BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Session 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2 - Correction

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé
L'usage de la calculatrice avec le mode examen activé est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez- vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.

Exercice 1 : Traitement de l'eau (10 points)

PARTIE A : Le traitement de l'eau de boisson d'un élevage industriel de poules
A. Décontamination de l'eau en fin de chaine des abreuvoirs
A.1 Faire la liste du matériel nécessaire pour réaliser le titrage.
Burette
Support pour la burette
Agitateur magnétique
Becher
Turbulent

A.2 Écrire les demi-équations électroniques mises en jeu lors du titrage permettant de retrouver l'équation de la réaction d'oxydo-réduction support du titrage.
Voir la méthode avec ce diaporama http://acver.fr/oxred

Couple MnO_4^- / Mn^{2+}	Réduction	$MnO_4^- + 8H^+ + 5\ e^- = Mn^{2+} + 4\ H_2O$	)X2
Couple O_2/H_2O_2	Oxydation	$H_2O_2 = O_2 + 2\ e^- + 2H^+$	)X5

A.3 Définir l'équivalence du titrage et indiquer comment la repérer expérimentalement.
À l'équivalence de ce titrage, le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 présent dans la solution titrée est totalement consommé.
On repère le dépassement de l'équivalence par la coloration violette qui apparaît dans la solution titrée. En effet les ions MnO_4^- sont alors versés en excès et ne réagissant pas, ils colorent la solution titrée.

A.4 Déterminer la valeur de la concentration c_1 et de son incertitude type associée $u(c_1)$.

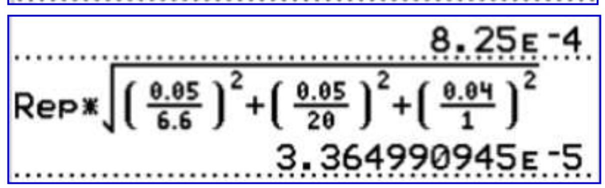
À l'équivalence et d'après l'équation de la réaction support du titrage $\frac{n_{MnO_4^-}}{2}\ versée = \frac{n_{H_2O_2}}{5}\ initiale$.

$$\frac{c_0.V_{eq}}{2} = \frac{c_1.V_1}{5}$$

$$c_1 = \frac{5c_0.V_{eq}}{2V_1}$$

$$c_1 = \frac{5 \times 1{,}00 \times 10^{-3} \times 6{,}60}{2 \times 20{,}00} = 8{,}25 \times 10^{-4}\ \text{mol.L}^{-1}$$

$$u(c_1) = c_1.\sqrt{\left(\frac{u(V_{eq})}{V_{eq}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_1)}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{u(c_0)}{c_0}\right)^2}$$



$$u(c_1) = 8{,}25 \times 10^{-4} \times \sqrt{\left(\frac{0{,}05}{6{,}60}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{20{,}00}\right)^2 + \left(\frac{0{,}04}{1{,}00}\right)^2} = 0{,}4 \times 10^{-4}\ \text{mol.L}^{-1}$$

On arrondit par excès à un seul chiffre significatif.
L'incertitude conduit à arrondir $c_1 = (8{,}3 \pm 0{,}4) \times 10^{-4}$ mol.L^{-1}.

A.5 Indiquer quelle norme, 1 ou 2, l'éleveur a suivi.
La concentration en masse en peroxyde d'hydrogène est de $c_m = 248\ g.L^{-1}$.
On calcule la concentration en masse de l'eau de boisson :
$c_m = c.M$
$c_m = 8{,}25\times10^{-4} \times 34{,}0 = 2{,}8\times10^{-2}\ g.L^{-1}$

Norme 1 : 100 à 200 mL dans 1000 L d'eau.
Dilution

Solution mère	Solution fille
$c_m = 248\ g.L^{-1}$	$c_f = ?$
$V_m = 200\ mL = 0{,}200\ L$	$V_f = 1000\ L$

$c_m.V_m = c_f.V_f$

$$c_f = \frac{c_m.V_m}{V_f}$$

$$c_f = \frac{248\times 0{,}200}{1000} = 4{,}96\times10^{-2}\ g.L^{-1}$$ ou en prenant $V_m = 0{,}100\ L$ alors $c_f = 2{,}48\times10^{-2}\ g.L^{-1}$

Norme 2 : 2,00 L dans 100 L d'eau.

