مسابقة في مادة الفيزياء — الاسم:
المدة: ساعتان ونصف — الرقم:

Cette épreuve est formée de quatre exercices obligatoires répartis sur quatre pages.
L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.

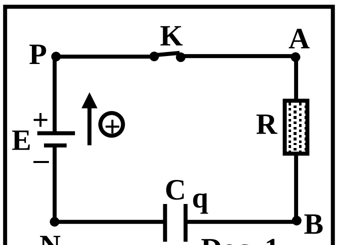
Exercice 1 (4,5pts)

Charge d'un condensateur

Le but de cet exercice est de déterminer la durée minimale dont a besoin un condensateur, pour emmagasiner l'énergie électrique nécessaire afin de pouvoir alimenter ensuite un flash électronique.

Dans ce but, on réalise le circuit du document 1.

Ce circuit comprend, en série : un conducteur ohmique de résistance R = 100 Ω,
un condensateur, initialement neutre, de capacité C = 10 mF, un interrupteur K et un générateur idéal de force électromotrice (f.é.m.) $E = u_{PN} = 12$ V.



Doc. 1

A l'instant $t_o = 0$, on ferme K, un courant électrique d'intensité i traverse le circuit.

1) Reproduire le circuit du document 1 en y indiquant le sens de i.

2) Établir l'équation différentielle qui décrit la variation de la tension $u_C = u_{BN}$ aux bornes du condensateur.

3) La solution de cette équation différentielle est de la forme : $u_C = E\,(1 - e^{\frac{-t}{\tau}})$, où τ est une constante.

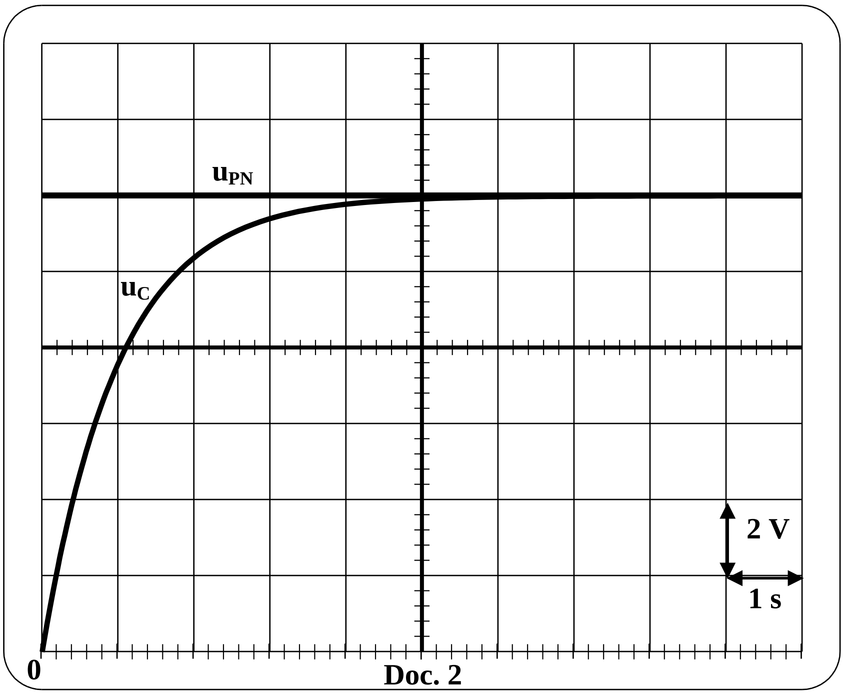
3.1) Déterminer l'expression de τ en fonction de R et C.

3.2) Calculer la valeur de τ.

4) Un oscilloscope est utilisé pour visualiser, sur la voie (Y_1), la tension $u_C = u_{BN}$ aux bornes du condensateur et sur la voie (Y_2), la tension u_{PN} aux bornes du générateur. On visualise les oscillogrammes représentés dans le document 2.

4.1) Indiquer, sur le circuit du document 1, déjà reproduit, les branchements de l'oscilloscope.

4.2) En se référant au document 2, déterminer de nouveau la valeur de τ.



