instant, la quantité d'ester formé est inférieure pour l'expérience (a) par rapport à l'expérience (b). Pendant la même durée, il se forme donc moins d'ester dans l'expérience (a). On en déduit que la vitesse volumique de formation de l'ester est inférieure dans l'expérience (a).

Tous les paramètres étant égaux par ailleurs (quantités de matière, température, etc), on en déduit que l'ajout d'acide sulfurique dans l'expérience (b) a pour effet d'accélérer la réaction. Il joue donc le rôle de catalyseur.

2.4. Un catalyseur ne modifie pas l'état d'équilibre mais permet seulement de l'atteindre plus rapidement. Dans l'expérience (b), la quantité de matière finale d'ester formée est proche de 0,370 mol car la courbe (b) admet cette valeur comme asymptote horizontale.

Dans l'expérience (a), le même avancement final sera atteint au bout d'une durée plus élevée. Or à $t=350$ min, la quantité de matière d'ester formée dans l'expérience (a) n'est que de 0,259 mol environ. La réaction n'est donc pas terminée.

EXERCICE III – LES FONDATIONS EN ACIER DES ÉOLIENNES EN MER

1. Protection du fer par l'aluminium

1.1. Quotient de réaction initial $Q_{r,i} = \frac{\left(\frac{[\text{Al}^{3+}]}{c^\circ}\right)^2}{\left(\frac{[\text{Fe}^{2+}]}{c^\circ}\right)^3} = c^\circ \times \frac{[\text{Al}^{3+}]^2}{[\text{Fe}^{2+}]^3}$

- 1.2.** D'après l'énoncé, 1 mole de sulfate d'aluminium libère 2 moles d'ions aluminium. On en déduit que $[\text{Al}^{3+}]_i = 2 \times C_2 = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

De la même manière, l'énoncé indique que 1 mole de chlorure de fer II libère 1 mole d'ions fer II d'où $[\text{Fe}^{2+}]_i = C_1 = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

1.3. D'après les questions précédentes, on a $Q_{r,i} = c^\circ \times \frac{[\text{Al}^{3+}]^2}{[\text{Fe}^{2+}]^3} = 1,0 \times \frac{(1,0 \times 10^{-1})^2}{(1,0 \times 10^{-1})^3} = 10 < 10^{166}$

Comme $Q_{r,i} < K$, on en déduit que le système évolue spontanément dans le sens direct, celui de la consommation de l'aluminium solide.

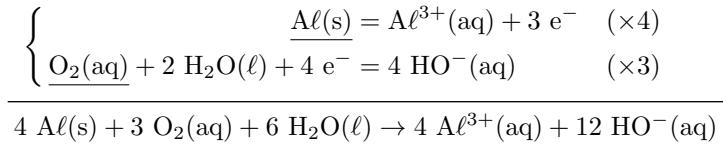
- 1.4.** Réaction se produisant à l'électrode d'aluminium : $\text{Al(s)} = \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{ e}^-$

- 1.5.** Si l'ampèremètre indique une valeur négative, c'est que le courant rentre dans l'ampèremètre par la borne COM. Le courant circule donc de la plaque de fer vers la plaque d'aluminium. Les électrons, quant à eux, circulent en sens inverse du sens du courant : ils circulent donc de la plaque d'aluminium vers la plaque de fer. Ceci est bien cohérent avec la question précédente où l'on a montré que l'aluminium solide perd des électrons.

- 1.6.** Une oxydation est une perte d'électrons : c'est donc la plaque d'aluminium qui joue ici le rôle d'anode.

2. Masse d'aluminium nécessaire à la protection de la structure métallique d'une éolienne

- 2.1.** Équation de la réaction modélisant la transformation chimique de corrosion de l'aluminium par le dioxygène dissous :



- 2.2.** Quantité d'électricité nécessaire à la protection cathodique pendant 25 ans :

$$Q = I \times \Delta t = 400 \times (25 \times 365 \times 24 \times 3600) = 3,15 \times 10^{11} \text{ C}$$

Quantité de matière d'électrons nécessaire à cette protection cathodique :

$$n_{e^-} = \frac{Q}{F} = \frac{3,15 \times 10^{11}}{96,5 \times 10^3} = 3,3 \times 10^6 \text{ mol}$$

D'après la question précédente, on voit que lorsque 12 moles d'électrons sont échangées, 4 moles d'aluminium solide sont consommées. On en déduit donc la quantité de matière d'aluminium solide nécessaire :

$$n_{\text{Al}} = \frac{n_{e^-}}{3} = \frac{3,3 \times 10^6}{3} = 1,1 \times 10^6 \text{ mol}$$

Masse d'aluminium nécessaire à cette protection cathodique :

$$m_{\text{Al}} = n_{\text{Al}} \times M_{\text{Al}} = 1,1 \times 10^6 \times 27,0 = 3,0 \times 10^7 \text{ g} = 3,0 \times 10^4 \text{ kg} = 30 \text{ tonnes}$$

- 2.3.** Le constructeur a finalement renoncé à la protection par anode sacrificielle pour éviter de rejeter de grandes quantités d'ions métalliques dans l'environnement et aussi en raison du coût élevé de ces 30 tonnes d'aluminium.