★

الامتحان الوطني الموحد للبكالوريا
المسالك الدولية – خيار فرنسية
الدورة الاستدراكية 2016
- الموضوع -

RS31F

المملكة المغربية
وزارة التربية الوطنية والتكوين المهني
ⵜⴰⴳⵍⴷⵉⵜ ⵏ ⵍⵎⵖⵔⵉⴱ
ⵜⴰⵎⴰⵡⴰⵙⵜ ⵏ ⵓⵙⴳⵎⵉ ⴰⵏⴰⵎⵓⵔ
ⴷ ⵓⵙⵎⵓⵜⵜⴳ ⴰⵥⵥⵓⵍⴰⵏ

المركز الوطني للتقويم والامتحانات والتوجيه

4	مدة الإنجاز	الفيزياء والكيمياء	المادة
7	المعامل	مسلك العلوم الرياضية (أ) و (ب) (خيار فرنسية)	الشعبة أو المسلك

L’usage de la calculatrice scientifique non programmable est autorisé.

Le sujet comporte 4 exercices : un exercice de chimie et trois exercices de physique.

Chimie (7 points):

- Pile Aluminium-Zinc.
- Synthèse d’un ester et réaction du benzoate de sodium avec un acide.

Physique(13 points):

➢ **Les ondes (2,25 points)** :

-Propagation d’une onde ultrasonore.

➢ **L’électricité (5,25 points) :**

- Dipôle RC et circuit LC.
- Qualité d’une modulation d’amplitude.

➢ **La mécanique (5,5 points) :**

-Action d’un champ électrostatique uniforme et d’un champ magnétique uniforme sur un faisceau d’électrons.

- Mouvement d’un pendule élastique.

Chimie (7 points) : **Les parties I et II sont indépendantes**

Partie I : Etude de la pile Aluminium - Zinc

Les piles électrochimiques sont l'une des applications des réactions d'oxydoréduction . Au cours de leur fonctionnement , une partie de l'énergie chimique produite par ces réactions est transformée en énergie électrique.

On réalise la pile Aluminium –Zinc en plongeant une plaque d'aluminium dans un bécher contenant un volume $V = 100\,mL$ d'une solution aqueuse de chlorure d'aluminium $Al^{3+}_{(aq)} + 3Cl^{-}_{(aq)}$ de concentration molaire initiale $C_1 = [Al^{3+}_{(aq)}]_0 = 4,5.10^{-2}\,mol.L^{-1}$ et une plaque de zinc dans un autre bécher contenant un volume $V = 100\,mL$ d'une solution aqueuse de sulfate de zinc $Zn^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)}$ de concentration molaire initiale $C_2 = [Zn^{2+}_{(aq)}]_0 = 4,5.10^{-2}\,mol.L^{-1}$.

On relie les deux solutions par un pont salin. On monte entre les pôles de la pile, un conducteur ohmique (D), un ampèremètre et un interrupteur k (figure1) .

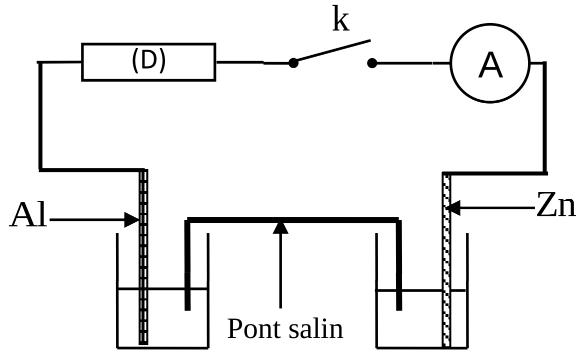


Figure 1

Données :

- La masse de la partie de la plaque d'aluminium immergée dans la solution de chlorure d'aluminium, à l'instant de la fermeture du circuit, est $m_0 = 1,35\,g$,
- La masse molaire de l'aluminium $M(Al) = 27\,g.mol^{-1}$,
- La constante de Faraday : $1F = 9,65.10^4\,C.mol^{-1}$.

La constante d'équilibre associée à la réaction :

$$2Al^{3+}_{(aq)} + 3Zn_{(s)} \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftharpoons}} 2Al_{(s)} + 3Zn^{2+}_{(aq)}$$ est $K = 10^{-90}$ à $25^{\circ}C$.

On ferme l'interrupteur k à l'instant $t = 0$; un courant d'intensité considérée constante : $I = 10\,mA$ circule dans le circuit .

0,5 **1**-Calculer le quotient de réaction Q_{ri} à l'état initial et en déduire le sens d'évolution spontanée du système chimique.

0,5 **2**-Représenter le schéma conventionnel de la pile étudiée en justifiant sa polarité .

3-Trouver, lorsque la pile est totalement épuisée :

0,75 **3-1-** la concentration des ions aluminium dans la solution de chlorure d'aluminium.

0,75 **3-2-** la durée Δt du fonctionnement de la pile.

Partie II : Synthèse d'un ester et réaction du benzoate de sodium avec un acide

Le benzoate de sodium (C_6H_5COONa) est utilisé dans l'industrie alimentaire pour conserver les aliments et ce grâce à ses propriétés anti-bactériennes.

On s'intéresse dans cette partie à l'étude de la synthèse d'un ester à partir de la réaction de l'acide benzoïque avec le méthanol et à l'étude de la réaction du benzoate de sodium $C_6H_5COO^{-}_{(aq)} + Na^{+}_{(aq)}$ avec l'acide éthanoïque CH_3COOH .

Données :

- A 25°C : $pK_{A1}(C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-) = 4,2$; $pK_{A2}(CH_3COOH / CH_3COO^-) = 4,8$,
- La masse volumique du méthanol : $\rho = 0,8\,g.mL^{-1}$,
- La masse molaire du méthanol : $M(CH_3OH) = 32\,g.mol^{-1}$,
- La masse molaire de l'acide benzoïque : $M(C_6H_5COOH) = 122\,g.mol^{-1}$.

1-Etude de la synthèse d'un ester

Pour synthétiser un ester, on mélange dans un erlenmeyer une quantité d'acide benzoïque C_6H_5COOH de masse $m=12,2\,g$ et un volume $V=8\,mL$ de méthanol CH_3OH. On ajoute au mélange quelques gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce. On chauffe le mélange à reflux à une température θ.

0,25 **1-1-** Justifier le choix du chauffage à reflux .

0,5 **1-2-** Ecrire l'équation modélisant la réaction qui se produit .

1-3- La courbe de la figure 2 représente l'évolution de la quantité de matière d'ester formé Au cours du temps.

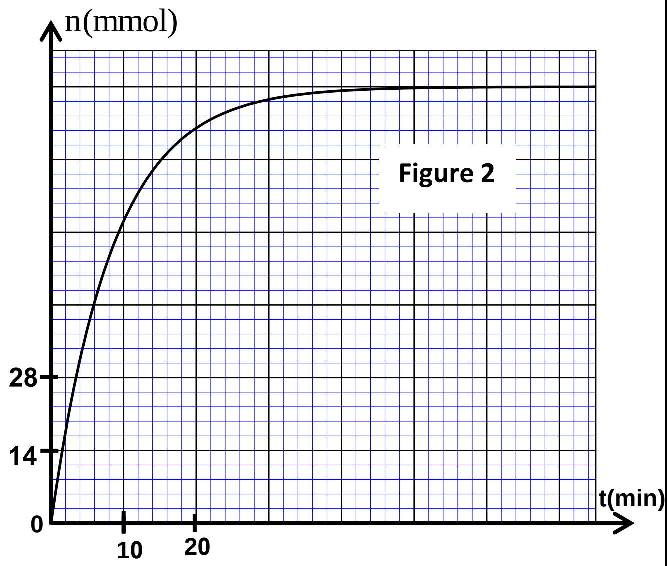
0,5 **1-3-1-** Choisir la proposition juste parmi les propositions suivantes :

La vitesse volumique de la réaction d'estérification :

- **a**-est nulle au début de la réaction.
- **b**- est maximale à l'équilibre.
- **c**- est maximale au début de la réaction.
- **d**-diminue si la concentration de l'un des réactifs augmente.
- **e**- diminue si on ajoute un catalyseur au mélange réactionnel.