Solution mère	Solution fille
$c_m = 248\ g.L^{-1}$	$c_f = ?$
$V_m = 2{,}00\ L$	$V_f = 100\ L$

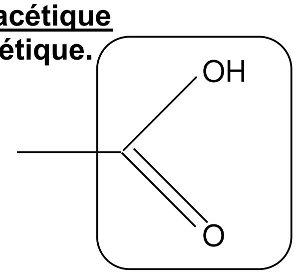
$$c_f = \frac{c_m.V_m}{V_f}$$

$$c_f = \frac{248\times 2{,}00}{100} = 4{,}96\ g.L^{-1}$$

La valeur de la concentration obtenue par le titrage est de $2{,}8\times10^{-2}\ g.L^{-1}$, elle est assez proche de la norme 1 (avec 100 mL) mais très éloignée de la norme 2.
L'éleveur a suivi la norme 1.

A.6 Justifier le mode de conservation.
Mode de conservation : Endroit sombre et frais.
L'eau oxygénée peut se dismuter, or cette réaction est plus lente à basse température donc on conserve au frais.
D'autre part la lumière accélère la dismutation, donc il faut conserver dans un endroit sombre.

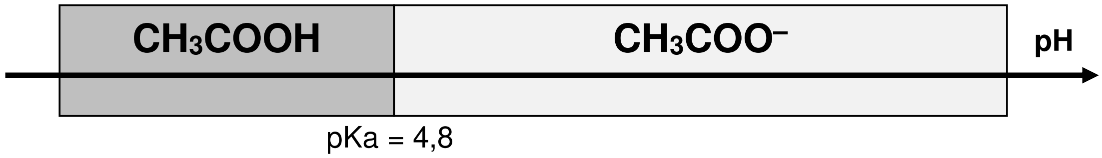
<u>PARTIE B : Le traitement de l'eau de boisson des poules d'un particulier</u>
<u>B.1. Étude de la formule de la molécule d'acide acétique</u>
B.1.1 Écrire la formule topologique de l'acide acétique.



B.1.2 Entourer le groupe fonctionnel et nommer la famille à laquelle il appartient.
Voir encadré ci-dessus. Famille des acides carboxyliques.
B.1.3 Donner le nom de l'acide acétique dans la nomenclature internationale.
Le nom officiel de l'acide acétique est acide éthanoïque.

B.2. L'acide acétique en solution

B.2.1 Représenter le diagramme de prédominance associé au couple $C_2H_4O_2(aq)$ / $C_2H_3O_2^-(aq)$.



B.2.2 Exprimer la constante d'acidité K_A du couple $C_2H_4O_2(aq)$ / $C_2H_3O_2^-(aq)$.

$$K_A = \frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right]_{éq} . \left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]_{éq}}$$

B.2.3 À partir de l'expression de la constante d'acidité K_A, retrouver la relation :

$$pH = pK_A + \log\left(\frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right]}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]}\right).$$

$$-\log(K_A) = -\log\left(\frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right].\left[H_3O^+(aq)\right]}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]}\right)$$

Maths : log (a.b) = log a + log b

avec $a = \frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right]}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]}$ et $b = \left[H_3O^+(aq)\right]$

$$pK_A = -\log\left[H_3O^+(aq)\right] - \log\left(\frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right]}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]}\right)$$

$$pK_A = pH - \log\left(\frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right]}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]}\right)$$

$$pH = pK_A + \log\left(\frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right]_{éq}}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]_{éq}}\right)$$

B.2.4 Calculer le pH réel de cette solution et vérifier si le particulier respecte la norme d'acidification pour l'eau de boisson de ses poules.
Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'est pas aboutie. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

$$K_A = \frac{\left[C_2H_3O_2^-(aq)\right]_{éq} \cdot \left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}}{\left[C_2H_4O_2(aq)\right]_{éq}}$$

$[C_2H_4O_2(aq)]_{éq} = [C_2H_4O_2(aq)]_{initiale} - [C_2H_3O_2^-(aq)]_{éq}$
$[C_2H_4O_2(aq)]_{initiale} = c_3 = 1{,}60 \times 10^{-3}$ mol.L^{-1} et $[C_2H_3O_2^-(aq)]_{éq} = [H_3O^+(aq)]_{éq}$
donc $[C_2H_4O_2(aq)]_{éq} = c_3 - [H_3O^+(aq)]_{éq}$

$$K_A = \frac{\left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}^2}{c_3 - \left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}}$$

