Correction de l'examen national du baccalauréat
Session normale 2017
Série science physique option française

Exercice I (7points)

Partie I : la pile aluminium-cuivre

1- Le quotient de réaction $Q_{r,i}$à l'état initial :

D'prés l'équation de la réaction :

$$\boldsymbol{3Cu^{2+}_{(aq)} + 2Al_{(s)} \rightleftarrows 3Cu_{(s)} + 2Al^{3+}_{(aq)}}$$

$$\boldsymbol{Q_{r,i} = \frac{[Al^{3+}]_i^2}{[Cu^{2+}]_i^3}}$$

A.N :

$$Q_{r,i} = \frac{(6{,}5.10^{-1})^2}{(6{,}5.10^{-1})^3} \Longrightarrow \boldsymbol{Q_{r,i} = 1,54}$$

2- Le sens d'évolution spontanée du système chimique au cours du fonctionnement de la pile :

Puisque $Q_{r,i} < K = 10^{200}$, donc le système chimique évolue spontanément dans le sens direct.

3- Représentation du schéma conventionnel de la pile :

Au cours du fonctionnement de la pile l'aluminium (Al) s'oxyde en ion (Al^{3+}), donc l'électrode Al représente le pôle négatif de la pile.

$$(+)\ \boldsymbol{Cu_{(s)}/Cu^{2+}_{(aq)}\ //\ Al^{3+}_{(aq)}/Al_{(s)}}\ (-)$$

4- La quantité d'électricité q, lorsque la concentration des ions Cu^{2+} devient : $[Cu^{2+}] = 1{,}6.10^{-1}\ mol.L^{-1}$

Tableau périodique :

Etat du système	Avancement	$Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow$	$Cu_{(s)}$	$+\ 2e^{-}$	Quantité de matière d è transportée
Initial	0	$[Cu^{2+}]_i.V$	$n_i(Cu)$	$-$	$n(è) = 0$
Au cours de la réaction	x	$[Cu^{2+}]_i.V - x$	$n_i(Cu) - x$	$-$	$n(è) = 2x$

D'après le tableau d'avancement :

$$[Cu^{2+}] = \frac{[Cu^{2+}]_i.V - x}{V} = [Cu^{2+}]_i - \frac{x}{V} \implies \frac{x}{V} = [Cu^{2+}]_i - [Cu^{2+}]$$

$$x = V.([Cu^{2+}]_i - [Cu^{2+}]) \quad (1)$$

On sait que :

$$\begin{cases} n(è) = 2x \\ n(è) = \dfrac{q}{F} \end{cases} \implies 2x = \frac{q}{F} \implies q = 2xF \quad (2)$$

D'après les deux relations (1) et (2) on obtient :

$$\boldsymbol{q = 2V.([Cu^{2+}]_i - [Cu^{2+}]).F}$$

A.N :

$$q = 2 \times 65 \times 10^{-3} \times (6{,}5.10^{-1} - 1{,}6.10^{-1}) \times 9{,}65 \times 10^{4}$$

$$\boldsymbol{q = 6147{,}05\ C}$$

Partie II : Réaction de l'acide butanoïque

1- Réaction de l'acide butanoïque avec de l'eau

1-1- le taux d'avancement final de la réaction :

Tableau d'avancement :

$C_3H_7COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows C_3H_7COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$				Equation de la réaction	
Quantité de matière en (mol)				Avancement	Etat du système
$C.V$	en excès	0	0	0	Etat initial
$C.V - x$	en excès	x	x	x	Au cours de la réaction
$C.V - x_{eq}$	en excès	x_{eq}	x_{eq}	x_{eq}	Etat final

On a :

$$[H_3O^+] = \frac{x_{eq}}{V} \implies x_{eq} = [H_3O^+].V = 10^{-pH}.V$$

$$C.V - x_{max} = 0 \implies x_{max} = C.V$$

L'expression de taux d'avancement :

$$\tau = \frac{x_{eq}}{x_{max}} \Longrightarrow \tau = \frac{10^{-pH}.V}{C.V} \Longrightarrow \boldsymbol{\tau = \frac{10^{-pH}}{C}}$$

A.N :

$$\tau = \frac{10^{-3,41}}{1,0.10^{-2}} = 3,9.10^{-2} \Longrightarrow \boldsymbol{\tau \simeq 4\ \%}$$

On constate $\tau < 1$ donc la transformation est limitée.