0,5 **1-3-2-** Définir le temps de demi-réaction et déterminer sa valeur.

0,5 **1-3-3-** Déterminer le rendement de cette réaction.



2-Etude de la réaction du benzoate de sodium avec l'acide éthanoïque

On mélange à $25°C$, un volume V_1 d'une solution aqueuse de benzoate de sodium $C_6H_5COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)}$ de concentration molaire C_1 avec un volume $V_2=V_1$ d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque CH_3COOH de concentration molaire $C_2=C_1$.

0,5 **2-1**-Ecrire l'équation modélisant la réaction qui se produit.

0,5 **2-2**-Montrer que la constante d'équilibre associée à cette réaction est $K \simeq 0,25$.

0,5 **2-3-** Exprimer le taux d'avancement final τ de la réaction en fonction de K.

0,75 **2-4**-Trouver l'expression du pH du mélange réactionnel en fonction de pK_{A1} et τ. Calculer sa valeur.

Physique(13 points) :

Ondes : **Propagation d'une onde ultrasonore (2,25 points)**

On trouve parmi les applications des ondes ultrasonores, l'exploration du relief des fonds marins et la localisation des regroupements de poissons, ce qui nécessite la connaissance de la vitesse de propagation de ces ondes dans l'eau de mer.

Le but de cet exercice est de déterminer la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans l'air et dans l'eau de mer.

1-Détermination de la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans l'air

On place un émetteur E d'ondes ultrasonores et deux récepteurs R_1 et R_2 comme l'indique la figure 1.

L'émetteur E envoie une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air. Celle-ci est captée par les deux récepteurs R_1 et R_2.

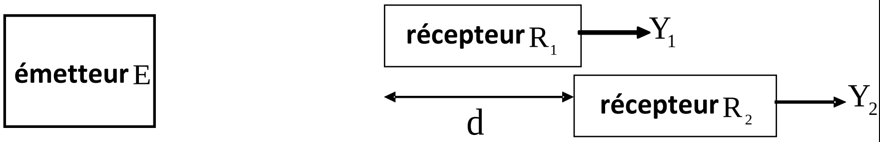


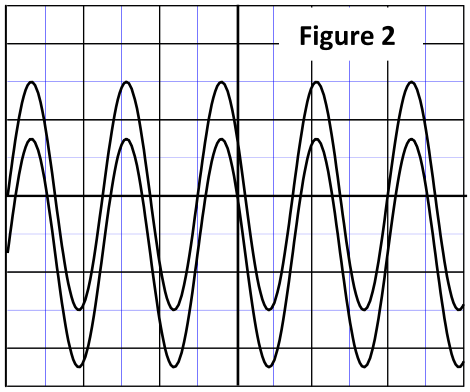
Figure 1

On visualise, à l'oscilloscope, sur la voie Y_1 le signal capté par R_1 et sur la voie Y_2 le signal capté par R_2.

Lorsque les deux récepteurs R_1 et R_2 se trouvent à la même distance de l'émetteur E, les deux courbes correspondant aux signaux captés sont en phase (figure 2).

En éloignant R_2 de R_1, on constate que les deux courbes ne restent plus en phase.

En continuant d'éloigner R_2 de R_1, on constate que les deux courbes se retrouvent à nouveau en phase et pour la quatrième fois, lorsque la distance entre les deux récepteurs R_1 et R_2 est $d = 3,4\,cm$ (figure 1).



$S_H = 10\,\mu s.div^{-1}$

0,25 **1-1-**Choisir la proposition juste, parmi les propositions suivantes :

a-Les ondes ultrasonores sont des ondes électromagnétiques.

b -Les ondes ultrasonores ne se propagent pas dans le vide .

c- Le phénomène de diffraction ne peut pas être obtenu par les ondes ultrasonores.

d- Les ondes ultrasonores se propagent dans l'air avec une vitesse égale à la célérité de la lumière.

0,5 **1-2-** Déterminer la fréquence N de l'onde ultrasonore étudiée.

0,5 **1-3** -Vérifier que la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans l'air est $V_a = 340\,m.s^{-1}$.

2-Détermination de la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans l'eau de mer

L'émetteur envoie l'onde ultrasonore précédente dans deux tubes, l'un contenant de l'air l'autre étant rempli d'eau de mer(figure 3).

Le récepteur R_1 capte l'onde qui se propage dans l'air et le récepteur R_2 capte l'onde qui se propage dans l'eau de mer.

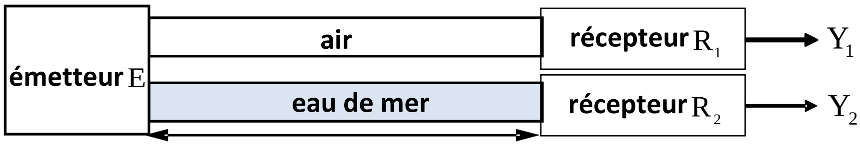


Figure 3

Soient Δt le retard temporel de réception de l'onde qui se propage dans l'air par rapport à celle qui se propage dans l'eau de mer et ℓ la distance entre l'émetteur et les deux récepteurs.

En mesurant le retard Δt pour différentes distances ℓ entre l'émetteur et les deux récepteurs (figure 3) , on obtient la courbe de la figure 4 .

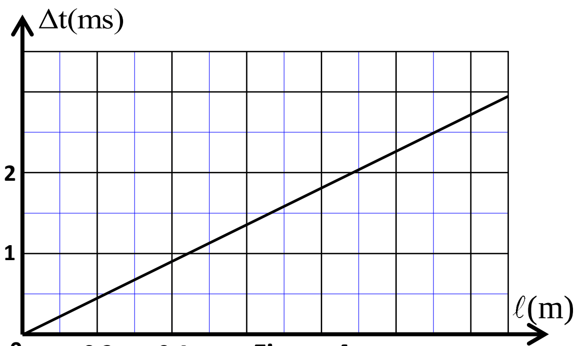


Figure 4

0,5 **2-1-**Exprimer Δt en fonction de ℓ ,V_a et V_e vitesse de propagation de l'onde dans l'eau de mer.

0,5 **2-2** -Déterminer la valeur de V_e.

Electricité :(5,25 points) **Les parties I et II sont indépendantes**

Partie I :Etude du dipôle RC et du circuit LC

Les circuits RC, RL et RLC sont utilisés dans les montages électroniques des appareils électriques. On se propose, dans cette partie, d'étudier le dipôle RC et le circuit LC.

Le montage électrique schématisé sur la figure 1 comporte :

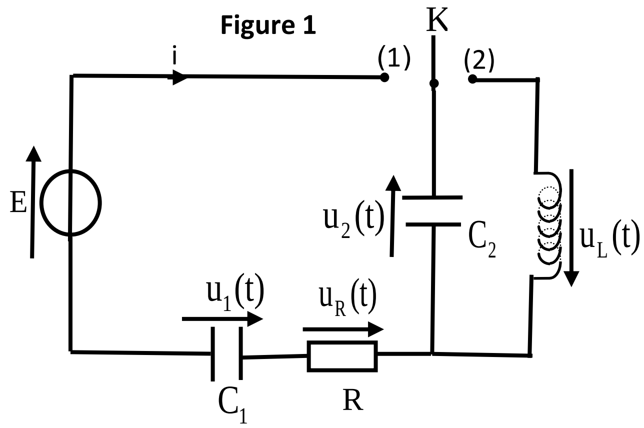
-un générateur idéal de tension de f.e.m E,

-deux condensateurs de capacité C_1 et $C_2 = 2\ \mu F$,

-un conducteur ohmique de résistance $R = 3k\Omega$,

-une bobine d'inductance L et de résistance négligeable,

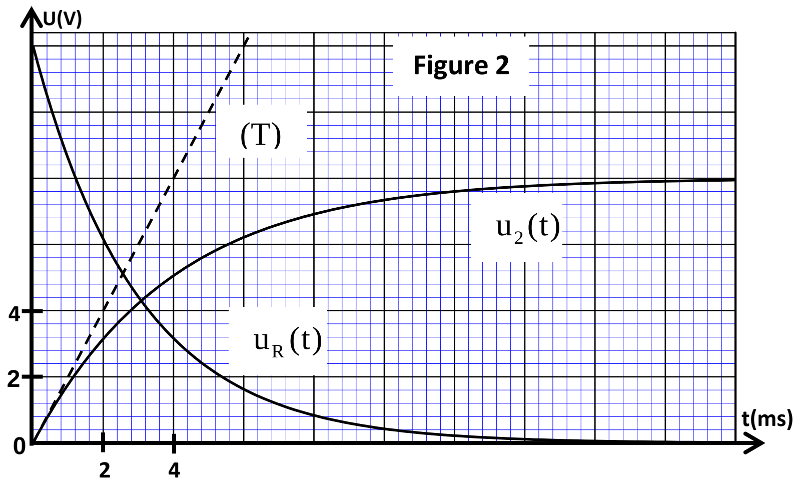
-un interrupteur K à double position.