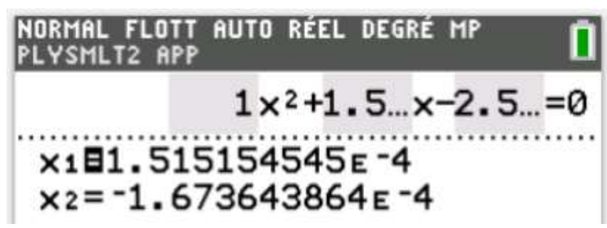
$$\left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}^2 - K_A \cdot \left(c_3 - \left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}\right) = 0$$

$$\left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}^2 + K_A \cdot \left[H_3O^+(aq)\right]_{éq} - K_A . c_3 = 0$$

$$\left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}^2 + 10^{-pK_A} . \left[H_3O^+(aq)\right]_{éq} - 10^{-pK_A} . c_3 = 0$$

$$\left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}^2 + 10^{-4,8} \times \left[H_3O^+(aq)\right]_{éq} - 10^{-4,8} \times 1{,}60 \times 10^{-3} = 0$$

On résout cette équation du second degré à l'aide de la calculatrice.
http://acver.fr/ti2nddeg



On ne retient que la solution positive.

$$\left[H_3O^+(aq)\right]_{éq} = 1{,}5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$pH = - -\log\left(\left[H_3O^+(aq)\right]_{éq}\right)$$

$$pH = - -\log\left(1{,}515154545 \times 10^{-4}\right) = 3{,}8$$

Le *pH* doit être d'environ 6, il est donc trop acide et ne respecte pas la norme d'acidification.

Exercice 2 : Du son (5 points)

Partie A : Étude de quelques niveaux d'intensité sonores

A.1.1.

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = L$$

$$\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$$

$$\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$$

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

$$I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L_1}{10}}$$

A.1.2.

$$I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L_1}{10}}$$

$$I_1 = 1{,}00 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{100}{10}}$$

$$I_1 = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \mathrm{W.m^{-2}}$$

A.2.

Les intensités sonores s'additionnent :

$$I_{tot} = I_1 + I_2$$

$$I_{tot} = 1{,}00 \times 10^{-2} + 1{,}00 \times 10^{-3}$$

$$I_{tot} = 1{,}10 \times 10^{-2}\mathrm{W.m^{-2}}$$

A.3.

Calculons le niveau sonore total :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$L_{tot} = 10 \log\left(\frac{I_{tot}}{I_0}\right)$$

$$L_{tot} = 10 \log\left(\frac{1{,}10 \times 10^{-2}}{1{,}00 \times 10^{-12}}\right)$$

$$L_{tot} = 100\ \mathrm{dB}$$

A.4.

Le niveau sonore de 100dB est inférieur au niveau sonore maximal autorisé fixé à 102 dB.

Ainsi, le DJ n'a pas besoin de faire de nouveaux réglages de sa sono pour cette fête de la musique si particulière.

A.5.

Lorsque la distance à la source augmente, le niveau sonore diminue du fait de l'atténuation géométrique.

A.6.

Lorsque qu'un obstacle est entre la source et l'auditeur, le niveau sonore diminue du fait de l'atténuation par absorption.

Partie B : Étude d'un solo de trompette

B.1.

Déterminons la période à l'aide de la figure 1 :