1-2- L'expression du quotient de réaction $Q_{r,eq}$à l'équilibre :

D'prés le tableau d'avancement :

$$[H_3O^+]_{eq} = [C_3H_7COO^-]_{eq} = \frac{x_{eq}}{V} \Longrightarrow [H_3O^+]_{eq} = 10^{-pH}$$

$$[C_3H_7COOH]_{eq} = \frac{C.V - x_{eq}}{V} = C - \frac{x_{eq}}{V} \Longrightarrow [C_3H_7COOH]_{eq} = C - 10^{-pH}$$

$$Q_{r,eq} = \frac{[H_3O^+]_{eq}.[C_3H_7COO^-]_{eq}}{[C_3H_7COOH]_{eq}} = \frac{(10^{-pH})^2}{C - 10^{-pH}}$$

$$\boldsymbol{Q_{r,eq} = \frac{10^{-2pH}}{C - 10^{-pH}}}$$

AN :

$$Q_{r,eq} = \frac{10^{-2\times 3,41}}{1,0.10^{-2} - 10^{-3,41}} \Longrightarrow \boldsymbol{Q_{r,eq} \approx 1,57.10^{-5}}$$

1-3- Déduction de la valeur du pK_A :

On a :

$$Q_{r,eq} = K_A$$

$$\boldsymbol{pK_A = -\log K_A}$$

A.N :

$$pK_A = -\log(1,57.10^{-5}) \Longrightarrow \boldsymbol{pK_A = 4,8}$$

2- Réaction de l'acide butanoïque et de son anhydride sur l'alcool

2-1- L'intérêt du chauffage à reflux :

Le chauffage à reflux augmente la vitesse de la réaction en évitant les pertes de la matière des réactifs et des produits. Les vapeurs qui se dégagent se condensent.

2-2- La valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$ pour chaque réaction :

D'après la définition de demi-réaction $t_{1/2}$: $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$

D'après la courbe (1) on trouve : $x_{f1} = 0{,}2\,mol$ et $x_1(t_{1/2}) = 0{,}1\,mol$ donc l'abscisse de $0{,}1\,mol$ est

$\boldsymbol{(t_{1/2})_1 = 8\,min.}$

D'après la courbe (2) on trouve : $x_{f2} = 0{,}3\,mol$ et $x_1(t_{1/2}) = 0{,}15\,mol$ donc l'abscisse de $0{,}15\,mol$ est

$\boldsymbol{(t_{1/2})_1 = 2,5\,min.}$

La réaction de l'expérience 2 est la plus rapide.

2-3- Le taux d'avancement final de chaque réaction :

$$\boldsymbol{\tau = \frac{x_{eq}}{x_{max}}}$$

Tableau d'avancement :

$C_3H_7COOH + C_2H_5OH \rightleftarrows C_3H_7COOC_2H_5 + H_2O$				Equation de la réaction	
Quantité de matière en (mol)				Avancement	Etat du système
n_0	n_0	0	0	0	Etat initial
$n_0 - x_{eq}$	$n_0 - x_{eq}$	x_{eq}	x_{eq}	x_{eq}	Etat final

Pour la première expérience :

L'avancement maximal :

$$n_0 - x_{max} = 0 \implies x_{max} = n_0 = 0{,}3\,mol$$

L'avancement final :

$$x_{f1} = 0{,}2\,mol$$

Le taux d'avancement final :

$$\tau_1 = \frac{x_{f1}}{x_{max}} \implies \tau_1 = \frac{0{,}2}{0{,}3} = 0{,}67 \implies \boldsymbol{\tau_1 = 67\,\%}$$

Pour la deuxième expérience :

L'avancement maximal est le même: $x_{max} = n_0 = 0{,}3\,mol$

L'avancement final :