1-Etude du dipôle RC

On place l'interrupteur K dans la position (1) à un instant pris comme origine des dates (t=0).

0,25 **1-1-**Montrer que la capacité C_e du condensateur équivalent aux deux condensateurs associés en série est : $C_e = \dfrac{C_1.C_2}{C_1+C_2}$.



0,5 **1-2-**Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_2(t)$ entre les bornes du condensateur de capacité C_2 s'écrit :

$$\frac{du_2(t)}{dt} + \frac{1}{R.C_e}.u_2(t) = \frac{E}{R.C_2}.$$

0,5 **1-3-**La solution de cette équation différentielle s'écrit sous la forme : $u_2(t) = A.(1-e^{-\alpha t})$. Déterminer l'expression de A et celle de α en fonction des paramètres du circuit.

1-4-Les courbes de la figure 2, représentent l'évolution des tensions $u_2(t)$ et $u_R(t)$.

La droite (T) représente la tangente à la courbe représentant $u_2(t)$ à l'instant $t = 0$.

1-4-1-Déterminer la valeur de :

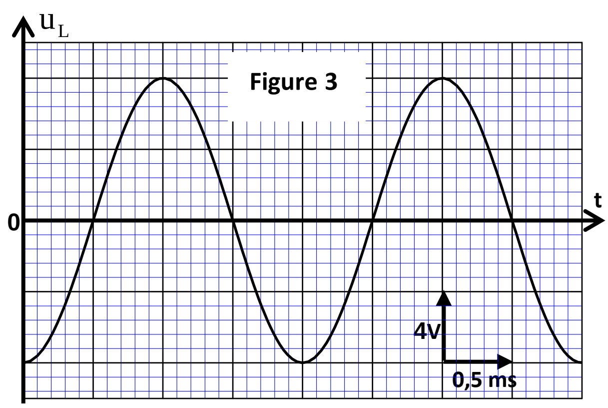
0,25 a- E.

0,5 b- $u_2(t)$ et celle de $u_1(t)$ en régime permanent.

0,5 **1-4-2-** Montrer que $C_1 = 4\mu F$.

2-Etude des oscillations électriques dans le circuit LC

Lorsque le régime permanent est établi, on bascule l'interrupteur K à la position (2) à un instant pris comme nouvelle origine des dates $(t = 0)$.



0,5 **2-1-** Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_L(t)$ entre les bornes de la bobine s'écrit : $\dfrac{d^2u_L(t)}{dt^2} + \dfrac{1}{LC_2}u_L(t) = 0$.

2-2-La courbe de la figure 3 représente les variations de la tension $u_L(t)$ en fonction du temps.

0,5 **2-2-1-** Déterminer l'énergie totale E_t du circuit.

0,5 **2-2-2-**Calculer l'énergie magnétique E_m emmagasinée dans la bobine à l'instant $t = 2{,}7\,ms$.

Partie II : Etude de la qualité d'une modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude est obtenue en utilisant un circuit intégré multiplieur .

On applique à l'entrée E_1 du circuit intégré multiplieur une tension $p(t)$ qui correspond au signal porteur, et à l'entrée E_2 la tension $s(t)+U_0$ avec $s(t)$ la tension correspondant au signal modulant à transmettre et U_0 la composante continue (figure 4).

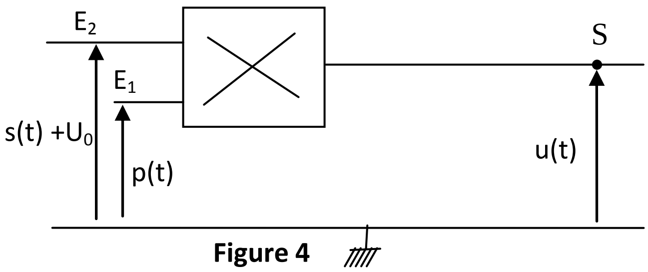


Figure 4

On obtient à la sortie S du circuit la tension $u(t)$ correspondant au signal modulé en amplitude .L'expression de cette tension est : $u(t)=k.p(t).\left(s(t)+U_0\right)$ où $s(t)=S_m.\cos(2\pi f_S t)$ et $p(t)=P_m.\cos(2\pi f_p t)$ et k une constante qui caractérise le circuit intégré multiplieur .

0,25 **1-** La tension modulée en amplitude peut s'écrire sous la forme : $u(t)=A\left[\dfrac{m}{S_m}s(t)+1\right].\cos(2\pi f_p t)$

avec $A=k.P_m.U_0$ et $m=\dfrac{S_m}{U_0}$ le taux de modulation.

Trouver l'expression du taux de modulation m en fonction de U_{max} et U_{min} avec U_{max} la valeur maximale de l'amplitude de $u(t)$ et U_{min} la valeur minimale de son amplitude.

1 **2-** Quand aucune tension n'est appliquée sur l'oscilloscope, les traces du spot sont confondues avec l'axe médian horizontal de l'écran. On visualise la tension $u(t)$ et on obtient l'oscillogramme de la figure 5.

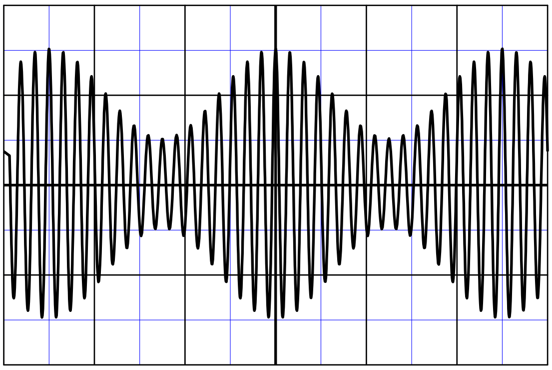


Figure 5

- Sensibilité horizontale $20\,\mu s.div^{-1}$;

-Sensibilité verticale : $1\,V.div^{-1}$.

Déterminer f_p, f_s et m .Que peut-on en déduire à propos de la qualité de la modulation ?

Mécanique :(5,5 points) **Les parties I et II sont indépendantes**

Partie I : Etude de l'action d'un champ électrostatique uniforme et d'un champ magnétique uniforme sur un faisceau d'électrons

J.J.Thomson, physicien anglais, étudia l'action d'un champ électrostatique uniforme et l'action d'un champ magnétique uniforme sur un faisceau d'électrons homocinétiques de vitesse $\vec{V_0}$, pour déterminer la charge massique $\dfrac{e}{m}$ de l'électron avec m la masse de l'électron et e la charge élémentaire.

On se propose dans cette partie de déterminer ce rapport en se basant sur deux expériences.

On considère que le mouvement de l'électron se fait dans le vide et que son poids n'a pas d'influence sur le mouvement.

1-Expérience 1 :

Un faisceau d'électrons produit par un canon à électrons arrivant en O avec la vitesse $\vec{V_0}=V_0\vec{i}$ est alors soumis, au cours de son mouvement le long de la distance d, à l'action d'un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme créé par deux plaques planes (P) et (P') orthogonales au plan (xOy) et distantes de ℓ (figure 1).

On désigne par $U=V_p-V_{p'}$ la différence de potentiel entre (P) et (P') et par D la distance du point I à l'écran fluorescent .

Le mouvement de l'électron est étudié dans le repère orthonormé $R(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ associé à un référentiel terrestre supposé galiléen.

On prend l'instant où l'électron passe par O comme origine des dates $(t=0)$.