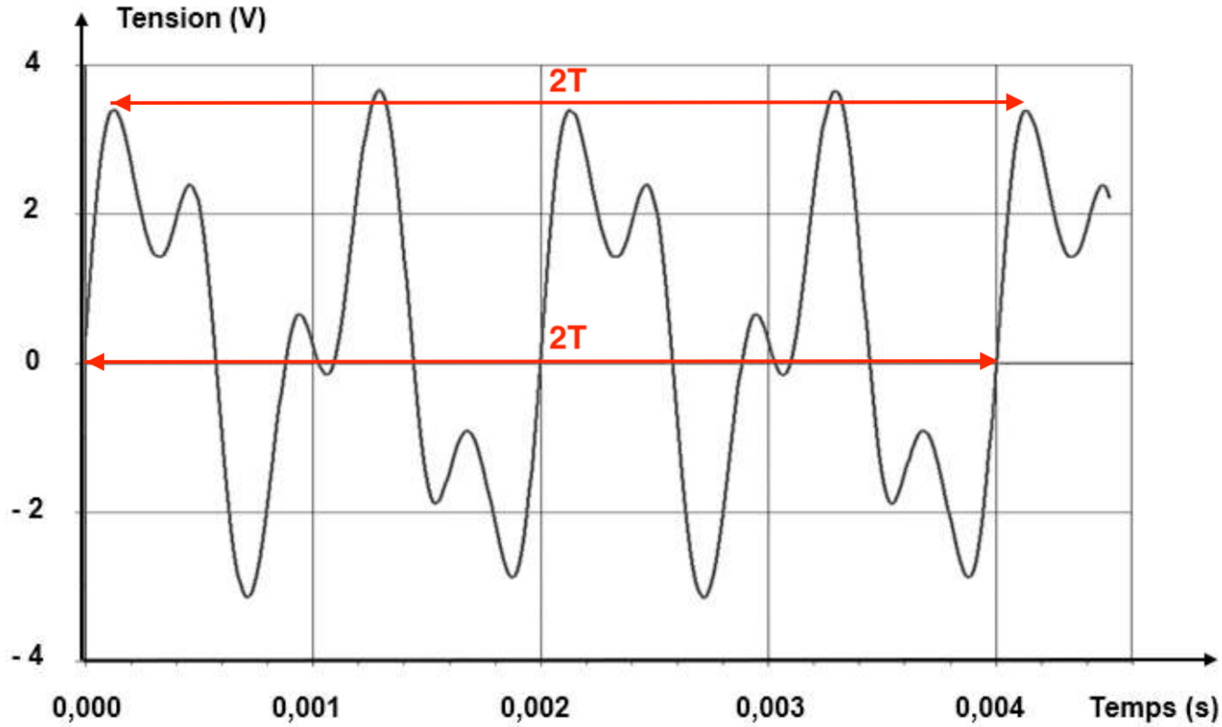


Figure 1 : Enregistrement de la note jouée par le trompettiste.

$2T = 0{,}0040 \text{ s}$

$T = \dfrac{0{,}0040}{2}$

$T = 0{,}0020 \text{ s}$

La fréquence est définie par :

$f = \dfrac{1}{T}$

$f = \dfrac{1}{0{,}0020}$

$f = 500 \text{ Hz}$

La fréquence f de la note émise par le trompettiste à pour valeur 500Hz.

B.2.

La fréquence f de la note émise par le trompettiste à pour valeur 500 Hz.

D'après les données : Le niveau d'intensité sonore de la sono est réglé à L_1= 100 dB à une distance de 2 m de celle-ci lors des concerts traditionnels, c'est-à-dire sans tracteur.