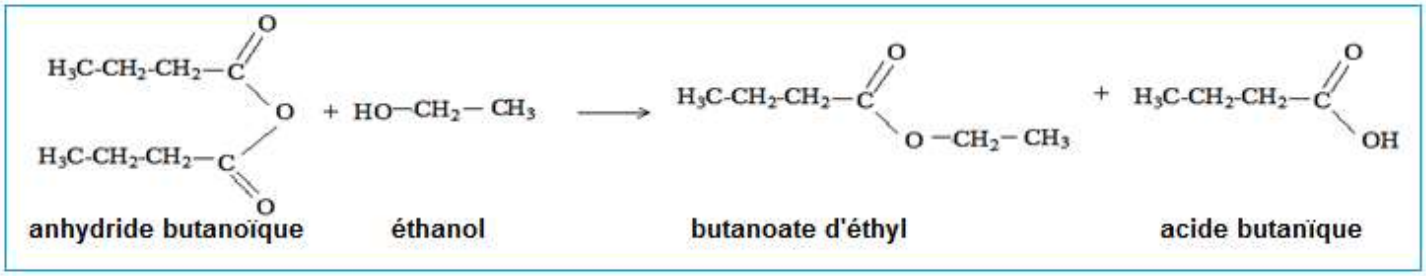
$$x_{f2} = 0{,}3\,mol$$

Le taux d'avancement final :

$$\tau_2 = \frac{x_{f2}}{x_{max}} \Rightarrow \tau_2 = \frac{0{,}3}{0{,}3} = 1 \quad \Rightarrow \boldsymbol{\tau_2 = 100\,\%}$$

-La réaction de l'expérience 2 est la réaction totale.

2-4- L'équation de la réaction qui se produit lors de la deuxième expérience :

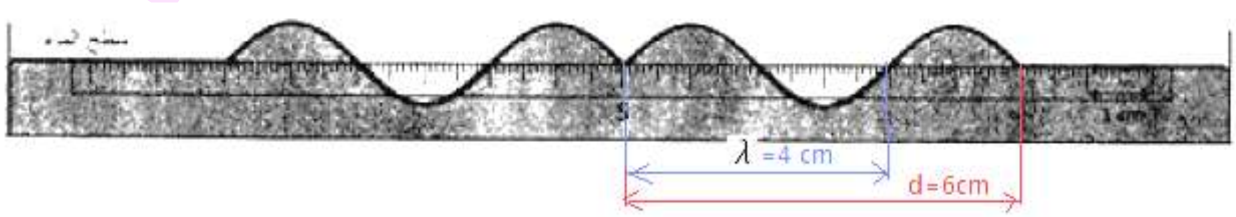


Exercice $\boldsymbol{II}$ (2,5 points)

Question	Elément de réponse
1	$\boldsymbol{\lambda = 4cm}$
2	V= $\boldsymbol{2m.s^{-1}}$
3	$\boldsymbol{t = 0,03\ s}$
4	$\boldsymbol{y_M(t) = y_S(t - 0,03)}$

Justification (n'est pas demandé)

1-Longueur d'onde :



2- La vitesse de propagation :

$$V = \lambda . N$$

$$V = 4.10^{-2} \times 50$$

$$V = \mathbf{2\ m.s^{-1}}$$

3- L'instant, où la coupe de la surface de l'eau :

L'onde traverse la distance $d = 6cm$ pendant la durée t : $V = \frac{d}{t}$

$$t = \frac{d}{V} \Rightarrow t = \frac{0{,}06}{2}$$

$$\boldsymbol{t = 0,03\ s}$$

4- La relation entre l'élongation du point M et celle de la source S :

Le point M, se trouve à la distance $SM = d = 6cm$ de la source S, répète le même mouvement de la source S avec un retard $\tau = t = 0{,}03\ s$, donc l'élongation du point M :

$$\boldsymbol{y_M(t) = y_S(t - 0,03) \qquad avec\ \ t \leq 0,03\ s}$$

Exercice III (5points)

Partie I : Réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension

1- première étape : établissement du courant dans une bobine

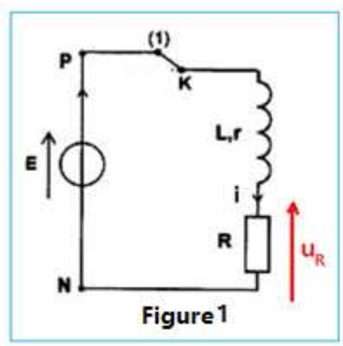


Figure 1

1-1- Représentation de la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique :

1-2- L'expression de l'intensité du courant I_p en régime permanant :

