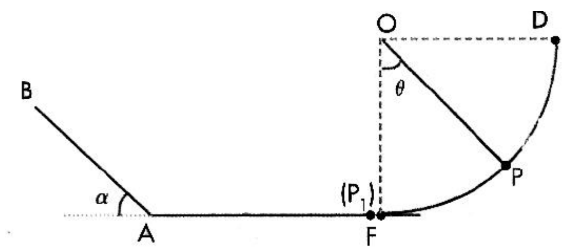
مسابقة في الفيزياء
المدة: ثلاث ساعات

الاسم :
الرقم :

Cette épreuve, formée de quatre exercices obligatoires, est constituée de quatre pages numérotées de 1 à 4.

L'usage des calculatrices non programmables est autorisé.

<u>Premier exercice</u> (7 pts) Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique



Un système matériel (S) comporte un fil inextensible, de masse négligeable et de longueur l = 0,45 m, portant, à l'une de ses extrémités, une particule (P) de masse m = 0,1 kg. L'autre extrémité du fil est fixée, en O, à un support. A l'équilibre, le fil est vertical.
Prendre g = 10 m/s^2.

1) On écarte (S) de sa position d'équilibre d'un angle θ_m = 90°; le fil restant tendu, on abandonne (P) sans vitesse initiale.
Prendre le niveau horizontal FA comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur du système [(S), Terre]. Négliger les frottements autour de O et la résistance de l'air.

a) Calculer l'énergie mécanique du système [(S), Terre] dans sa position initiale [(P) est en D].
b) Déterminer l'expression de l'énergie mécanique du système [(S), Terre] en fonction de l, m, g, V et θ où V est la vitesse de (P) quand (S) passe par la position où le fil fait un angle θ avec la verticale.
c) Déterminer la valeur de θ (0° < θ < 90°) pour laquelle l'énergie cinétique de (P) est égale à l'énergie potentielle de pesanteur du système [(S), Terre].
d) Calculer la valeur V_o de la vitesse $\vec{V}_o$ de (P) quand (S) passe par sa position d'équilibre.

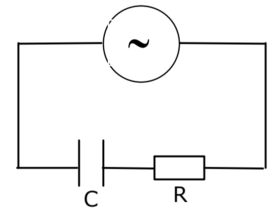
2) En passant par la position d'équilibre, le fil se rompt, et (P) entre en choc frontal avec une particule (P_1) de masse m_1 = 0,2 kg. (P_1) prend alors une vitesse $\vec{V}_1$ de valeur V_1 = 2 m/s. Déterminer la valeur V de la vitesse $\vec{V}$ de (P) juste après le choc, sachant que $\vec{V}_o$, $\vec{V}_1$ et $\vec{V}$ sont colinéaires. Le choc est-il élastique? Justifier la réponse.

3) (P_1), partant à la vitesse V_1 = 2 m/s, se déplace sans frottement le long d'une droite FA et aborde en A, à la vitesse V_1 = 2 m/s, la ligne de plus grande pente AB d'un plan incliné faisant un angle α= 30° avec l'horizontale.

a) En supposant que les frottements sur AB sont négligeables, déterminer la position du point M où (P1) rebrousse chemin.

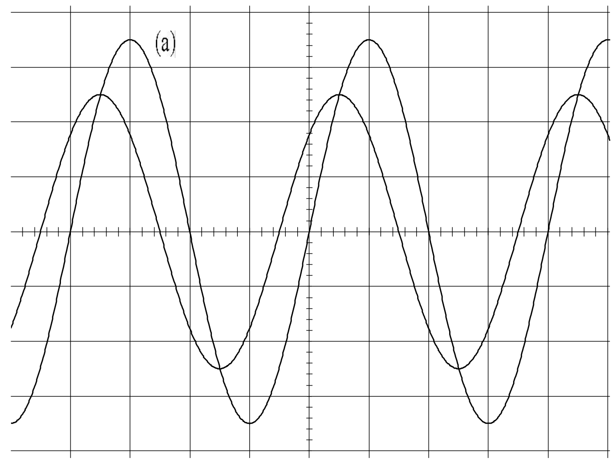
b) En fait, les frottements le long de AB ne sont pas négligeables et (P_1) rebrousse chemin sur AB en un point N tel que AN = 20 cm. Calculer la variation de l'énergie mécanique du système [(P_1), Terre] entre A et N et déduire l'intensité de la force de frottement, supposée constante.