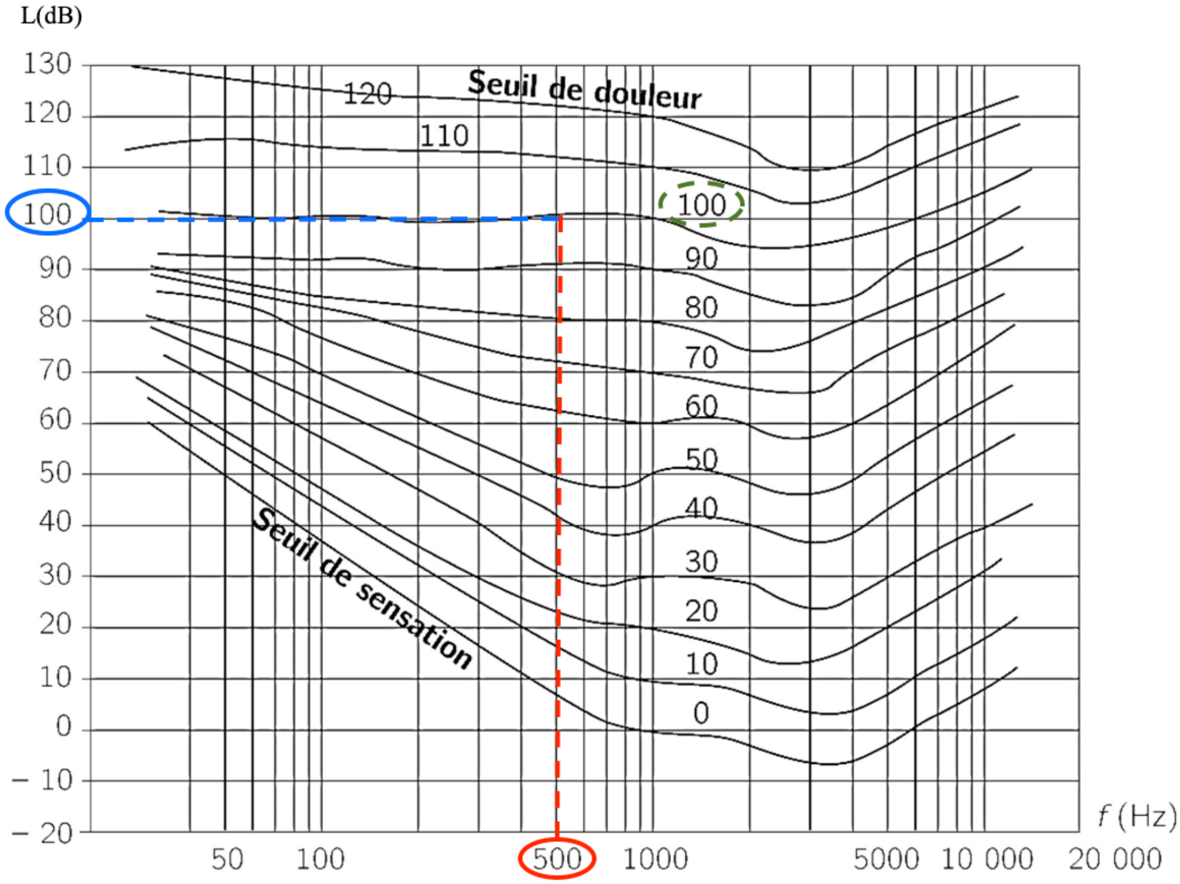


Figure 2 : Diagramme de FLETCHER et MUNSON

Pour f = 500 Hz et L_1= 100 dB : la sensation est légèrement inférieure à 100 dB et en deca du seuil de douleur.

Ainsi, le seuil de douleur n'est pas atteint pour un spectateur placé à 2 m du char, lorsque la note de fréquence f émise par le trompettiste est diffusée.

Exercice 3 : Cyclotron (5 points)

Mouvement du proton dans la zone A de O à M1.

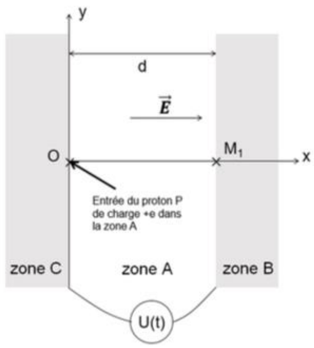
Q1.

Système {proton}

Référentiel terrestre supposé galiléen

D'après la deuxième loi de newton :

$$\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = m\vec{a}$$
$$\overrightarrow{F_e} = m\vec{a}$$
$$q\vec{E} = m\vec{a}$$
$$e\vec{E} = m\vec{a}$$
$$m\vec{a} = e\vec{E}$$
$$\vec{a} = \frac{e}{m}\vec{E}$$



Caractéristiques du vecteur accélération :

- Direction. Même direction que $\vec{E}$: horizontale (selon l'axe Ox)
- Sens. Même sens que $\vec{E}$: vers la droite (sens de l'axe Ox)
- Valeur :

$$a = \frac{e}{m}E$$

Or

$$E = \frac{|U|}{d}$$
$$a = \frac{e}{m} \times \frac{|U|}{d}$$
$$a = \frac{1{,}6 \times 10^{-19}}{1{,}67 \times 10^{-27}} \times \frac{50 \times 10^{3}}{1{,}0 \times 10^{-2}}$$
$$a = 4{,}8 \times 10^{14}\ \mathrm{m.s^{-2}}$$

Nature du mouvement du proton dans la zone A : le proton a un mouvement rectiligne accéléré dans la zone A.