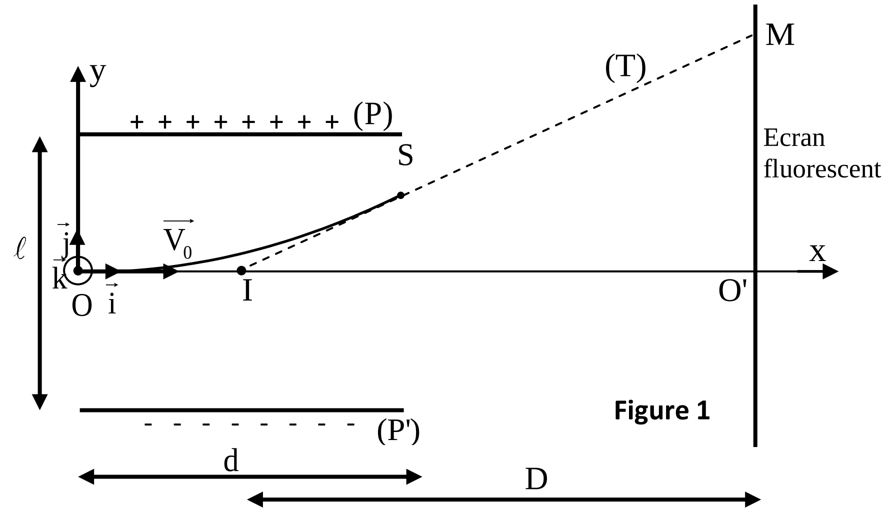


Figure 1

0,5 **1-1-**Montrer que l'équation de la trajectoire du mouvement de l'électron dans le repère $R(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ s'écrit :

$$y=\frac{eU}{2\ell mV_0^2}x^2 .$$

0,5 **1-2-**Le faisceau d'électrons sort du champ électrostatique en un point S. Il poursuit son mouvement et heurte l'écran fluorescent en un point M .La droite (T) représente la tangente à la trajectoire au point S (figure 1).

Montrer que la déviation électrique $O'M$ d'un électron s'écrit : $O'M=\dfrac{eDdU}{\ell mV_0^2}$.

2-Expérience 2 : Le faisceau d'électrons arrivant en O avec la vitesse $\vec{V_0}=V_0\vec{i}$ est soumis en plus du champ électrostatique précédent à un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ orthogonal à $\vec{E}$.

On fixe l'intensité du champ magnétique sur la valeur $B=1,01mT$, le faisceau d'électrons heurte alors l'écran au point O'.

0,25 **2-1-** Déterminer le sens du vecteur champ magnétique $\vec{B}$.

0,5 **2-2-** Exprimer la vitesse des électrons en fonction de E et B .

0,75 **3-**Déduire l'expression de $\dfrac{e}{m}$ en fonction de B , U , D , ℓ , d et $O'M$ .Calculer $\dfrac{e}{m}$ sachant que : $O'M=5,4cm$; $D=30cm$; $U=1200V$; $\ell=2cm$; $d=6$ cm .

Partie II : **-Etude du mouvement d'un pendule élastique**

Un oscillateur mécanique vertical est constitué d'un corps solide S de masse $m=200g$ et d'un ressort à spires non jointives de masse négligeable et de raideur K .L'une des extrémités du ressort est fixée à un support fixe et l'autre extrémité est liée au solide S (figure2).

On se propose d'étudier le mouvement du centre d'inertie G du solide S dans un repère $R(O,\vec{k})$ lié à un référentiel terrestre supposé galiléen.

On repère la position de G à un instant t par la côte z sur l'axe $(O,\vec{k})$. A l'équilibre, G est confondu avec l'origine O du repère $R(O,\vec{k})$ .On prendra $\pi^2=10$.

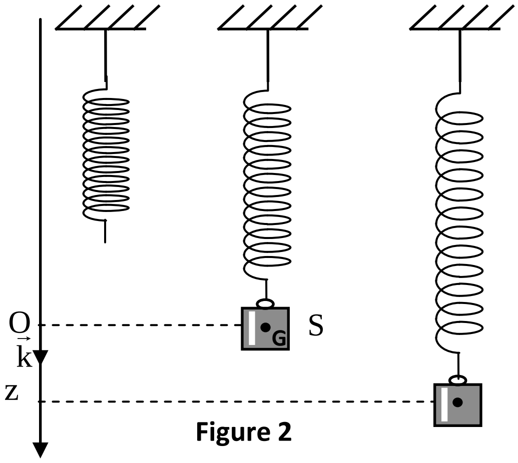


Figure 2

1- Frottements négligeables

On écarte verticalement le solide S de sa position d'équilibre et on l'envoie à l'instant de date $t=0$, avec une vitesse initiale $\vec{V}_0 = V_{0z}\vec{k}$.

La courbe de la figure 3 représente l'évolution de la côte $z(t)$ du centre d'inertie G.

0,25 **1-1-**Déterminer, à l'équilibre, l'allongement $\Delta\ell_0$ du ressort en fonction de m, K et de l'intensité de la pesanteur g.

0,25 **1-2-** Etablir l'équation différentielle vérifiée par la côte z du centre d'inertie G.

1 **1-3 -**La solution de cette équation différentielle s'écrit $z = z_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$ avec T_0 la période propre de l'oscillateur.

Déterminer la valeur de K et celle de V_{0z}.

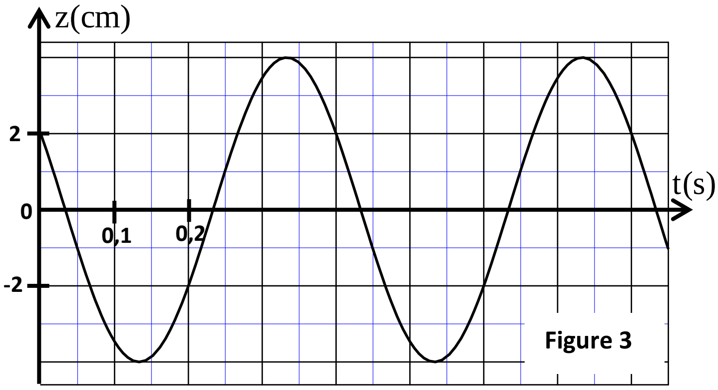


Figure 3

2-Frottements non négligeables

On réalise deux expériences en plongeant l'oscillateur dans deux liquides différents. Dans chaque expérience, on écarte verticalement le solide S de sa position d'équilibre d'une distance z_0 et on l'abandonne sans vitesse initiale à l'instant $t=0$, le solide S oscille alors à l'intérieur du liquide.

Les courbes (1) et (2) de la figure 4 représentent l'évolution de la côte z du centre d'inertie G au cours du temps dans chaque liquide.

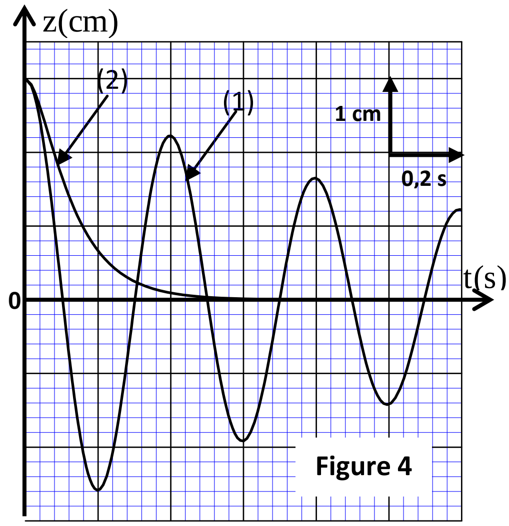


Figure 4

0,5 **2-1-** Associer à chaque courbe le régime d'amortissement correspondant.

2-2-On choisit le plan horizontal auquel appartient le point O, origine du repère $R(O,\vec{k})$, comme état de référence de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} $(E_{pp}=0)$ et l'état où le ressort est non déformé comme état de référence de l'énergie potentielle élastique E_{pe} $(E_{pe}=0)$.

Pour les oscillations correspondant à la courbe (1) :

0,5 **2-2-1-** Trouver , à un instant de date t , l'expression de l'énergie potentielle $E_p = E_{pp} + E_{pe}$ en fonction de K , z et $\Delta\ell'_0$ l'allongement du ressort à l'équilibre dans le liquide.