D'après la loi d'additivité de la tension :

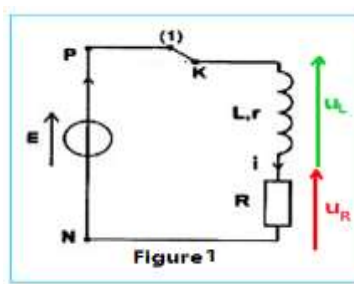


Figure 1

$$E = u_B + u_R$$

$$u_B = L.\frac{di}{dt} + r.i \text{ و } u_R = R.i$$

$$E = L.\frac{di}{dt} + r.i + R.i \Longrightarrow L.\frac{di}{dt} + i.(R + r) = E$$

En régime permanant l'intensité du courant est constante $i = I_P = cte \Longrightarrow \frac{di}{dt} = 0$

$$I_p(R+i) = E \ \Longrightarrow \boldsymbol{I_P = \frac{E}{R+r}}$$

2- deuxième étape : rupture du courant dans une bobine

2-1- L'équation différentielle vérifiée par la tension $u_R(t)$:

D'après la loi d'additivité de la tension :

$$u_B + u_R = 0$$

$$u_B = L.\frac{di}{dt} + r.i \text{ و } u_R = R.i \ \Longrightarrow i = \frac{u_R}{R}$$

$$L.\frac{di}{dt} + r.i + u_R = 0 \ \Longrightarrow L.\frac{d}{dt}\left(\frac{u_R}{R}\right) + \frac{u_R}{R}.(R+r) = 0$$

$$\frac{L}{R}.\frac{du_R}{dt} + \frac{u_R}{R}.(R+r) = 0$$

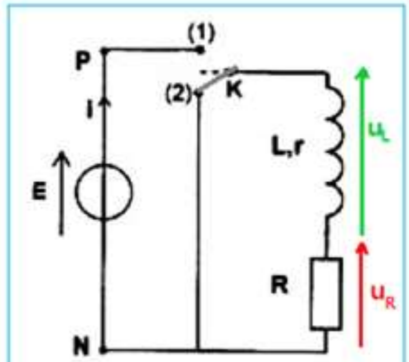


Figure 1

L'équation différentielle s'écrit :

$$\boldsymbol{\frac{L}{R+r}.\frac{du_R}{dt} + u_R = 0}$$

2-2- L'expression de τ :

La solution de l'équation différentielle s'écrit : $u_R(t) = R.I_P.e^{-\frac{t}{\tau}}$ le dérivé donne $\frac{du_R}{dt} = -\frac{1}{\tau}.R.I_P.e^{-\frac{t}{\tau}}$

on remplace dans l'équation différentielle :

$$-\left(\frac{L}{R+r}\right).\frac{1}{\tau}.R.I_P.e^{-\frac{t}{\tau}} + R.I_P.e^{-\frac{t}{\tau}} = 0$$

$$R.I_P.e^{-\frac{t}{\tau}}\left(-\left(\frac{L}{R+r}\right).\frac{1}{\tau} + 1\right) = 0$$

$$-\left(\frac{L}{R+r}\right).\frac{1}{\tau} + 1 = 0 \ \Longrightarrow \frac{L}{(R+r).\tau} = 1 \ \Longrightarrow L = (R+r).\tau$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{\tau = \frac{L}{R+r}}$$

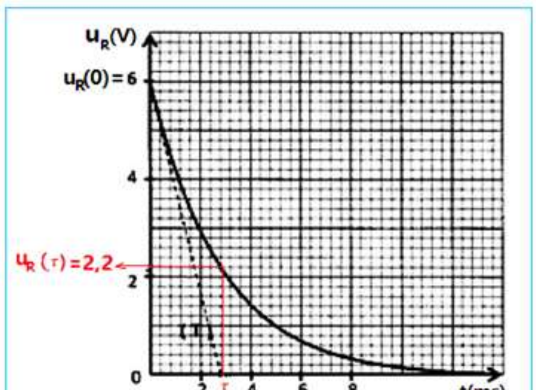


Figure 1

2-3- En exploitant la courbe de la figure2 :

a- Montrant que la résistance de la bobine est $r = 5\Omega$:

La solution de l'équation différentielle s'écrit : $u_R(0) = R.I_P.e^0 = R.I_P$ d'après l'expression $I_P = \frac{E}{R+r}$ on écrit : $u_R(0) = R.I_P = \frac{R.E}{R+r}$

$$(R+r).u_R(0) = R.E \Longrightarrow R+r = \frac{R.E}{u_R(0)} \Longrightarrow r = \frac{R.E}{u_R(0)} - R$$

$$\boldsymbol{r = R\left(\frac{E}{u_R(0)} - 1\right)}$$

A.N : d'après la courbe 2 on a :

$$u_R(0) = 6V$$

$$r = 60 \times \left(\frac{6{,}5}{6} - 1\right)$$

$$\boldsymbol{r = 5\ \Omega}$$

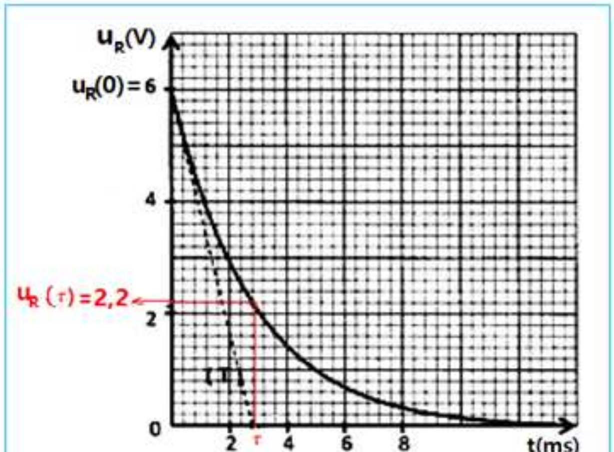


Figure 2

b- Vérification de la valeur de l'inductance de la bobine :

On a : $\tau = \frac{L}{R+r} \Longrightarrow \boldsymbol{L = \tau.(R+r)}$

A.N: d'aprés la courbe de la fig.2 la valeur de la constante de temps : $\tau = 2{,}8\ ms$

$$L = 2{,}8.10^{-3} \times (60+5) \Longrightarrow L = 0{,}182\ H$$

$$\boldsymbol{L = 182\ mH}$$

4-2- La valeur de l'énergie ξ_m emmagasinée par la bobine à $t_1 = \tau$:

On a : $\xi_m = \frac{1}{2}.L.i^2$ avec : $i(t) = \frac{u_R(t)}{R}$ donc : $\xi_m = \frac{1}{2}.L.\left(\frac{u_{R(t)}}{R}\right)^2$

A $t_1 = \tau$ on a :

$$\boldsymbol{\xi_m(\tau) = \frac{1}{2}.L.\left(\frac{u_{R(\tau)}}{R}\right)^2}$$

A.N : d'après la courbe de la fig.2 on trouve : $u_R(\tau) = 2{,}2\ V$

$$\xi_m(\tau) = \frac{1}{2} \times 0{,}182 \times \left(\frac{2{,}2}{60}\right)^2$$

$$\boldsymbol{\xi_m(\tau) = 1{,}2.10^{-4}\ J}$$

Partie II : Modulation d'amplitude

1- Montrons que la tension $u_S(t)$ s'écrit : $u_S(t) = A[1 + m.cos(2\pi f_s.t)]cos(2\pi F_p.t)$:

$$u_S(t) = k.u_1(t).u_2(t)$$

$$\begin{cases} u_1(t) = P_m.\cos(2\pi F_P.t) \\ u_2(t) = U_0 + s(t) = U_0 + S_m.\cos(2\pi f_s.t) \end{cases}$$

$$u_S(t) = k.P_m.\cos(2\pi F_P.t).[U_0 + S_m.\cos(2\pi f_s.t)]$$

$$u_S(t) = k.P_m.U_0\left[1 + \frac{S_m}{U_0}.\cos(2\pi f_s.t)\right].\cos(2\pi F_P.t)$$

On pose : $\boldsymbol{A = k.P_m.U_0}$ et $\boldsymbol{m = \frac{S_m}{U_0}}$ **on obtient :**

$$\boldsymbol{u_S(t) = A.[1 + m.\cos(2\pi f_s.t)].\cos(2\pi F_P.t)}$$

2- En exploitant la courbe de la fig.4 :