<u>Deuxième exercice</u> (6 ½ points) Détermination de la capacité d'un condensateur

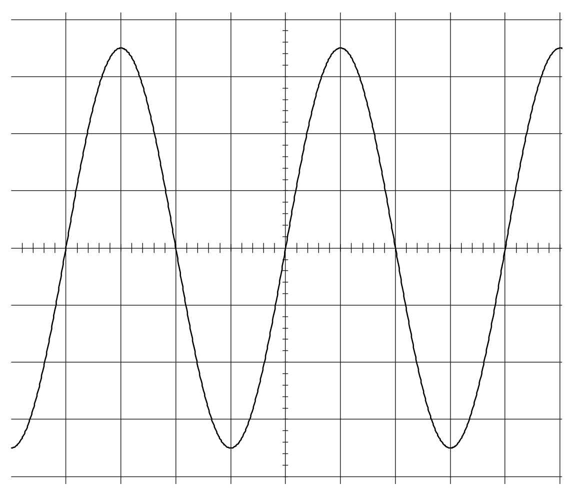


Dans le but de déterminer la capacité C d'un condensateur, on considère les composants suivants:
un GBF présentant entre ses bornes une tension alternative sinusoïdale: $u = U_m \cos \omega t$ (u en V, t en s)
un conducteur ohmique de résistance R = 50 Ω, une bobine d'inductance L = 0,16 H et de résistance négligeable, un oscilloscope et des fils de connexion. (Prendre $0{,}32\pi = 1$).
A) Dans une première expérience, le condensateur et le conducteur ohmique sont montés en série aux bornes du GBF. L'oscilloscope est utilisé pour visualiser la tension u aux bornes du GBF sur la voie Y_1 et la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique sur la voie Y_2. Les réglages de l'oscilloscope sont:

- sensibilité verticale: 2 V/div sur les deux voies.
- sensibilité horizontale: 5 ms/div.



1) Reproduire le schéma du circuit et y montrer les branchements de l'oscilloscope.
2) Les oscillogrammes obtenus sont représentés sur la figure ci-contre.
   a) L'oscillogramme (a) représente u. Pourquoi?
   b) Déterminer la fréquence de la tension u et la différence de phase entre u et u_R.
   c) Ecrire, en utilisant les valeurs numériques de U_m et de ω, les expressions, en fonction du temps, de u et de u_R et déduire l'expression de l'intensité instantanée i du courant dans le circuit.
   d) Sachant que a tension aux bornes du condensateur est: $u_C = \frac{q}{C}$, vérifier que u_C s'écrit sous la forme: $u_C = \frac{3{,}2\text{x}10^{-4}}{C}\cos(\omega t - \frac{\pi}{4})$.
   e) Déterminer la valeur de C en appliquant la loi d'additivité des tensions et en donnant à t une valeur particulière.



B) Dans une deuxième expérience, on place la bobine en série dans le circuit précédent. On obtient ainsi un circuit série RLC. Les branchements de l'oscilloscope restant les mêmes, on observe alors un seul oscillogramme sur l'écran (les deux oscillogrammes sont confondus).
Ce résultat met en évidence un phénomène électrique.
Nommer ce phénomène et calculer de nouveau la valeur de la capacité C.

Troisième exercice (6 ½ points) Radioactivité

On donne les masses des noyaux: m($^{131}_{53}I$) = 130,87697 u; m($^{A}_{Z}Xe$) = 130,87538 u; masse d'un électron = $5,5 \times 10^{-4}$ u;
1 u = 931,5 MeV/c^2; 1 MeV = $1,6 \times 10^{-13}$ J; h = $6,63 \times 10^{-34}$ J.s et c = 3×10^{8} m/s

Pour détecter une anomalie dans le fonctionnement de la thyroïde, on y injecte un échantillon du radionucléide $^{131}_{53}I$. Ce radionucléide a pour période 8 jours et il est émetteur β^-. La désintégration du nucléide $^{131}_{53}I$ donne naissance au noyau fils $^{A}_{Z}Xe$ supposé au repos.