0,5 **2-2-2-**Calculer la variation de l'énergie mécanique de l'oscillateur entre les instants $t_1=0$ et $t_2=0,4\,s$.

- Chimie –

Partie I : Etude de la pile aluminium - Zinc

1- * Calcul de quotient de réaction à l'état initial :

$$Q_{r,i} = \frac{[Zn^{2+}]_i^3}{[Al^{3+}]_i^2} = \frac{C_2^{\,3}}{C_1^{\,2}} = \frac{(4{,}5.10^{-2})^3}{(4{,}5.10^{-2})^2} = 4{,}5.10^{-2} >> K = 10^{-90}$$

*** Conclusion :**

Le sens de la réaction spontanée est le sens inverse $\overset{(2)}{\leftarrow}$; où il y aura consommation de l'aluminium Al : $2.A\ell_{(s)} + 3.Zn^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2.A\ell^{3+}_{(aq)} + 3.Zn_{(s)}$

2- Schéma conventionnel de la pile :

L'aluminium s'oxyde à l'anode qui est le pole négatif de cette pile.

$$\ominus\, A\ell_{(s)} / A\ell^{3+}_{(aq)} // Zn^{2+}_{(aq)} / Zn_{(s)} \oplus$$

3-1- La concentration des ions Aluminium :

- Tableau d'avancement :

Equation de la réaction		$2.A\ell_{(s)} + 3.Zn^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2.A\ell^{3+}_{(aq)} + 3.Zn_{(s)}$				Quantité de matière des e^- échangés :
Etats du système	Avancement x (mol)	Quantités de matière (mol)				
E. Initial	0	$n_i(A\ell)$	$C_2.V$	$C_1.V$	$n_i(Zn)$	0
E. Intermédiaire	x	$n_i(A\ell)-2.x$	$C_2.V-3.x$	$C_1.V+2.x$	$n_i(Zn)+3x$	$n(e^-)=6.x$
E. Final	x_{max}	$n_i(A\ell)-2.x_m$	$C_2.V-3.x_m$	$C_1.V+2.x_m$	$n_i(Zn)+3x_m$	$n(e^-)=6.x_m$

- Le réactif limitant :

* Si l'aluminium est le réactif limitant ; alors :

$$n_i(A\ell)-2.x_m = 0 \Rightarrow \frac{m_0}{M(A\ell)} - 2.x_m = 0 \Rightarrow x_m = \frac{m_0}{2.M(A\ell)} \overset{A.N}{=} \frac{1{,}35}{2\times 27} = 2{,}5.10^{-2} mo\ell$$

* Si l'ion Zinc est le réactif limitant ; alors :

$$C_2.V - 3.x_m = 0 \Rightarrow x_m = \frac{C_2.V}{3} \overset{A.N}{=} \frac{4{,}5.10^{-2}\times 0{,}1}{3} = 1{,}5.10^{-3} mo\ell$$

On constate que : $1{,}5.10^{-3} mo\ell < 2{,}5.10^{-2} mo\ell$, donc l'ion Zinc est le réactif limitant.

- $[A\ell^{3+}]_f = \frac{C_1.V + 2.x_m}{V} \Rightarrow \underline{[A\ell^{3+}]_f = C_1 + \frac{2.x_m}{V}}$ $A.N : [A\ell^{3+}]_f = 4{,}5.10^{-2} + \frac{2\times 1{,}5.10^{-3}}{0{,}1} \approx \underline{7{,}5.10^{-2} mo\ell.L^{-1}}$

3-2- La durée de fonctionnement de la pile :

La quantité d'électricité qui a circulée pendant la durée Δt est : $Q = I\times\Delta t = 6.x_m \times F$

alors : $\underline{\Delta t = \frac{6.x_m\times F}{I}}$ $A.N$ $\Delta t = \frac{6\times 1{,}5.10^{-3}\times 9{,}65.10^4}{10\times 10^{-3}} \underline{= 8{,}685.10^4 s = 24h7\min 30s}$

Partie II : Synthèse d'un ester, et réaction de benzoate de sodium avec un acide

1- Etude de la synthèse d'un ester :

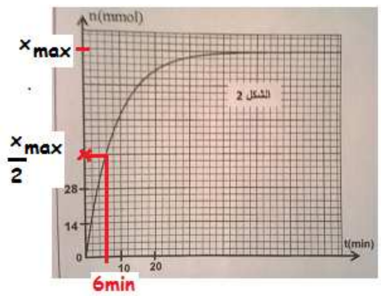
1-1- Choix du chauffage à reflux : C'est d'augmenter la vitesse de réaction, et éviter les pertes des quantités de matière des espèces chimiques.

1-2- Equation chimique :

$$C_6H_5COOH + CH_3OH \rightleftarrows C_6H_5COOCH_3 + H_2O$$

1-3-1- Le bon choix est : c) La vitesse est maximale au début de la réaction.

1-3-2- * Définition : Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement de la réaction prend la moitié de sa valeur atteinte à l'équilibre du système chimique ; c'est-à-dire : $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$



*** Détermination graphique de $x(t_{1/2})$:**

Graphiquement ; $x_f = 84mmo\ell \Rightarrow \frac{x_f}{2} = 42mmo\ell \Rightarrow \underline{t_{1/2} = 6\min}$

1-3-3- Le rendement de la réaction :

Par définition : $r = \frac{n_{exp}(ester)}{n_{théorique}(ester)}$

Graphiquement on a : $n_{exp}(ester) = x_f = 84mmo\ell$

On cherche $n_{théorique}(ester)$:

En se servant du tableau d'avancement de la réaction ; on écrit : $n_{théorique}(ester) = x_{\max}$

* Si l'acide est le réactif limitant ; alors :

$$n_i(acide) - x_m = 0 \Rightarrow \frac{m}{M(ac)} - x_m = 0 \Rightarrow x_m = \frac{m}{M(ac)} \overset{A.N}{=} \frac{12{,}2}{122} = 0{,}1mo\ell$$

* Si l'alcool est le réactif limitant ; alors :

$$n_i(alcool) - x_m = 0 \Rightarrow \frac{m'}{M(al)} - x_m = 0 \Rightarrow x_m = \frac{\rho \times V}{M(al)} \overset{A.N}{=} \frac{0{,}8 \times 8}{32} = 0{,}2mo\ell$$

Donc $n_{théorique}(ester) = x_{\max} = 0{,}1mo\ell$

Finalement : $r = \frac{84.10^{-3}}{0{,}1} = \underline{0{,}84 = 84\%}$

2- Etude de la réaction de benzoate de sodium avec un acide :

2-1- Equation chimique :

$$C_6H_5COO^-{}_{(aq)} + CH_3COOH \rightleftarrows C_6H_5COOH + CH_3COO^-{}_{(aq)}$$

2-2- La constante de l'équilibre :

On sait que $\underline{K = \frac{K_A(CH_3COOH / CH_3COO^-)}{K_A(C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-)} = 10^{pK_{A1} - pK_{A2}}}$ A.N : $K = 10^{4{,}2-4{,}8} \approx \underline{0{,}25}$

2-3- Expression de τ :

En se servant du tableau d'avancement de la réaction ; on écrit :

$K = \left(\dfrac{x_f}{C_1V_1 - x_f}\right)^2 \Rightarrow x_f = \dfrac{C_1.V_1.\sqrt{K}}{\sqrt{K}+1}$; Or $x_m = C_1.V_1$; alors $\tau = \dfrac{x_f}{x_m} \Rightarrow \tau = \dfrac{\sqrt{K}}{\sqrt{K}+1} = \dfrac{\sqrt{0,25}}{\sqrt{0,25}+1} \approx 0,33$

2-4- Expression du pH :

On a $pH = pK_{A1} + \log\left(\dfrac{[C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]}\right) \Rightarrow pH = pK_{A1} + \log\left(\dfrac{x_f}{x_m - x_f}\right) = pK_{A1} + \log\left(\dfrac{x_f/x_m}{x_m/x_m - x_f/x_m}\right)$

Finalement : $pH = pK_{A1} + \log\left(\dfrac{\tau}{1-\tau}\right)$ A.N : $pH = 4,2 + \log\left(\dfrac{0,33}{1-0,33}\right) \approx 3,9$

- Physique -

LES ONDES : Propagation d'une onde ultrasonore

1- Détermination de la vitesse dans l'air :

1-1- Le bon choix est : b) Les ondes ultrasonores ne se propagent pas dans le vide.