2-1- La valeur des fréquences F_p et f_S :

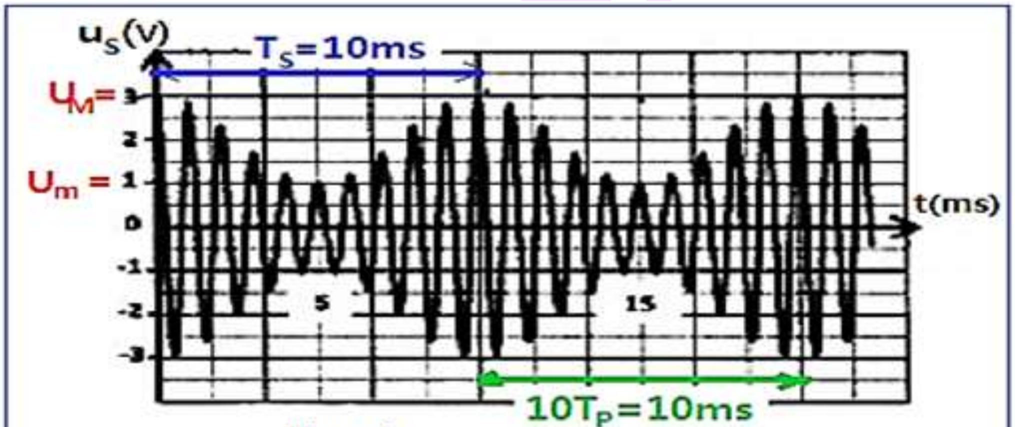


Figure 4

$$10T_P = 10ms \implies T_P = 1ms \implies F_P = \frac{1}{T_P} \implies F_P = \frac{1}{10^{-3}} \implies \boldsymbol{F_P = 1000\ Hz}$$

$$T_S = 10ms \implies f_S = \frac{1}{T_S} \implies f_S = \frac{1}{10.10^{-3}} \implies \boldsymbol{f_S = 100\ Hz}$$

2-2- Le taux de modulation :

$$\boldsymbol{m = \frac{U_M - U_m}{U_M + U_m}}$$

On utilisant le graphe de la fig.4 on trouve :

$$u_M = 3V \quad et \quad U_m = 1V$$

$$m = \frac{3-1}{3+1} \Longrightarrow \boldsymbol{m = 0,5}$$

Conclusion :

$m < 1$, la modulation est bonne.

Exercice $\boldsymbol{VI}$ (5,5 points)

Partie I : Etude du mouvement d'un skieur avec frottements

1- Etude du mouvement sur le plan incliné :

1.1- Equation différentielle vérifiée par la vitesse v_G du mouvement de G :

Système étudié S={skieur et ses accessoires}

Bilan des forces : $\vec{P}$ poids de S ; $\vec{R}$: force exercée par le plan incliné

On considère $(A,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ lié à un référentiel terrestre est considéré comme galiléen, on applique la deuxième loi de Newton :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G \Longrightarrow \vec{P} + \vec{R} = m.\vec{a}_G \quad (1)$$

Avec $\vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_N$

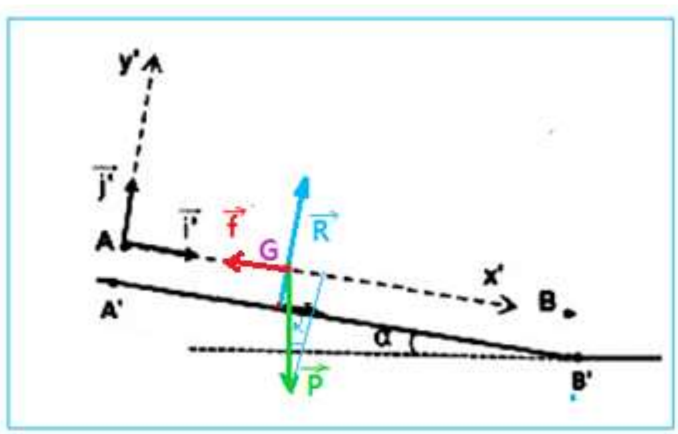
Projection sur l'axe Ox :

$$P_{x'} + f_{x'} + R_{Nx'} = m.a_{Gx'}$$

$$P.sin\alpha - f = m.a_G$$

$$m.g.sin\alpha - f = m.\frac{d\,v_G}{dt}$$

$$\boldsymbol{\frac{d\,v_G}{dt} = g.sin\alpha - \frac{f}{m}}$$



1-2- Détermination de a :