1) a) La désintégration du nucléide $^{131}_{53}I$ s'accompagne d'une émission d'un rayonnement γ. A quoi est due l'émission de ce rayonnement?

b) Ecrire l'équation-bilan de la désintégration d'un noyau de $^{131}_{53}I$.

c) Calculer la constante radioactive de ce radionucléide. En déduire le nombre des noyaux de l'échantillon à la date d'injection sachant que l'activité de l'échantillon à cette date est $1,5 \times 10^{5}$ Bq.

d) Calculer le nombre des noyaux désintégrés au bout de 24 jours.

2) a) Calculer l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau $^{238}_{92}U$.

b) Calculer l'énergie d'un photon γ sachant que la longueur d'onde associée est de $3,55 \times 10^{-12}$ m.

c) L'énergie d'un antineutrino étant 0,07 MeV, calculer l'énergie cinétique moyenne d'un électron émis.

d) Lors de la désintégration des noyaux $^{131}_{53}I$, la glande thyroïde, de masse 40 g, absorbe seulement l'énergie cinétique moyenne des électrons et l'énergie des photons γ. Sachant que la dose absorbée par un corps est l'énergie absorbée par l'unité de masse de ce corps, calculer, en J/kg, la dose absorbée par cette glande durant 24 jours.

<u>Quatrième exercice</u> (7 ½ points)

Effet de la résistance d'un conducteur ohmique dans un circuit électrique

Suivant la valeur de la résistance des conducteurs ohmiques présents dans un circuit électrique, un régime permanent s'établit plus ou moins vite, ou bien, un circuit peut ou non être le siège d'oscillations électriques idéales.
Cet exercice a pour but de montrer l'effet de la résistance d'un conducteur ohmique dans quelques circuits électriques.
On dispose d'un conducteur ohmique (R) de résistance R réglable, d'une bobine (B) de résistance négligeable et d'inductance L = 0,64 H, d'un condensateur (C) de capacité $C = 10^{-6}$ F, d'un générateur (G) de résistance interne négligeable et de force électromotrice E, d'un interrupteur (K), d'un oscilloscope à mémoire et de fils de connexion.

A) Cas du circuit série (R, L)

On réalise le circuit série (R, L) de la figure 1. On ferme l'interrupteur (K) à la date t = 0.

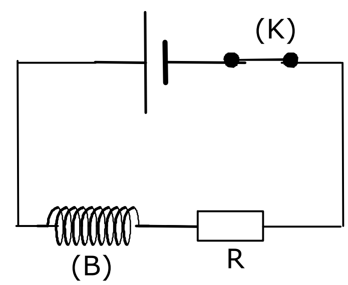


fig 1

1) Etablir, en régime transitoire, l'équation différentielle en $u_R = Ri$ associée au circuit considéré.

2) L'expression $u_R = U_0(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$ vérifie cette équation différentielle.
Déduire les expressions de U_0 et de τ en fonction de E, R et L.

3) Exprimer, en fonction de τ, le temps t au bout duquel le régime permanent est pratiquement atteint.
Que devient alors la tension aux bornes de la bobine?

4) a) Comparer les valeurs de t et de U_0 correspondantes à:
i) $R_1 = 12\ \Omega$; ii) $R_2=60\ \Omega$; iii) $R_3=600\ \Omega$.
b) Dessiner, sur un même système d'axes (t, u_R), l'allure de la courbe représentant u_R relative à chaque valeur de R.
c) Quel est, alors, le rôle de la valeur de R dans l'établissement du régime permanent?

B) Cas du circuit série (R, C)

On réalise le circuit série (R, C) de la figure 2. On ferme (K) à la date t = 0.

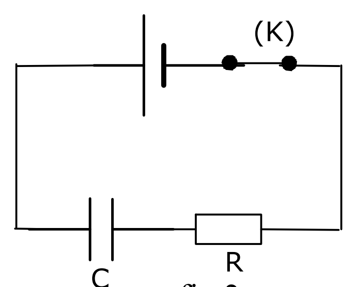


fig 2

1) Etablir, en régime transitoire, l'équation différentielle en $u_C = \frac{q}{C}$ associée au circuit considéré, q étant la charge de l'armature A du condensateur.

2) L'expression $u_C = U_C(1-e^{-\frac{t}{\tau'}})$ vérifie cette équation différentielle.
Déduire les expressions de U_c et de τ ' en fonction de E, R et C.