Doc. 2

5) Durant la phase de charge, l'énergie électrique minimale qui doit être emmagasinée dans le condensateur pour pouvoir alimenter ensuite le flash est W = 0,18 J.

5.1) Calculer la valeur de la tension U_1 de u_C lorsque l'énergie emmagasinée dans le condensateur devient 0,18 J.

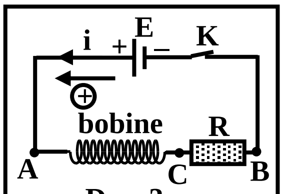
5.2) Déduire, graphiquement, la durée minimale dont a besoin le condensateur pour emmagasiner l'énergie électrique nécessaire pour pouvoir alimenter le flash.

Exercice 2 (5pts)

Étincelles à l'ouverture d'un circuit à forte inductance

On considère un circuit comportant en série une bobine, d'inductance L et de résistance r, un conducteur ohmique de résistance $R = 10^4\ \Omega$, un interrupteur K et un générateur idéal G de tension constante $u_{AB} = E = 20$ V.

On ferme l'interrupteur à l'instant $t_0 = 0$, le circuit est alors parcouru par un courant électrique d'intensité i (Doc. 3).



Doc. 3

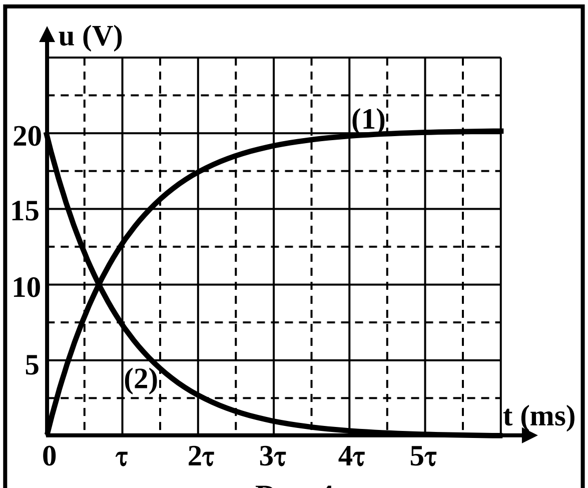
1) Étude théorique

1.1) Établir l'équation différentielle qui décrit la variation de i.

1.2) La solution de cette équation différentielle est de la forme : $i = I_m\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$, où I_m et τ sont des constantes. Déterminer les expressions de I_m et τ en fonction de E, R , r et L.

2) Étude expérimentale

Les courbes (1) et (2) du document 4 montrent les tensions u_{AC} aux bornes de la bobine et u_{CB} aux bornes du conducteur ohmique en fonction du temps t.



Doc. 4

2.1) La courbe (1) représente $u_{CB} = u_R$. Pourquoi ?

2.2) En utilisant la courbe (2), montrer que la résistance r de la bobine peut être supposée négligeable.

2.3) Le régime permanent est pratiquement atteint à t = 0,25 ms. Calculer la valeur de la constante τ du circuit.

2.4) Déduire que L = 0,5 H.

2.5) Déterminer l'énergie magnétique maximale emmagasinée dans la bobine en régime permanent.

3) Ouverture du circuit

On ouvre l'interrupteur K brusquement, l'intensité du courant électrique est supposée décroitre linéairement avec le temps suivant la relation $i = - 2000\ t + 0{,}002$ (SI).

3.1) Calculer la valeur de la f.é.m. d'auto induction dans la bobine durant la décroissance de i.

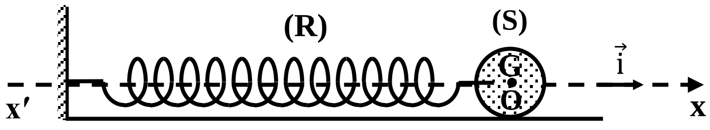
3.2) Déduire que durant la décroissance de l'intensité du courant électrique, des étincelles apparaissent au niveau des contacts de l'interrupteur.

3.3) Proposer une méthode pour protéger l'interrupteur des étincelles.