La solution de l'équation différentielle s'écrit : $v_G\,(t) = b.t + c$ c.à.d : $\frac{dv_G}{dt} = b$

On remplace dans l'équation différentielle :

$$b = g.sin\alpha - \frac{f}{m}$$

$$b = 9{,}8 \times \sin(23°) - \frac{15}{65} \Longrightarrow b \approx 3,6\ m.s^{-2}$$

-Détermination de b :

A t=0 on a : $V_G\ (0) = 0$

La solution de l'équation différentielle s'écrit : $V_G\ (0) = b \times 0 + c = 0 \quad \Longrightarrow c = 0$

1-3- Déduction de la valeur de t_B :

Selon l'expression de la solution de l'équation différentielle :

$$V_G\ (t) = b.t \ \Longrightarrow V_G\ (t) = 3{,}6.t$$

Au point B :

$$V_{GB} = 3{,}6.t_B \ \Longrightarrow t_B = \frac{V_{GB}}{3,6}$$

A.N :

$$V_{GB} = 90km.h^{-1} = \frac{90 \times 10^3}{3600} = 25m.s^{-1}$$

$$t_B = \frac{25}{3{,}6} \Longrightarrow t_B = 6,94\ s$$

1-4- L'intensité R de force exercée par le plan incliné :

On a : $\vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_N$ donc : $R = \sqrt{f^2 + R_N^2}$

Projection de la relation (1) sur l'axe Ay' :

$$P_{y\prime} + R_{y\prime} = m.a_{Gy\prime}$$

$$-P.cos\alpha + R_N = 0 \ \Longrightarrow R_N = m.g.cos\alpha$$

$$R = \sqrt{f^2 + (m.g.cos\alpha)^2} \ \Longrightarrow R = \sqrt{15^2 + [65 \times 9{,}8 \times \cos(23°)]^2} \ \Longrightarrow R = 586,55\ N$$

2- Etude du mouvement sur le plan horizontal

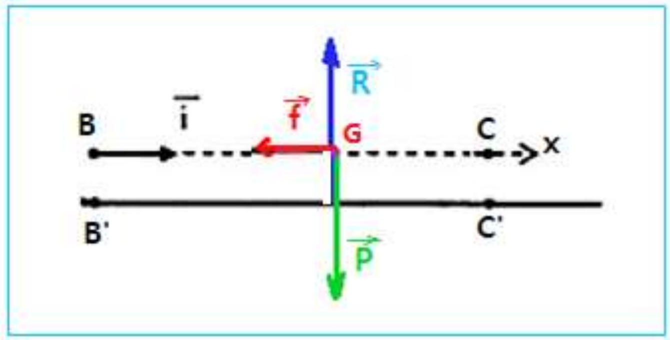
2-1- L'intensité f' de la force de frottement :

L'ensemble S est soumis sur le plan horizontal aux forces : $\vec{P}\ et\ \vec{R}$

On appliquant la loi de Newton on écrit :

$$\vec{P} + \vec{R}' = m.\vec{a}'_G$$

Projection sur l'axe Bx :



$$P_x + R_x = m.a_{Gx}$$

$$0 - f = m.a_x$$

$$\boldsymbol{f = -m.a_x}$$

A.N :

$$f = -65 \times (-3) \Longrightarrow \boldsymbol{f = 195\ N}$$

2-2- Déterminationt_C, l'instant d'arrêt du système :

Le mouvement est rectiligne uniformément varié son équation de vitesse s'écrit :

$$V_C = a_x.t_C + V_B = 0 \ \Longrightarrow a_x.t_C = -V_B \Longrightarrow \boldsymbol{t_C = -\frac{V_B}{a_x}}$$

A.N : $t_C = -\frac{25}{(-3)} \Longrightarrow \boldsymbol{t_C = 8,33\ s}$

2-3- Déduction de la distance BC :