3) a) Exprimer, en fonction de τ', le temps t' au bout duquel le régime permanent est pratiquement atteint.
Que devient alors la tension aux bornes du conducteur ohmique?
b) Comparer les valeurs de t' et de U_c correspondantes à:
i) $R_1 = 12\ \Omega$; ii) $R_2=60\ \Omega$; iii) $R_3=600\ \Omega$.
c) Dessiner, sur un même système d'axes (t, uc), l'allure de la courbe relative à chaque valeur de R.
d) Quel est, alors, le rôle de la valeur de R dans l'établissement du régime permanent?

C) Cas du circuit série (R, L, C)

On réalise avec (C), chargé, (B) et (R) un circuit série (R, L, C). Ce circuit est le siège d'oscillations électriques libres. L'oscilloscope, branché aux bornes de (C), sert à visualiser l'évolution de u_c en fonction du temps.

Si on donne à R la valeur R = 0 et on ferme (K) à la date t = 0, on observe, sur l'écran de l'oscilloscope, l'oscillogramme de la figure 3.

Si on donne à R une certaine valeur et on ferme (K) à la date t = 0, sans changer les sensibilités de l'oscilloscope, on observe sur l'écran l'oscillogramme de la figure 4.

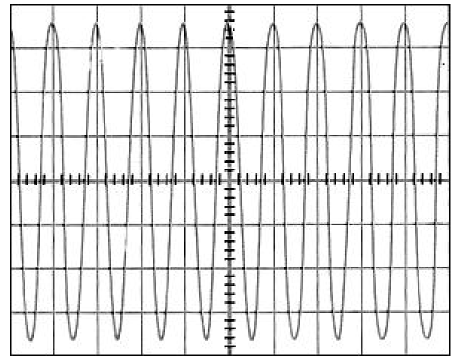


fig 3

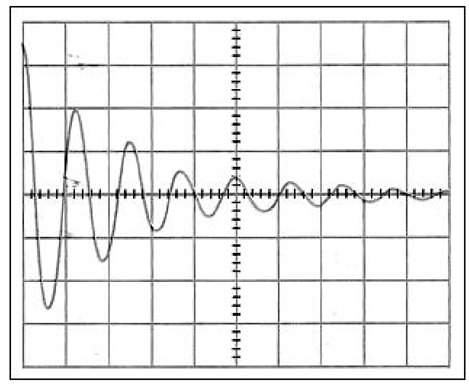


fig 4

1) Donner l'expression de la période propre T_0 du circuit (R, L, C) ainsi réalisé et calculer sa valeur.
2) Déterminer, à partir de l'oscillogramme de la figure 3, la sensibilité horizontale utilisée.
3) a) Dans quel cas les oscillations sont-elle amorties? Pourquoi?
   b) Calculer la valeur de la pseudo-période T des oscillations.
4) Comparer les valeurs de T et T_0. Conclure.

Solution

Premier exercice (7 pts)

1)

a) en D: $E_c = 0$ J car v = 0 m/s

$E_{pp} = mgl = 0,1x10x0,45=0,45$ J

$E_m = E_c + E_{pp} = 0,45$ J (0,75 pt)

b)

$$E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh;\ \text{et } h = l\text{-}l\cos\theta$$

(0,75 pt)

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgl(1\text{-}\cos\theta)$$

c) E_m du système [(S), Terre] est conservée, car les forces de frottement sont négligeables.

$E_m = E_{mD} = 0,45$ J.

$$E_{pp} = E_c = \frac{E_m}{2} = 0,45\text{ J} \Rightarrow E_{pp} = mgl(1\text{-}\cos\theta) = 0,45 \Rightarrow \theta = 60^o$$ (1 pt)

d) $E_m = E_{mF} = 0,45$ J ; $E_{ppF} = 0$.

$$E_c = \frac{1}{2}mV_o^2 = 0,45 \Rightarrow V_o = 3\text{ m/s}$$ (0,5)

2) Lors du choc, la quantité de mouvement du système (P, P_1) est conservée:

$$m\vec{V}_o = m\vec{V} + m_1\vec{V}_1$$

$\vec{V}_o$, $\vec{V}$ et $\vec{V}_1$ sont colinéaires: $mV_o = mV + m_1V_1 \Rightarrow V = \frac{mV_o - m_1V_1}{m_1} = -1$ m/s (1 pt)

E_{ci} du système avant le choc : $E_{ci} = \frac{1}{2}mV_o^2 = 0,45$ J.