Exercice 3 (5pts)

Détermination d'une force exercée par un mur sur une balle

Le but de cet exercice est de déterminer l'intensité de la force exercée par un mur sur une balle, durant une collision entre eux. Dans ce but, on utilise un ressort (R) de masse négligeable, à spires non jointives, de constante de raideur k = 51 N/m. Le ressort, placé horizontalement, est relié par l'une de ses deux extrémités à un support fixe. Une balle (S), de masse m = 1 kg, est attachée à l'autre extrémité du ressort. (S) peut se déplacer, sans frottement, sur une surface horizontale et son centre de masse G peut se déplacer le long d'un axe horizontal x'x, de vecteur unitaire $\vec{i}$.



Doc. 5

À l'équilibre G coïncide avec l'origine O de l'axe x'x (Doc. 5).

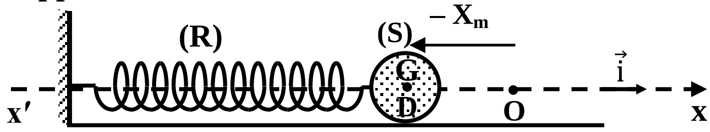
1) Mouvement oscillatoire de (S)

On écarte (S) de sa position d'équilibre vers la gauche, dans le sens négatif, d'un déplacement $\overline{OD} = -X_m$ et on la lâche, à l'instant $t_0 = 0$, sans vitesse initiale comme le montre le document 6.

Le pendule élastique, formé de (S) et du ressort, oscille alors sans frottement avec une période propre T_0.

À un instant t, l'abscisse de G est $x = \overline{OG}$ et la valeur algébrique de sa vitesse est $v = \dfrac{dx}{dt}$.

G atteint le point O, pour la première fois, à un instant t_1 avec une vitesse $\overrightarrow{V_1} = 1\,\vec{i}$ (m/s).



Doc. 6

Prendre le plan horizontal contenant G comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

1-1) En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique du système [(S), Ressort, Terre], déterminer la valeur de X_m.

1-2) Écrire, à l'instant t, l'expression de l'énergie mécanique E_m du système, en fonction de x, m, k et v.

1-3) Établir l'équation différentielle, du second ordre en x, qui régit le mouvement de G.

1-4) Déduire la valeur de T_0.

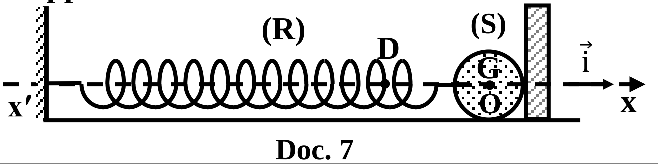
1-5) Choisir du tableau ci-dessous, la relation correcte entre t_1 et T_0.

Relation 1	Relation 2	Relation 3	Relation 4
$t_1 = \dfrac{T_0}{4}$	$t_1 = \dfrac{T_0}{2}$	$t_1 = \dfrac{3T_0}{4}$	$t_1 = T_0$

2) Collision de (S) avec un mur

Lorsque G atteint O à l'instant t_1, (S) entre en collision frontale et parfaitement élastique avec un mur (Doc. 7).

À un instant t_2, juste après la collision, (S) rebondit avec une vitesse $\overrightarrow{V_2} = -1\vec{i}$ (m/s).



Doc. 7

La durée de cette collision est Δt. G continue son mouvement en oscillant avec la même période propre T_0 et atteint de nouveau le point D à un instant t_3.

2.1) Montrer que $t_3 = \dfrac{T_0}{2} + \Delta t$.

2.2) Calculer Δt sachant que $t_3 = 0{,}5$ s.

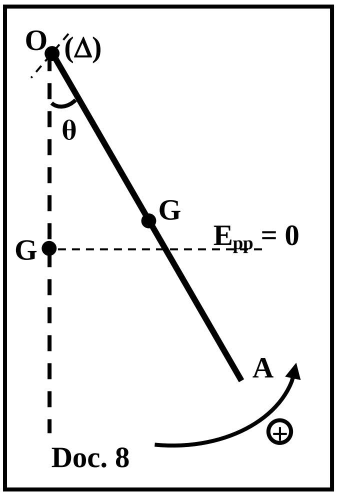
2.3) Déterminer la variation de la quantité de mouvement $\Delta\vec{P}$ de (S), durant sa collision avec le mur, entre t_1 et t_2.