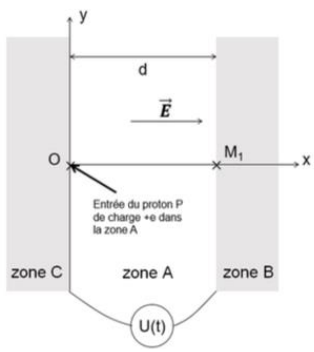
Q2.

$$\vec{a} = \frac{e}{m}\vec{E}$$

Or

$$\vec{E}\begin{vmatrix} E \\ 0 \end{vmatrix}$$

D'ou



$$\vec{a}\left|\begin{array}{l} a_{x(t)} = \dfrac{e}{m} \times E \\ a_{y(t)} = \dfrac{e}{m} \times 0 \end{array}\right.$$

$$\vec{a}\left|\begin{array}{l} a_{x(t)} = \dfrac{e}{m} \times E \\ a_{y(t)} = 0 \end{array}\right.$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

On intègre le système d'équation précédent :

$$\vec{v}\left|\begin{array}{l} v_{x(t)} = \dfrac{e}{m} \times E \times t + C_1 \\ v_{y(t)} = C_2 \end{array}\right.$$

Pour trouver les constantes, on utilise $\vec{v}_0$ (À t= 0, un proton entre dans la zone A, en O, sans vitesse initiale.)

$$\vec{v}_0 \left|\begin{array}{l} v_{0x} = 0 \\ v_{0z} = 0 \end{array}\right.$$

d'ou

$$\vec{v}\left|\begin{array}{l} v_{x(t)} = \dfrac{e}{m} \times E \times t \\ v_{y(t)} = 0 \end{array}\right.$$

Ainsi : $v_{x(t)} = \frac{e}{m} \times E \times t$

Méthode 1 (un peu longue) :

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$$

On intègre le système d'équation précédent :

$$\overrightarrow{OG}\left|\begin{array}{l} x(t) = \dfrac{1}{2} \times \dfrac{e}{m} \times E \times t^2 + C_3 \\ y(t) = C_4 \end{array}\right.$$

Pour trouver les constantes, on utilise $\overrightarrow{OG}_0$ (À t= 0, un proton entre dans la zone A, en O.)

$$\overrightarrow{OG}_0 \left|\begin{array}{l} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{array}\right.$$

d'ou

$$\overrightarrow{OG}\left|\begin{array}{l} x(t) = \dfrac{1}{2} \times \dfrac{e}{m} \times E \times t^2 \\ y(t) = 0 \end{array}\right.$$

Isolons t :

$$x(t) = \frac{1}{2} \times \frac{e}{m} \times E \times t^2$$

$$\frac{1}{2} \times \frac{e}{m} \times E \times t^2 = x(t)$$

$$t^2 = \frac{2 \times m \times x(t)}{e \times E}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \times m \times x(t)}{e \times E}}$$

Remplaçons t dans v_x :

$$v_{x(t)} = \frac{e}{m} \times E \times t$$

$$v_{x(t)} = \frac{e}{m} \times E \times \sqrt{\frac{2 \times m \times x(t)}{e \times E}}$$

$$v_{x(t)} = \sqrt{\frac{e^2}{m^2} \times E^2 \times \frac{2 \times m \times x(t)}{e \times E}}$$

$$v_{x(t)} = \sqrt{\frac{e}{m} \times E \times 2 \times x(t)}$$

Or

$$E = \frac{|U|}{d}$$

$$v_{x(t)} = \sqrt{\frac{e}{m} \times \frac{|U|}{d} \times 2 \times x(t)}$$

Au point M_1, $x_1=d$

$$v_{x1} = v_{x(t_1)} = \sqrt{\frac{e}{m} \times \frac{|U|}{d} \times 2 \times d}$$

$$v_{x1} = v_{x(t_1)} = \sqrt{\frac{e}{m} \times |U| \times 2}$$

$$v_{x1} = v_{x(t_1)} = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

Méthode 2 (plus rapide) :

Théorème de l'énergie cinétique : La variation d'énergie cinétique entre deux points O et M_1 est égale à la somme des travaux des forces :

$$\Delta E_C = \Sigma W_{AB}(\vec{F})$$

$$E_{C\,\text{finale}} - E_{C\,\text{initiale}} = W_{AB}(\vec{F})$$

$$E_C(M_1) - E_C(0) = \vec{F}.\overrightarrow{OM_1}$$

$$\frac{1}{2} \times m \times v_1^2 - \frac{1}{2} \times m \times v_0^2 = q \times \vec{E}.\overrightarrow{OM_1}$$