E_{cf} du système après le choc : $E_{cf} = \frac{1}{2}mV^2 + m_1V_1^2 = 0,45$ J.

$E_{ci} = E_{cf} \Rightarrow$ le choc est élastique. (0,75 pt)

3)

a) En A, $E_{pA} = 0$ J $\Rightarrow E_{mA} = E_{cA} = \frac{1}{2}m_1V_A^2 = 0,4$ J.

E_m du système (P_1, Terre) est conservée, car les forces de frottement sont négligeables, $E_{mA} = E_{mM}$

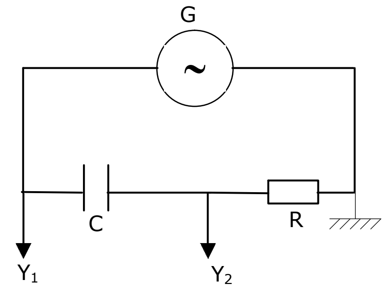
En M, $E_{cM} = 0$ J $\Rightarrow E_{mM} = E_{pM} = m_1gAM\sin\alpha = 0,4 \Rightarrow AM = 0,4$ m . (1 pt)

b) En N, $E_{cN} = 0$ J $\Rightarrow E_{mN} = E_{pN} = m_1gAN\sin\alpha = 0,2$ J

$\Delta E_m = E_{mN} - E_{mA} = -0,20$ J

$$\Delta E_m = W_{\vec{f}} = \vec{f}.\overrightarrow{AN} = -f \times AN \Rightarrow f = \frac{-\Delta E_m}{AN} = \frac{0,2}{0,2} = 1\text{ N}$$ (1,25 pts)

Deuxième exercice (6 ½ points)



1) (0,5 pt)

2)

a) $U_{m(a)} > U_{m(b)}$ (0,5 pt)

b) $T = 4(\text{div}) \times 5 = 20 \text{ ms} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 50 \text{ Hz}$

$T \to 4 \text{ div} \to 2\pi$

$0{,}5 \text{ div} \to \varphi \quad \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{4}$

u est en retard de phase sur u_R ou i de $\frac{\pi}{4}$. (1,25 pts)

c) $\omega = 2\pi f = 100\pi$ rad/s

$u = 7\cos 100\pi t$.

$U_{Rm} = 2{,}5(\text{div}) \times 2 = 5$ V

$u_R = 5\cos(100\pi t + \frac{\pi}{4})$ et $i = \frac{u_R}{R} = 0{,}1\cos(100\pi t + \frac{\pi}{4})$ (1,75 pts)

d) $i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow q = \int i\, dt \Rightarrow u_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C}\int i\, dt = \frac{1}{C}\int[0{,}1\cos(100\pi t + \frac{\pi}{4})]\, dt = \frac{3{,}2\text{x}10^{-4}}{C}\cos(\omega t - \frac{\pi}{4})$ (0,5 pt)

e) $u_G = u_R + u_C = Ri + u_C$

$7\cos 100\pi t = 5\cos(100\pi t + \frac{\pi}{4}) + \frac{3{,}2\text{x}10^{-4}}{C}\cos(\omega t - \frac{\pi}{4})$

Pour t = 0: $7 = 5\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{3{,}2\text{x}10^{-4}}{C} \text{x} \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow C = 64 \times 10^{-6} \text{ F} = 64\ \mu\text{F}$. (1 pt)

B- Le phénomène est le phénomène de résonance d'intensité.

$f = f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{1}{4\pi^2 f_o^2 L} = 64 \text{ x}10^{-6} \text{ F} = 64\ \mu\text{F}$ (1 pt)

Troisième exercice (6 ½ points)

1)

a) L'émission du rayon γ est due à la désexcitation du noyau fils. (0,25 pt)

b) ${}^{131}_{53}I \rightarrow {}^{A}_{Z}Xe + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu} + {}^{0}_{0}\gamma$

La loi de conservation du nombre de charge donne : 53 = Z - 1, d'où Z = 54.