1-2- La fréquence N des ondes : $N = \dfrac{1}{T}$ $A.N:\ N = \dfrac{1}{2,5\times 10.10^{-6}} = 4.10^4 Hz = 40kHz$

1-3- Vérification de la vitesse dans l'air :

On a : $d = k.\lambda$ avec $k = 4$ et $\lambda = \dfrac{V_a}{N}$ d'où : $V_a = \dfrac{d}{k}.N$ A.N : $V_a = \dfrac{3,4.10^{-2}}{4}.40000 = 340 m.s^{-1}$

2- Détermination de la vitesse dans l'eau de mer :

2-1- Expression de Δt :

- La vitesse du son est plus grande dans l'eau que dans l'air ;
- Si **Δt** est le retard temporel des ondes reçues dans l'eau par rapport à celles reçues dans l'eau, alors : $\Delta t = \Delta t_{air} - \Delta t_{eau} = \dfrac{\ell}{V_a} - \dfrac{\ell}{V_e} \Rightarrow \Delta t = \left(\dfrac{1}{V_a} - \dfrac{1}{V_e}\right)\times \ell$ (1)

2-2- Détermination de la vitesse Ve :

- La courbe de la figure4 est celle d'une fonction linéaire d'équation :

$\Delta t = K.\ell$ (2) ; K est le coefficient directeur: $K = \dfrac{\Delta(\Delta t)}{\Delta \ell}$

- En comparant (1) et (2) ; on déduit : $\dfrac{1}{V_a} - \dfrac{1}{V_e} = K$

On obtient finalement : $V_e = \dfrac{V_a}{1 - K.V_a}$ A.N : $V_e = \dfrac{340}{1 - \dfrac{2,5.10^{-3} - 0}{1,1 - 0}\times 340} \approx 1496 m.s^{-1}$

L'ELECTRICITE :

Partie I : Etude du dipôle RC et du circuit LC

1- Etude du dipôle RC :

1-1- Expression de la capacité C_e :

- La loi d'additivité des tensions s'écrit : $u = u_{c1} + u_{c2} = \dfrac{q}{C_1} + \dfrac{q}{C_2} = q.\dfrac{C_1 + C_2}{C_1.C_2}$ (1)

- La tension aux bornes du condensateur équivalent s'écrit : $u = \frac{q}{C_e}$ (2)

- En comparant (1) et (2) ; on déduit que : $C_e = \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}$.

1-2- Equation différentielle vérifiée par la tension $u_2(t)$:

D'après la figure1 : $u_1 + u_2 + u_R = E$ (1)

En respectant les conventions : $u_1 = \frac{q}{C_1}$; $u_2 = \frac{q}{C_2}$ et $u_R = R.i = R.\frac{dq}{dt} = RC_2.\frac{du_2}{dt}$

La relation (1) devient : $\frac{C_2}{C_1}.u_2 + u_2 + RC_2.\frac{du_2}{dt} = E$ ou bien $(\frac{C_2}{C_1} + 1).u_2 + RC_2.\frac{du_2}{dt} = E$

Ce qui donne : $\frac{1}{R}.\frac{C_1 + C_2}{C_1C_2}.u_2 + \frac{du_2}{dt} = \frac{E}{RC_2}$; finalement : $\frac{du_2}{dt} + \frac{1}{R.C_e}.u_2 + = \frac{E}{R.C_2}$

1-3- Expression de A et α :

On porte la solution $u_2(t) = A.\left(1 - e^{-\alpha.t}\right)$ dans l'expression de l'équation différentielle :

$\frac{d}{dt}\left[A.\left(1 - e^{-\alpha.t}\right)\right] + \frac{A}{RC_e}.\left(1 - e^{-\alpha.t}\right) = \frac{E}{R.C_2}$ ou bien $A.\underbrace{(\alpha - \frac{1}{R.C_e})}_{=0}.\left(e^{-\alpha.t}\right) + \frac{1}{R}.\underbrace{(\frac{A}{C_e} - \frac{E}{C_2})}_{=0} = 0$

ce qui donne : $A = E.\frac{C_e}{C_2} = E.\frac{C_1}{C_1 + C_2}$ et $\alpha = R.C_e = R.\frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}$

1-4-1- a) valeur de E :

A t=0 ; l'équation différentielle s'écrit : $\left(\frac{du_2}{dt}\right)_{t=0} + \frac{1}{R.C_e}.\underbrace{u_2(t=0)}_{=0} + = \frac{E}{R.C_2}$

On trouve alors : $E = R.C_2.\left(\frac{du_2}{dt}\right)_{t=0}$ $A.N :\ E = 3.10^3 \times 2.10^{-6} \times \frac{4 - 0}{2.10^{-3} - 0} = 12V$

1-4-1- b) valeurs de u_1 et u_2 en régime permanent :

- D'après le graphe2, lorsque $t \to \infty$ alors $u_{2\infty} = 8V$

- D'après le graphe2, lorsque $t \to \infty$ alors $u_{R\infty} = 0$; et en utilisant : $u_{1\infty} + u_{2\infty} + u_{R\infty} = E$ (1)

On obtient : $u_{1\infty} = E - u_{2\infty} - u_{R\infty}$ $A.N :\ u_{1\infty} = 12 - 8 - 0 = 4V$

1-4-2- Montrons que $C_1 = 4\mu F$:

- D'après le graphe2, on trouve la constante $\tau = 4ms = 4.10^{-3}s$

- Son expression est : $\tau = R.C_e = R.\frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}$ donc : $(C_1 + C_2)\tau = R.C_1.C_2$ ou bien :

$C_1 = \frac{C_2.\tau}{R.C_2 - \tau}$ $A.N :\ C_1 = \frac{2.10^{-6} \times 4.10^{-3}}{3.10^3 \times 2.10^{-6} - 4.10^{-3}} = 4.10^{-6}F = 4\mu F$

2- Etude des oscillations dans le circuit LC :

2-1- Equation différentielle vérifiée par la tension $u_L(t)$:

- Loi d'additivité des tensions : $u_2 + u_L = 0$ (1)

- En dérivant (1) on aura : $\frac{du_2}{dt}+\frac{du_L}{dt}=0 \ (2)$

- En convention récepteur : $u_2=\frac{q}{C_2} \ (3)$ avec $i=\frac{dq}{dt}$

- Des relations (2) et (3) ; on écrit : $\frac{1}{C_2}\frac{dq}{dt}+\frac{du_L}{dt}=0 \Rightarrow \frac{1}{C_2}.i+\frac{du_L}{dt}=0 \ (4)$

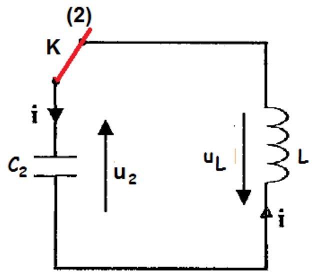


figure1

- En dérivant (4) on aura : $\frac{1}{C_2}.\frac{di}{dt}+\frac{d^2u_L}{dt^2}=0$ or $u_L=L.\frac{di}{dt}$ ou $\frac{di}{dt}=\frac{1}{L}.u_L$

- Finalement on obtient : $\underline{\frac{d^2u_L}{dt^2}+\frac{1}{LC_2}.u_L=0}$

2-2-1- L'énergie totale du circuit LC_2 :

On sait que : $E_{Tot}=E_{éle}+E_{mag}$

$E_{élc}=\frac{1}{2}C_2.u_2{}^2=\frac{1}{2}C_2.u_L{}^2 \quad (u_2=-u_L)$ et $E_{mag}=\frac{L}{2}.i(t)^2=\frac{L.C_2^2}{2}.\left(\frac{du_L}{dt}\right)^2$ car d'après (4) : $i=-C_2.\frac{du_L}{dt}$