À t= 0, un proton entre dans la zone A, en O, sans vitesse initiale.

$$\frac{1}{2} \times m \times v_1^2 - 0 = e \times \vec{E}.\overrightarrow{OM_1}$$

$$\frac{1}{2} \times \mathrm{m} \times \mathrm{v}_1^2 = \mathrm{e} \times \mathrm{E} \times \mathrm{OM}_1 \times \cos(\alpha)$$

$$\frac{1}{2} \times \mathrm{m} \times \mathrm{v}_1^2 = \mathrm{e} \times \mathrm{E} \times \mathrm{OM}_1 \times \cos(0)$$

$$\frac{1}{2} \times \mathrm{m} \times \mathrm{v}_1^2 = \mathrm{e} \times \mathrm{E} \times \mathrm{OM}_1 \times 1$$

$$\frac{1}{2} \times \mathrm{m} \times \mathrm{v}_1^2 = \mathrm{e} \times \frac{\mathrm{U}}{\mathrm{d}} \times \mathrm{OM}_1$$

Or $\mathrm{OM}_1 = \mathrm{d}$

$$\frac{1}{2} \times \mathrm{m} \times \mathrm{v}_1^2 = \mathrm{e} \times \mathrm{U}$$

$$\mathrm{v}_1^2 = \frac{2 \times \mathrm{e} \times \mathrm{U}}{\mathrm{m}}$$

$$\mathrm{v}_1 = \sqrt{\frac{2 \times \mathrm{e} \times \mathrm{U}}{\mathrm{m}}}$$

Q3.

$$\mathrm{v}_1 = \sqrt{\frac{2 \times \mathrm{e} \times \mathrm{U}}{\mathrm{m}}}$$

$$\mathrm{v}_1 = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}6 \times 10^{-19} \times 50 \times 10^3}{1{,}67 \times 10^{-27}}}$$

$$\mathrm{v}_1 = 3{,}1 \times 10^6 \ \mathrm{m.s^{-1}}$$

$$\vec{\mathrm{v}} \left| \begin{array}{l} \mathrm{v}_{x(t)} = \dfrac{\mathrm{e}}{\mathrm{m}} \times \mathrm{E} \times \mathrm{t} \\ \mathrm{v}_{y(t)} = 0 \end{array} \right.$$

Caractéristiques du vecteur vitesse $\vec{\mathrm{v}}_1$:

- Direction : horizontale (selon l'axe Ox)
- Sens : vers la droite (sens de l'axe Ox)
- Valeur : $\mathrm{v}_1 = 3{,}1 \times 10^6 \ \mathrm{m.s^{-1}}$

Q4.

D'après l'énoncé : le proton est soumis à une force magnétique Fm ainsi qu'à son poids.

Système {proton}
Référentiel terrestre supposé galiléen
D'après la deuxième loi de newton :

$$\Sigma\overrightarrow{\mathrm{F}_{\mathrm{ext}}} = \mathrm{m}\vec{\mathrm{a}}$$

$$\overrightarrow{\mathrm{F}_{\mathrm{m}}} + \vec{\mathrm{P}} = \mathrm{m}\vec{\mathrm{a}}$$

Or d'après les données : nn néglige le poids du proton devant la force magnétique.

$\overrightarrow{F_m} = m\vec{a}$

$m\vec{a} = \overrightarrow{F_m}$

$\vec{a} = \dfrac{\overrightarrow{F_m}}{m}$

Or d'après les données :

$\overrightarrow{F_m} = (e \times v \times B) \times \vec{n}$

$\vec{a} = \dfrac{(e \times v \times B) \times \vec{n}}{m}$

$\vec{a} = \dfrac{(e \times v \times B)}{m} \times \vec{n}$

Caractéristiques du vecteur accélération :

- Direction. Même direction que $\vec{n}$: radiale
- Sens. Même sens que $\vec{n}$: centripète

Q5.

D'après les données :

$\vec{a} = \dfrac{dv}{dt}\vec{t} + \dfrac{v^2}{R}\vec{n}$

Or, d'après la question précédente Q4 :

$\vec{a} = \dfrac{(e \times v \times B)}{m} \times \vec{n}$

L'accélération étant unique, par identification :

$\dfrac{v^2}{R} = \dfrac{(e \times v \times B)}{m}$

$\dfrac{v}{R} = \dfrac{e \times B}{m}$

$v = \dfrac{e \times R \times B}{m}$

Dans notre cas $R=R_1$:

$v = \dfrac{e \times R_1 \times B}{m}$

Q6.