2.4) En appliquant sur (S), la deuxième loi de Newton $\Sigma \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{P}}{dt} \cong \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$, déterminer la valeur de la force $\vec{F}_{mur/(S)}$ (supposée constante) exercée par le mur sur (S) durant la collision. Négliger la valeur de la force de tension exercée par le ressort sur (S) durant la collision.

Exercice 4 (5,5 pts)

Oscillations d'une tige rigide

Un pendule pesant est formé d'une tige métallique rigide, mince et homogène de longueur ℓ = OA et de masse m = 0,5 kg. La tige, de centre de masse G, peut tourner, sans frottement dans un plan vertical autour d'un axe horizontal (Δ) passant par son extrémité supérieure O. Le moment d'inertie de la tige par rapport à (Δ) est $I = \frac{m\ell^2}{3}$.



Doc. 8

Le pendule est écarté, dans un plan vertical, d'un petit angle θ_m à partir de sa position d'équilibre stable, puis on le lâche sans vitesse initiale.
À l'instant $t_0 = 0$, le pendule passe par sa position d'équilibre ($\theta_0 = 0$) dans le sens positif (contre les aiguilles d'une montre).
À un instant t, l'abscisse angulaire du pendule est θ et sa vitesse angulaire est $\theta' = \frac{d\theta}{dt}$ (Doc. 8).

Prendre :

- le plan horizontal passant par la position la plus basse de G comme niveau de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur.
- $\sin\theta \cong \theta$ et $\cos\theta \cong 1 - \frac{\theta^2}{2}$ pour les petits angles mesurés en radians (rad).
- $g = 10$ m/s^2 et $\pi^2 = 10$.

1) Équation horaire du mouvement du pendule

1.1) Déterminer, à l'instant t, l'expression de l'énergie mécanique du système (Pendule, Terre) en fonction de m, g , I, θ , θ', et a = OG.

1.2) Montrer que l'équation différentielle en θ, qui régit le mouvement du pendule est :

$$\theta'' + \frac{3\,g}{2\,\ell}\,\theta = 0.$$

1.3) La solution de l'équation différentielle obtenue est $\theta = \theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$, où ω_0 et φ sont des constantes. Déterminer :

1.3.1) l'expression de la pulsation propre ω_0 en fonction de g et ℓ ;

1.3.2) la valeur de φ.

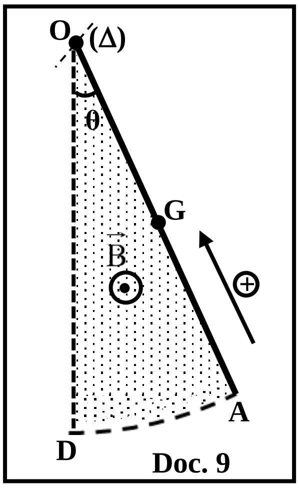
1.4) La tige effectue 10 oscillations pendant 16 s.

1.4.1) Déduire la valeur de ω_0.

1.4.2) Calculer la valeur de ℓ.

2) Induction électromagnétique

L'expérience ci-dessus est répétée dans un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme, horizontal et d'intensité B = 0,19 T. $\vec{B}$ est parallèle à (Δ) comme l'indique le document 9.



Doc. 9

Une force électromotrice f.é.m. « e » est induite dans la tige mais pas de courant induit car le circuit est ouvert.
À un instant t, durant le mouvement de la tige depuis sa position d'équilibre ($\theta_0 = 0$), jusqu'à sa position d'élongation maximale ($\theta = \theta_m$), le flux magnétique à travers la surface hachurée ODA est donné par :

$\phi = \frac{B\ell^2}{2}\,\theta$, où $\theta = \theta_m \sin(\omega_0 t)$ et $t \in \left[0\ ;\ \frac{T_0}{4}\right]$. T_0 est la période propre du pendule.

Durant l'intervalle de temps $\left[0\ ;\ \frac{T_0}{4}\right]$:

2.1) Déterminer l'expression de « e » dans la tige en fonction de B, θ_m ,ℓ, ω_0 et t .