L'équation horaire du mouvement de G s'écrit :

$$x(t) = \frac{1}{2}a_x.t^2 + V_B.t + x_0$$

D'après les conditions initiales $V_B = \frac{90}{3,6} = 25\ m.s^{-1}$ et $x_0 = 0$ avec $a_x = -3\ m.s^{-2}$

$$x(t) = -1,5.t^2 + 25.t \quad (2)$$

Au point C l'équation (2) s'écrit :

$$\boldsymbol{BC = x_C - \underbrace{x_B}_{=0} = -1,5.t_B^2 + 25.t_B}$$

A.N: $BC = -1,5 \times 8,3^2 + 25 \times 8,3 \Longrightarrow \boldsymbol{BC \approx 104,16\ m}$

Remarque : on peut appliquer le théorème de l'énergie cinétique entre B et C:

$$\underbrace{E_{cC}}_{=0} - E_{cB} = \underbrace{W_{B\to C}(\vec{P})}_{=0} + W_{B\to C}(\vec{f}) + \underbrace{W_{B\to C}(\vec{R}_N)}_{=0} \Longrightarrow -\frac{1}{2}m.V_B^2 = -f.BC$$

$$BC = \frac{m.V_B^2}{2.f} \Longrightarrow BC = \frac{65 \times 25^2}{2 \times 195} \approx 104,2\ m$$

Parie II : Etude énergétique d'un pendule de torsion

1- L'expression de l'énergie mécanique :

La position d'équilibre du pendule est prise comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur,

$E_{pp} = 0$

On a: $$E_m = E_C + E_{pt}$$

$$E_c = \frac{1}{2}.J_\Delta.\dot{\theta}^2$$

$$E_{pt} = \frac{1}{2}.C.\theta^2 + Cte$$

La position d'équilibre du pendule est prise comme référence de l'énergie potentielle de torsion

donc $Cte = 0$.

L'expression de E_m s'écrit :

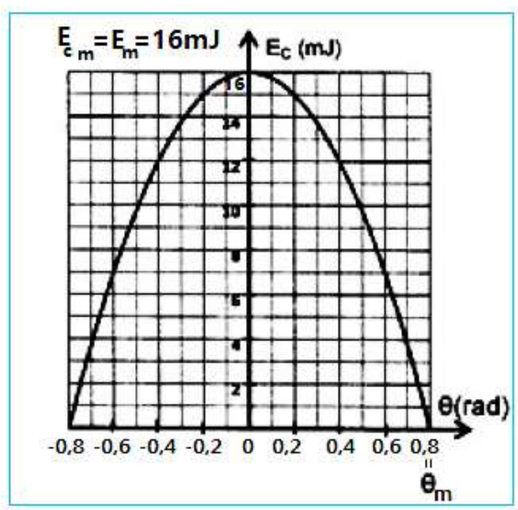
$$\boldsymbol{E_m = \frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C.\theta^2}$$

2- La valeur de la constante C de torsion:

Puisque les frottements son négligeable on a $E_m = Cte$

Quand l'abscisse angulaire est maximale, la vitesse angulaire

est nulle ($\dot{\theta} = 0$)



$$E_m = E_{pt\,max} = \frac{1}{2}C.{\theta_m}^2 \Longrightarrow C.{\theta_m}^2 = 2.E_m$$

$$\boldsymbol{C = \frac{2.E_m}{{\theta_m}^2}}$$

En utilisant la courbe $E_C = f(\theta)$ on trouve : $\theta_m = 0{,}8\,rad$ et

$E_{c\,max} = E_m = 16\;mJ$

$$C = \frac{2 \times 16.10^{-3}}{(0{,}8)^2} \Longrightarrow \boldsymbol{C = 5.10^{-2}\;N.m.rad^{-1}}$$

3- La valeur de J_Δ :

A la position d'équilibre l'abscisse angulaire la vitesse angulaire est maximale l'expression de $E_m$est :

$$E_m = E_{c\,max} = \frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta_m}^2 \Longrightarrow J_\Delta.\dot{\theta_m}^2 = 2E_m$$

$$\boldsymbol{J_\Delta = \frac{2E_m}{\dot{\theta_m}^2}}$$

A. N : $J_\Delta = \frac{2\times16.10^{-3}}{(2,31)^2} \Longrightarrow \boldsymbol{J_\Delta \approx 6.10^{-3}\ kg.m^2}$