$v = \dfrac{e \times R_1 \times B}{m}$

$v = \dfrac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 1{,}9 \times 10^{-2} \times 1{,}7}{1{,}67 \times 10^{-27}}$

$v = 3{,}1 \times 10^{6}\ m.s^{-1}$

D'après les données :

$\vec{a} = \dfrac{dv}{dt}\vec{t} + \dfrac{v^2}{R}\vec{n}$

Or, d'après la question précédente Q4 :

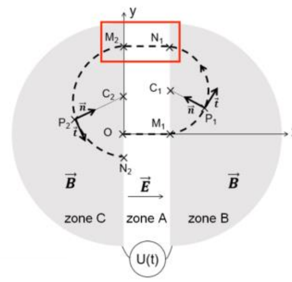
$$\vec{a} = \frac{(e \times v \times B)}{m} \times \vec{n}$$

L'accélération étant unique, par identification :

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

Ainsi, la valeur de la vitesse v est constante, c'est pourquoi on retrouve la valeur v_1 de la question Q3.

Retour du proton dans la zone A puis entrée dans la zone C.



ajectoire du proton pour un tour dans le cyclotron.

Q7.

$$a = \frac{dv}{dt}$$

- Entre les points N_1 et M_2 : retour dans la zone A, la valeur du vecteur accélération sera notée a_A ;

$$a_A = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a_A = \frac{v_{M_2} - v_{N_1}}{t_{M_2} - t_{N_1}}$$

$$a_A = \frac{4{,}4 \times 10^6 - 3{,}5 \times 10^6}{2{,}9 \times 10^{-8} - 2{,}65 \times 10^{-8}}$$

$$a_A = 3{,}6 \times 10^{14}\ \mathrm{m.s^{-2}}$$

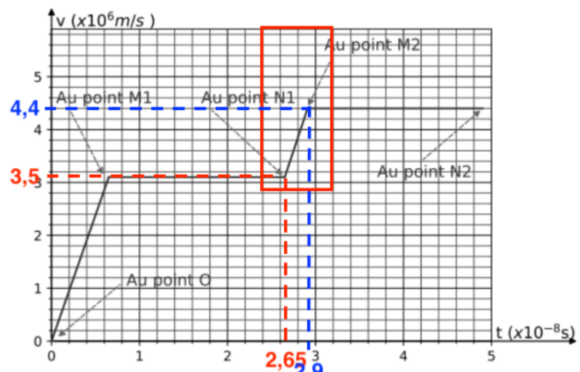


Figure 5. Valeur de la vitesse *v* du proton en fonction du temps.

- Entre les points M_2 et N_2 : passage dans la zone C, la valeur du vecteur accélération sera notée a_C.

$$a_C = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a_C = \frac{v_{N_2} - v_{M_2}}{t_{N_2} - t_{M_2}}$$

$$a_C = \frac{4{,}4 \times 10^6 - 4{,}4 \times 10^6}{4{,}9 \times 10^{-8} - 2{,}9 \times 10^{-8}}$$

$$a_C = 0\ \mathrm{m.s^{-2}}$$

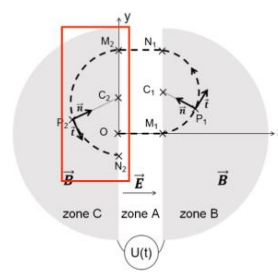


Figure 4. Trajectoire du proton pour un tour dans le cyclotron.

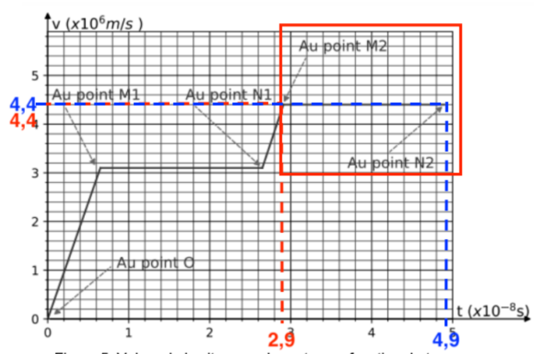


Figure 5. Valeur de la vitesse *v* du proton en fonction du temps.