2.2) La tension aux bornes de la tige est u_{AO} = ri – e. Montrer que $u_{AO} = \frac{B\ell^2\omega_0\theta_m}{2}\cos(\omega_0 t)$.

2.3) Sachant que u_{AO} = 0,06 cos(ω_0 t) dans le SI. Déduire la valeur de θ_m.

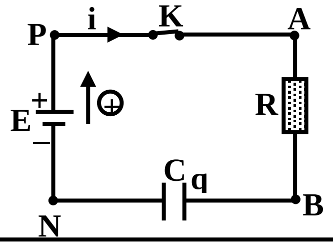
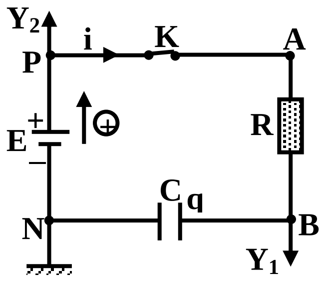
وزارة التربية والتعليم العالي
المديرية العامّة للتربية
دائرة الامتحانات الرسميّة

امتحانات الشهادة الثانوية العامة
فرع العلوم العامّة

دورة العام 2022 العاديّة

مسابقة في مادة الفيزياء	الاسم:
المدة: ساعتان ونصف	الرقم:

Exercice 1 (4,5pts) **Charge d'un condensateur**

Partie		Réponse	Note
1			0,25
2		$u_{PN} = u_{PA} + u_{AB} + u_{BN}$; $E = R\,i + u_C$ mais $i = \frac{dq}{dt}$ et $q = C\,u_C$, donc $i = C\frac{du_C}{dt}$, alors $E = R\,C\frac{du_C}{dt} + u_C$	1
3	3.1	$u_C = E\,(1 - e^{\frac{-t}{\tau}})$, donc $\frac{du_C}{dt} = \frac{E}{\tau}e^{\frac{-t}{\tau}}$ On remplace u_C et $\frac{du_C}{dt}$ dans l'équation différentielle On obtient: $E = R\,C\,\frac{E}{\tau}e^{\frac{-t}{\tau}} + E - E\,e^{\frac{-t}{\tau}}$ donc $E\,e^{\frac{-t}{\tau}}[\frac{RC}{\tau} - 1] = 0$ Cette équation est vérifiée à tout instant t, or $E\,e^{\frac{-t}{\tau}} = 0$ est inacceptable alors $\frac{RC}{\tau} - 1 = 0$ ce qui donne $\tau = RC$	1
	3.2	$\tau = RC = 100\times10^{-2} = 1$ s	0,25
4	4.1		0,25
	4.2	A $t = \tau$, $u_C = 0{,}63\times12 = 7{,}56$ V, d'après le graphe: $u_C = 7{,}56$ s à t = 1 s donc $\tau = 1$ s	0,75
5	5.1	$W = \frac{1}{2}C\,u_C^2$; $0{,}18 = \frac{1}{2}10^{-2}\,U_1^2$ donc $U_1 = 6$ V	0,75
	5.2	D'après le graphe $U_1 = 6$ V à t = 0,7 s	0,25

Exercice 2 (5pts)