Donc $E_{Tot}=\frac{1}{2}C_2.u_L{}^2+\frac{L.C_2^2}{2}.\left(\frac{du_L}{dt}\right)^2$: cette énergie est constante, on la calcule à t=0 :

$$E_{Tot}=\frac{1}{2}C_2.u_L{}^2(0)+\frac{L.C_2^2}{2}.\left(\frac{du_L}{dt}\right)^2_{t=0}$$

et d'après le graphe de la figure3 on trouve : $u_L(0)=-8V$ et $\left(\frac{du_L}{dt}\right)_{t=0}=0$

A.N : $E_{Tot}=\frac{1}{2}C_2.u_L{}^2(0)=\frac{1}{2}\times 2.10^{-6}\times(-8)^2=\underline{6{,}4.10^{-5}\,J=64\mu J}$

2-2-2- Calcul de l'énergie magnétique à t=2,7ms :

On sait que : $E_{mag}=E_{Tot}-E_{éle}$ ou bien $E_{mag}=E_{Tot}-E_{éle}=E_{Tot}-\frac{1}{2}C_2.u_L{}^2$

Donc $E_{mag}(2{,}7ms)=E_{Tot}-\frac{1}{2}C_2.u_L{}^2(2{,}7ms)\Rightarrow E_{mag}(2{,}7ms)=6{,}4.10^{-5}-\frac{1}{2}\times 2.10^{-6}\times(4{,}8)^2\underline{\approx 4{,}1.10^{-5}\,J=41\mu J}$

Partie II : Etude de la qualité d'une modulation d'amplitude

1- Expression du taux de modulation **m** :

On a la tension de sortie : $u(t)=A\left[\frac{m}{S_m}.s(t)+1\right].\cos(2\pi f_p.t)$ avec $s(t)=S_m.\cos(2\pi f_S.t)$

Alors : $u(t)=\underbrace{A.(m.\cos(2\pi f_S.t)+1)}_{amplitude}.\cos(2\pi f_p.t)$; d'où l'amplitude est : $U(t)=A.(m.\cos(2\pi f_S.t)+1)$

* Si $\cos(2\pi f_S.t)=1 \Rightarrow U_{\max}=A.(m+1) \ (1)$
* Si $\cos(2\pi f_S.t)=-1 \Rightarrow U_{\min}=A.(-m+1) \ (2)$

En faisant le rapport de (1) /(2) ; on aura : $\frac{U_{\max}}{U_{\min}}=\frac{A.(m+1)}{A.(-m+1)}\Rightarrow U_{\max}.(1-m)=U_{\min}.(1+m)$

Après le calcul on aboutit à la relation : $\underline{m=\frac{U_{\max}-U_{\min}}{U_{\max}+U_{\min}}}$

2- * Détermination de f_P, f_S et m :

D'après le graphe de la figure5 :

- $16.T_p = 5\times 20.10^{-6} \Rightarrow f_P = \frac{1}{T_p} = \frac{16}{5\times 20.10^{-6}} = 16.10^4\,Hz = 160kHz$
- $T_S = 5\times 20.10^{-6} \Rightarrow f_S = \frac{1}{T_S} = \frac{1}{5\times 20.10^{-6}} = 10^4\,Hz = 10kHz$
- $m = \frac{3\times1-1\times1}{3\times1+1\times1} = 0{,}5$

*** Conclusion :**

On constate que les deux conditions sont réalisées : $m = 0{,}5 < 1$ et $f_S = 10kHz << f_P = 160kHz$

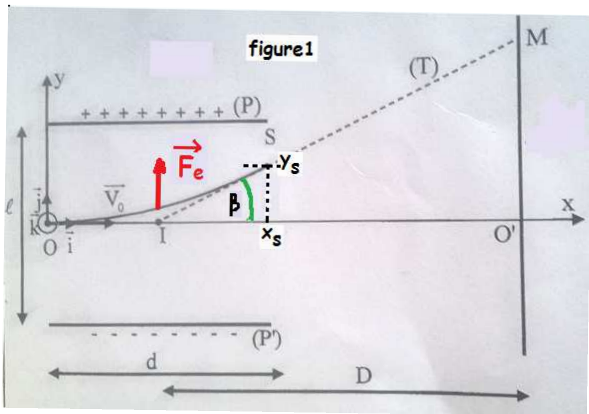
Donc la modulation d'amplitude dans ce cas est bonne.

LA MECANIQUE :

PARTIE I : Etude de l'influence des champs électrique et magnétique sur des électrons

1- Première expérience :

1-1- Equation de la trajectoire:



- Système à étudier : {Un électron(m,e)}
- Repère d'étude R (O ; $\vec{i}; \vec{j}; \vec{k}$) supposé galiléen ;
- Bilan des forces extérieures :

* Action de la force électrique : $\vec{Fe} = -e.\vec{E}$

* L'intensité du poids de l'électron est négligeable devant celle de la force électrique.

- La 2ème loi de newton donne : $\vec{Fe} = m.\vec{a_G}$ ou bien $m.\vec{a_G} = -e.\vec{E}$
- Projection de cette relation vectorielle sur chacun des deux axes Ox et Oy :

$$\begin{cases} m.a_x = -e.E_x = 0 \quad (car\ E_x = 0\ ) \\ m.a_y = -e.E_y = e.E\ (car\ E_y = -E = -\frac{U}{\ell}) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_x = 0 & ;avec\ a_x = dv_x/dt \\ a_y = \frac{eU}{m\ell} & ;avec\ a_y = dv_y/dt \end{cases}$$

- Par intégration et en tenant compte de la condition initiale : $(v_x = v_0\ \ et\ \ v_y = 0)$; on aura:

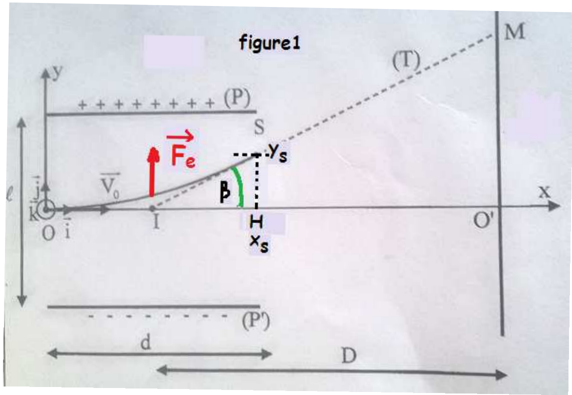
$$\begin{cases} v_x = v_0 & ;avec\ v_x = dx/dt \\ v_y = \frac{eU}{m\ell}.t & ;avec\ v_y = dy/dt \end{cases}$$

- Par intégration et en tenant compte de la condition initiale : $(x_0 = 0\ \ et\ \ y_0 = 0)$; on aura:

$$\begin{cases} x(t) = v_0.t \\ y(t) = \frac{eU}{2m\ell}.t^2 \end{cases}$$, alors $$\begin{cases} t = \frac{x}{v_0} \\ y(x) = \frac{eU}{2m\ell}.\left(\frac{x}{v_0}\right)^2 \end{cases}$$ qui donne l'équation de la trajectoire : $y(x) = \frac{eU}{2m\ell v_0^{\,2}}.x^2$

1-2- Déviation électrique O'M:

Sur la figure1 ci-contre, on a :



$$\tan(\beta)=\frac{O'M}{O'I}=\frac{HS}{HI}\Rightarrow\frac{O'M}{D-\frac{d}{2}}=\frac{y(d)}{\frac{d}{2}}$$

$$\Rightarrow O'M=(D-\frac{d}{2})\times\frac{\frac{eU}{2m\ell v_0^2}.d^2}{\frac{d}{2}}$$

$$\Rightarrow O'M=(D-\frac{d}{2})\times\frac{eUd}{m\ell v_0^2}\quad et\ \ avec\ \ D=30cm>>\frac{d}{2}=3cm\ ,$$

on obtient : $\underline{O'M\approx\frac{eUDd}{m\ell v_0^2}}$

2- Deuxième expérience :

2-1- Sens du vecteur champ magnétique $\vec{B}$:

Les électrons frappent l'écran en O' ; pour cela la force magnétique $\vec{Fm}$ est verticale vers le bas, or $\vec{Fm}=-e.\vec{v_0}\wedge\vec{B}=e.\vec{B}\wedge\vec{v_0}$; donc le trièdre $(\vec{Fm},\vec{B},\vec{v_0})$ est direct, et le vecteur $\vec{B}$ sera porté par l'axe Oz dans le sens contraire de $\vec{k}$; $(\vec{B}=-B.\vec{k}\ \ ;\ symbole\otimes\vec{B})$

2-2- Expression de la vitesse des électrons :

On a $\|\vec{F_m}\|=\|\vec{F_e}\|\Rightarrow\left\|-e.\vec{v_0}\wedge\vec{B}\right\|=\left\|-e.\vec{E}\right\|\Rightarrow v_0.B=E\Rightarrow\underline{v_0=\frac{E}{B}}$

2-2- Expression du rapport e/m :

En utilisant la relation précédente $O'M\approx\frac{eUDd}{m\ell v_0^2}$ $avec\ v_o=\frac{E}{B}=\frac{U}{\ell.B}$

On écrira: $\frac{e}{m}=\frac{O'M.\ell.\left(\frac{U}{\ell.B}\right)^2}{UDd}$ $ou\ bien$ $\underline{\frac{e}{m}=\frac{O'M.U}{D.d.\ell.B^2}}$

A.N: $\frac{e}{m}=\frac{5,4.10^{-2}\times1200}{30.10^{-2}\times6.10^{-2}\times2.10^{-2}\times(1,01.10^{-3})^2}\approx\underline{1,76.10^{11}C.kg^{-1}}$

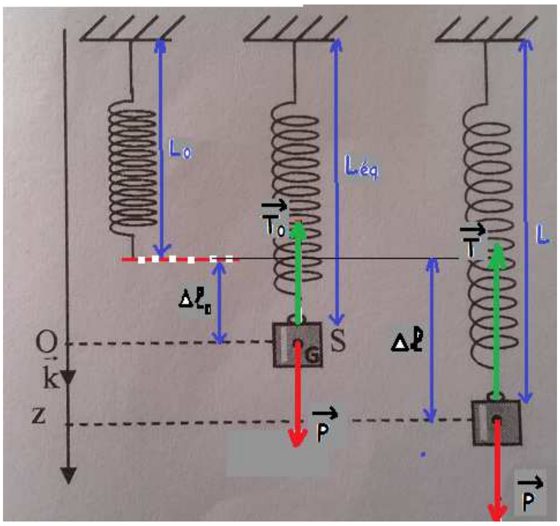
PARTIE II : Etude du mouvement d'un pendule élastique

1- Les frottements sont négligeables :

1-1- Détermination de l'allongement $\Delta\ell_0=L_{éq}-L_0$:

A l'équilibre : $\vec{T}_0+\vec{P}=\vec{0}$, et par projection sur l'axe vertical Oz, on aura :

$T_{0z}+P_z=0$, alors $-k.\Delta\ell_0+m.g=0$ d'où $\underline{\Delta\ell_0=\frac{m.g}{k}}$



1-2- Equation différentielle que vérifie la côte $z(t)$:

- Système à étudier : {corps S}
- Repère d'étude R (O ; $\vec{k}$) supposé galiléen ;
- Bilan des forces extérieures :

* Poids du corps S : $\vec{P}$

* Action du ressort : $\vec{T}$

- La 2ème loi de newton donne : $\vec{P} + \vec{T} = m.\vec{a_G}$;
- Projection de cette relation vectorielle sur l'axe Oz :

$$P - T = m.a_z \Rightarrow mg - K(\Delta\ell_0 + z) = m.\ddot{z}$$

$$\Rightarrow \underbrace{mg - K.\Delta\ell_0}_{=0} - K.z = m.\ddot{z} \quad \Rightarrow \quad \underline{\ddot{z} + \frac{K}{m}.z = 0} \ (1)$$

1-3- Valeur de K et V_{0z} :

* Valeur de la raideur K :

- La solution de cette équation est : $z(t) = z_m.\cos(\frac{2.\pi}{T_0}.t + \varphi)$ et $\ddot{z}(t) = -\left(\frac{2.\pi}{T_0}\right)^2 \underbrace{z_m.\cos(\frac{2.\pi}{T_0}.t + \varphi)}_{z(t)}$ (2)

- En comparant (1) et (2) ; on déduit que : $\frac{K}{m} = \left(\frac{2.\pi}{T_0}\right)^2$, alors $\underline{K = m.\left(\frac{2.\pi}{T_0}\right)^2}$

A.N : $K = 0,2 \times \frac{4 \times \pi^2}{0,4^2} = \underline{50 N.m^{-1}}$

* Valeur de la vitesse initiale V_{0z} :

On a : $\dot{z}(t) = -\frac{2.\pi}{T_0} z_m.\sin(\frac{2.\pi}{T_0}.t + \varphi)$ et $V_{0z} = \dot{z}(0) = -\frac{2.\pi}{T_0} z_m.\sin(\varphi) < 0$ (*voir le graphe* 3)

On a également : $z_0 = z_m.\cos(\varphi) \Rightarrow \cos^2(\varphi) = \left(\frac{z_0}{z_m}\right)^2 \Rightarrow \sin(\varphi) = \sqrt{1 - \left(\frac{z_0}{z_m}\right)^2}$ (*car* $\sin(\varphi) > 0$)

Finalement on aura l'expression : $V_{0z} = -\frac{2.\pi}{T_0} z_m.\sqrt{1 - \left(\frac{z_0}{z_m}\right)^2}$ ou bien $\underline{V_{0z} = -\frac{2.\pi}{T_0}.\sqrt{z_m^2 - z_0^2}}$

A.N : $V_{0z} = -\frac{2.\pi}{0,4} \times \sqrt{(4.10^{-2})^2 - (2.10^{-2})^2} \approx \underline{-0,54 m.s^{-1}}$

1- Les frottements ne sont pas négligeables :

2-1- La correspondance :

- La courbe(1) correspond au régime pseudo-périodique ;
- La courbe(2) correspond au régime apériodique.

2-2-1- Expression de l'énergie potentielle E_p :

- L'énergie potentielle totale est : $E_p = E_{pp} + E_{pe}$ (*)

- L'énergie potentielle de pesanteur est : $E_{pp} = -m.g.z + C$

Or en $z = 0$ on a $E_{pp} = 0$ donc C = 0 ; d'où $E_{pp} = -m.g.z$ (1)

- L'énergie potentielle élastique est : $E_{pe} = \frac{1}{2}.K.\Delta\ell^2 + C'$

Or lorsque $\Delta\ell = 0$ on a $E_{pe} = 0$ donc C ' = 0 ; d'où $E_{pe} = \frac{1}{2}.K.\Delta\ell^2$ (2)

- On porte (1) et (2) dans (*), on aura :

$E_p = -m.g.z + \frac{1}{2}.K.\Delta\ell^2$, avec $\Delta\ell = \Delta\ell'_0 + z$

On écrira : $E_p = -m.g.z + \frac{1}{2}.K.(\Delta\ell'_0 + z)^2 = \underbrace{(-m.g + K.\Delta\ell'_0)}_{=0\,(\text{à l'équilibre})}.\,z + \frac{1}{2}.K.z^2 + \frac{1}{2}.K.(\Delta\ell'_0)^2$

Finalement on aboutit à l'expression : $\underline{E_p = \frac{1}{2}K.z^2 + \frac{1}{2}.K.(\Delta\ell'_0)^2}$

2-2-2- Calcul de la variation de l'énergie mécanique ΔE_m :

Dans le cas du régime pseudo-périodique :

$$\Delta E_m = \Delta E_p + \Delta E_c$$

$$\Rightarrow \Delta E_m = \frac{1}{2}K.(z_2^2 - z_1^2) + \frac{1}{2}m.(\underbrace{\dot{z}_2}_{=0}{}^2 - \underbrace{\dot{z}_1}_{=0}{}^2)$$

$$\Rightarrow \underline{\Delta E_m = \frac{1}{2}K.(z_2^2 - z_1^2)}$$

A.N : $\Delta E_m = \frac{1}{2} \times 50 \times \left((2{,}2.10^{-2})^2 - (3.10^{-2})^2\right) \approx \underline{-1{,}04.10^{-2}\,J}$