La loi de conservation du nombre de masse donne : 131 = A d'où A = 131. (0,75 pt)

c) $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T_{(s)}} = 10^{-6}$ s. (0,5 pt)

$A_o = \lambda N_o \Rightarrow N_o = \frac{A_o}{\lambda} = 1,5 \times 10^{11}$ noyaux (0,5 pt)

d) t = 24 jours = 3 T, et le nombre des noyaux désintégrés au bout de 3T est: $N\text{-}N_o$

$N = \frac{N_o}{2^3} \Rightarrow N - N_o = 1,31 \times 10^{11}$ noyaux (1 pt)

2) a) (1 pt)

$E = \Delta m \times c^2 = (m_{avant} - m_{après})c^2 = (0,00104) \times 931,5 = 0,96876$ MeV$=0,96876 \times 1,6 \times 10^{-13} = 1,55 \times 10^{-13}$ J

b) $E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} = 5,6 \times 10^{-14}$ J = 0,35 MeV (0,75 pt)

c) Le principe de conservation de l'énergie donne:

$E = E_c(Xe) + E_{ph} + E(\overline{\nu}) + E_c(\beta^-)$

$0,96876 = 0 + 0,35 + 0,07 + E_c(\beta^-) \Rightarrow E_c(\beta^-) = 0,54876 \text{ MeV} = 0,88 \times 10^{-13}$ J (0,5 pt)

d) L'énergie absorbée par la glande lors de désintégration d'un seul noyau est:

$E_1 = 0,55 + 0,35 = 0,9$ MeV

Pour t = 24 jours, $E_2 = E_1 \times 1,31 \times 10^{11} = 1,18 \times 10^{11}$ MeV $= 1,89 \times 10^{-2}$ J

$D = \frac{E_2}{\text{masse}} = \frac{1,89 \times 10^{-2}}{0,04} = 0,47$ J/kg (1,25 pts)

Quatrième exercice **(7 ½ points)**

1) $u_G = u_R + u_B$; $u_R = Ri \Rightarrow i = \dfrac{u_R}{R}$; $u_B = L\dfrac{di}{dt} = \dfrac{L}{R}\dfrac{du_R}{dt}$

$E = u_R + \dfrac{L}{R}\dfrac{du_R}{dt}$ (0,5 pt)

2)

$u_R = U_o(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$; $\dfrac{du_R}{dt} = \dfrac{U_o}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow E = U_o(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \dfrac{L}{R}x(\dfrac{U_o}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}})$

$E = U_o \times e^{-\frac{t}{\tau}}(\dfrac{L}{\tau \times R} - 1) + U_o \quad \forall\ t \Rightarrow$ (0,5 pt)

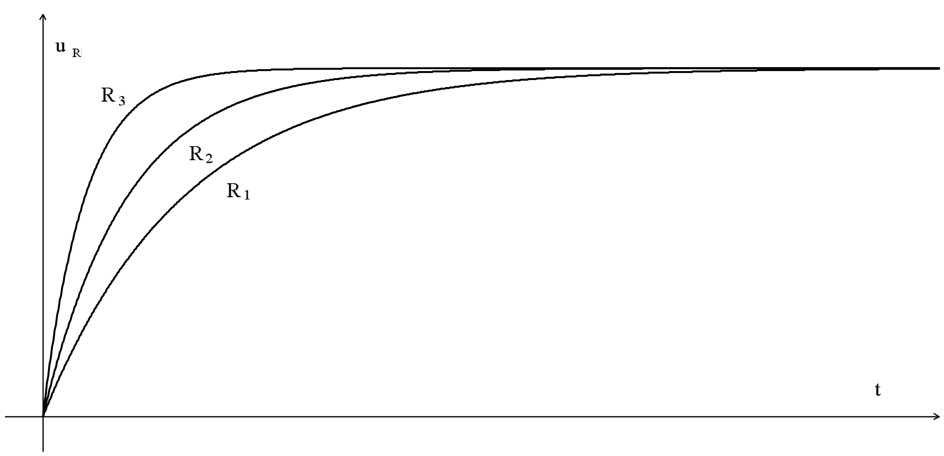
$E = U_o$; $\dfrac{L}{\tau \times R} - 1 = 0 \Rightarrow \tau = \dfrac{L}{R}$