Étincelles à l'ouverture d'un circuit à forte inductance

Partie		Réponse	Note
1	**1.1**	$u_{AB} = u_{AC} + u_{CB}$; $E = r\,i + L\frac{di}{dt} + R\,i$; $E = (R+r)\,i + L\frac{di}{dt}$	0,75
	1.2	$i = I_m\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$; $\frac{di}{dt} = \frac{I_m}{\tau}\,e^{\frac{-t}{\tau}}$ on remplace i et $\frac{di}{dt}$ dans l'équation différentielle, on obtient : $E = (R+r)\,I_m\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right) + L\frac{I_m}{\tau}\,e^{\frac{-t}{\tau}}$ $I_m\,e^{\frac{-t}{\tau}}\,[\frac{L}{\tau} - (R+r)] + (R+r)\,I_m = E$ cette équation est vraie à tout instant, par comparaison : $\frac{L}{\tau} - (R+r) = 0$ donc $\tau = \frac{L}{R+r}$ et $(R+r)\,I_m = E$ alors $I_m = \frac{E}{R+r}$	1
2	**2.1**	$u_{CB} = u_R = R\,i$. Le courant augmente durant l'établissement du courant et R est une constante positive, donc u_R augmente avec le temps.	0,25
	2.2	En régime permanent : $i = I_m$ = constant donc $\frac{di}{dt} = 0$ et graphiquement $u_{AC} = 0$ Mais $u_{AC} = r\,i + L\frac{di}{dt}$; $0 = r\,I_m + 0$ et $I_m \neq 0$ donc $r = 0$	0,5
	2.3	Le régime permanent est atteint à t = 0,25 ms = 5 τ donc τ = 0,05 ms	0,25
	2.4	$\tau = \frac{L}{R+r}$; $L = \tau(R + r) = 0{,}05\times10^{-3}\,(10^4 + 0)$ donc L = 0,5 H	0,5
	2.5	$W_{magnétique} = \frac{1}{2}L\,I_m^2$, mais $I_m = \frac{E}{R+r}$; $I_m = \frac{20}{10^4} = 2\times10^{-3}$ A Alors $W_{magnétique} = \frac{1}{2}\times0{,}5\times(2\times10^{-3})^2 = 1\times10^{-6}$ J	0,75
3	**3.1**	$e = -L\frac{di}{dt}$ alors : $e = -0{,}5\times(-2000) = 1000$ V	0,5
	3.2	Car e = 1000 V est une tension très élevée. Donc la tension aux bornes de l'interrupteur est très grande ce qui causera l'apparition des étincelles entre ces bornes	0,25
	3.3	En plaçant un condensateur en dérivation avec l'interrupteur Ou bien : On branche une diode et un conducteur ohmique en dérivation avec la bobine	0,25

Exercice 3 (5pts)

Détermination d'une force exercée par un mur sur une balle

Partie		Réponse	Note
1	1.1	$Em_D = Em_O$; Donc $Epp_D + E_{CD} + Epe_D = Epp_O + E_{CO} + Epe_O$ $Epp_D = Epp_O = 0$ car G est sur le niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur. $E_{CD} = 0$ car $V_D = 0$ et $Epe_O = 0$ car $x_0 = 0$. $\frac{1}{2}k\ X_m^2 = \frac{1}{2}m\ V_1^2$; $\frac{1}{2}\times 51\times X_m^2 = \frac{1}{2}\times 1\times 1$ donc $X_m = 0,14$ m	0,5
	1.2	$Em = Ec + E_{pe} + E_{PP}$; $Em = \frac{1}{2}k\ x^2 + \frac{1}{2}m\ v^2$	0,5
	1.3	Pas de frottement donc Em = constante, donc $\frac{dEm}{dt} = 0$; (La somme des travaux effectués par les forces non-conservatives est nulle) $k\ x\ x' + m\ v\ v' = 0$, mais $x' = v$ et $v' = x''$, donc $v\ (k\ x + m\ x'') = 0$ $v = 0$ inacceptable , alors $k\ x + m\ x'' = 0$ par suite $x'' + \frac{k}{m}x = 0$	0,75
	1.4	L'équation différentielle est de la forme : $x'' + \omega_0^2 x = 0$ donc $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$, mais $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ donc $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$; $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{1}{51}}$; $T_0 = 0,88$ s	0,75
	1.5	$t_1 = \frac{T_0}{4}$	0,25
2	2.1	G se déplace de D vers O pendant $\frac{T_0}{4}$. La durée de la collision est Δt G retourne de O à D pendant $\frac{T_0}{4}$ ce qui donne : $t_3 = \frac{T_0}{4} + \Delta t + \frac{T_0}{4}$ on aura : $t_3 = \frac{T_0}{2} + \Delta t$	0,5
	2.2	$t_3 = \frac{T_0}{2} + \Delta t$; $0.5 = \frac{0,88}{2} + \Delta t$; $\Delta t = 0,06$ s	0,25
	2.3	$\Delta\vec{P} = \vec{P}_{t_2} - \vec{P}_{t_1} = m\vec{V}_2 - m\vec{V}_1$, alors $\Delta\vec{P} = -1\,\vec{i} - 1\,\vec{i} = -2\,\vec{i}$ (kg.m/s)	0,5
	2.4	On applique la deuxième loi de Newton sur (S): $\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$ donc $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mur/(S)} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$ mais $m\vec{g} + \vec{N} = \vec{0}$ $\vec{F}_{mur/S} = \frac{2\,\vec{i}}{0,66} = -33,3\,\vec{i}$ (N)	1