3) Le régime permanent est pratiquement atteint au bout d'un temps $t = 5\tau$.
$u_R \approx U_o$ (0,5 pt)

4) a)

i) $R_1 = 12\ \Omega$: $t_1 = 5\tau_1 = 0{,}267$ s; ii) $R_2 = 60\ \Omega$: $t_2 = 5\tau_2 = 0{,}053$ s ; iii) $R_3 = 600\ \Omega$: $t_3 = 5\tau_3 = 0{,}0053$ s
$U_o = E \quad \forall\ \tau$ (0,5 pt)

b) (0,5 pt)



c) Quand la résistance R augmente, le régime permanent s'établit plus rapidement. (0,25 pt)

B-

1) $u_G = u_R + u_C$; $u_R = Ri \Rightarrow i = \dfrac{dq}{dt} = C\dfrac{du_C}{dt}$;

$E = RC\dfrac{du_C}{dt} + u_C$ (0,5 pt)

2)

$$u_C = U_C(1-e^{-\frac{t}{\tau'}});\ \frac{du_C}{dt} = \frac{U_C}{\tau'}e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow E = U_C(1-e^{-\frac{t}{\tau'}}) + RCx(\frac{U_C}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$E = U_C \times e^{-\frac{t}{\tau'}}(\frac{RC}{\tau'}-1) + U_C \quad \forall\ t \Rightarrow$$ (0,5 pt)

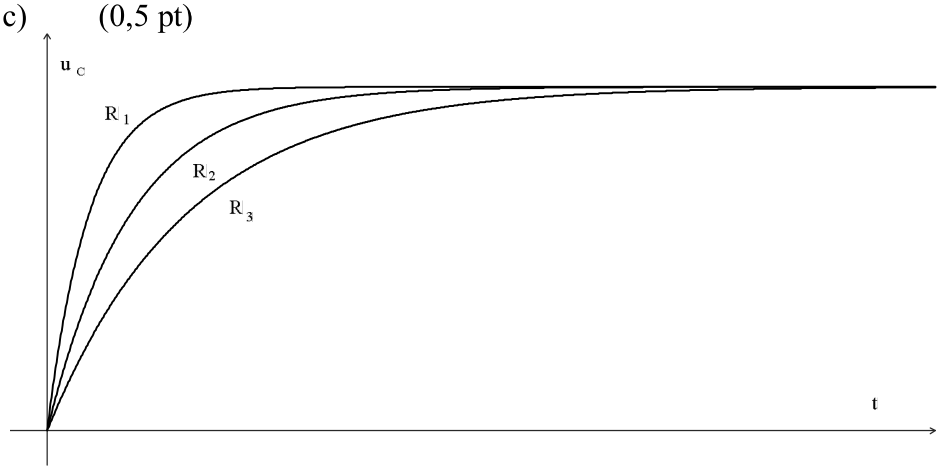
$$E = U_C;\ \frac{RC}{\tau'} - 1 = 0 \Rightarrow \tau' = RC$$

3)

a) Le régime permanent est pratiquement atteint au bout d'un temps $t' = 5\tau'$. (0,5 pt)

b) i) $R_1 = 12\ \Omega : t'_1 = 5\tau'_1 = 6 \times 10^{-5}$ s; ii) $R_2 = 60\ \Omega : t'_2 = 5\tau'_2 = 30 \times 10^{-5}$ s ;
iii) $R_3 = 600\ \Omega : t'_3 = 5\tau'_3 = 6 \times 10^{-6}$ s
$U_C = E\ \ \forall\ \tau$ (0,5 pt)

c) (0,5 pt)



d) Quand la résistance R augmente, le régime permanent s'établit plus lentement. (0,25 pt)

C-

1) $T_o = 2\pi\sqrt{LC} = 5\times10^{-3}$ s = 5 ms. (0,75 pt)

2) T_o = 1(div) x S_h alors S_h = 5 ms/div (0,25 pt)

3)

a) Les oscillations sont amorties car l'amplitude de u_C diminue avec le temps. (0,5 pt)

b) T = 1,25(div) x 5 = 6,25 ms (0,25 pt)

4) $T > T_o$: La pseudo-période augmente avec la résistance du conducteur ohmique dans le circuit. (0,25 pt)