Exercise 4 (5,5pts) Oscillations d'une tige rigide

Part			Réponse	Note
1	1.1		Em = EC + E_{PP} ; Em = $\frac{1}{2}$ I θ'^2 + mgh ; avec h = a(1 – cosθ) donc Em = $\frac{1}{2}$ I θ'^2 + mga(1 – cosθ)	0,75
	1.2		Pas de frottement donc Em = constante, donc $\frac{dEm}{dt} = 0$ (La somme des travaux effectués par les forces non-conservatives est nulle) $I\,\theta'\,\theta'' + mg\,a\,\theta' \sin\theta = 0$, don $\theta'(I\,\theta'' + mg\,a \sin\theta) = 0$; $\sin\theta \cong \theta$ $\theta'(I\,\theta'' + mg\,a\,\theta) = 0$; $\theta' = 0$ inacceptable , donc $I\,\theta'' + mg\,a\,\theta = 0$ $\frac{m\ell^2}{3}\theta'' + mg\frac{\ell}{2}\theta = 0$, donc $\theta'' + \frac{3g}{2\ell}\theta = 0.$	0,75
	1.3	1.3.1	$\theta = \theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$, $\theta' = \omega_0\theta_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$, $\theta'' = -\omega_0^2\theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$, On remplace dans l'équation différentielle, on obtient : $-\omega_0^2\theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi) + \frac{3g}{2\ell}\theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = 0$ $\theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi)\left[-\omega_0^2 + \frac{3g}{2\ell}\right] = 0$, donc $-\omega_0^2 + \frac{3g}{2\ell} = 0$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{3g}{2\ell}}$	1
		1.3.2	$\theta = \theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$: A $t_o = 0$: $\theta_o = 0 = \theta_m \sin\varphi$ $\theta_m \neq 0$, donc $\sin\varphi = 0$, alors $\varphi = 0$ ou $\varphi = \pi$ rad $\theta' = \omega_0\theta_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$: A $t_o = 0$: $\theta'_0 = \omega_0\theta_m \cos(\varphi)$ $\theta'_0 > 0$, donc $\cos(\varphi) > 0$; alors $\varphi = 0$	0,5
	1.4	1.4.1	$10T_0 = 16$ s alors $T_0 = 1,6$ s ; $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = 1,25\,\pi$ rad/s = 3,9 rad/s	0,5
		1.4.2	$\omega_0 = \sqrt{\frac{3g}{2\ell}}$ C ; $\ell = \frac{3\,g}{2\,\omega_0^2} = \frac{3\,(10)}{2\times1.25^2\times10}$; $\ell = 0,96$ m	0,5
2	2.1		$e = -\frac{d\phi}{dt}$ - = ($\frac{B\ell^2}{2}\theta'$); $e = -\frac{B\ell^2}{2}\theta_m\,\omega_0 \cos(\omega_0 t)$	0,5
	2.2		$u_{AO} = ir - e$. le circuit est ouvert i = 0 donc: $u_{AO} = -e$ par suite : $u_{AO} = \frac{B\ell^2\omega_0\theta_m}{2}\cos(\omega_0 t).$	0,5
	2.3		$u_{AO} = 0,06\cos(\omega_0 t) = \frac{B\ell^2\omega_0\theta_m}{2}\cos(\omega_0 t)$; $0,06 = \frac{B\ell^2\omega_0\theta_m}{2}$ $0,06 = \frac{0,19\times(0,96)^2\times1,25\pi\theta_m}{2}$; $\theta_m = 0,17$ rad	0,5