المادة: الفيزياء
الشهادة: الثانوية العامّة
الفرع: العلوم العامة
نموذج رقم ٢
المدّة: ثلاث ساعات

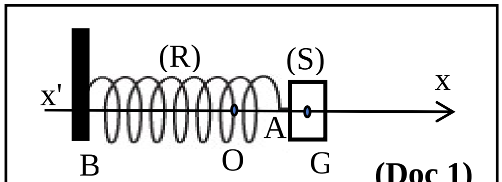
الهيئة الأكاديميّة المشتركة
قسم: العلوم

المركز التربوي للبحوث والإنماء

نموذج مسابقة (يراعي تعليق الدروس والتوصيف المعدّل للعام الدراسي ٢٠١٦-٢٠١٧ وحتى صدور المناهج المطوّرة)

Cette épreuve comporte quatre exercices obligatoires. L'usage des calculatrices non programmables est autorisé.

Exercice 1 (6½ points) Oscillations d'un pendule élastique horizontal

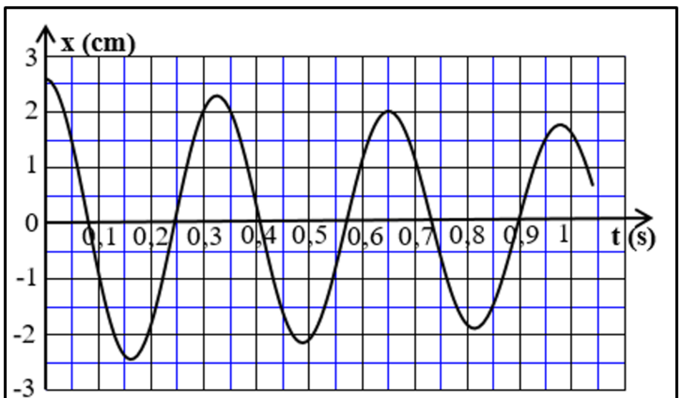


(Doc 1)

Un pendule élastique (R) est constitué d'un solide (S) de masse m, attaché à l'extrémité A d'un ressort horizontal de constante k = 80 N/m ; l'autre extrémité B du ressort est fixée à un support fixe comme l'indique le document (Doc 1) ci-contre.
Le centre d'inertie G du solide peut se déplacer le long d'un axe horizontal x'x. A l'équilibre, le centre d'inertie G de (S) est confondu avec l'origine O de l'axe x'x. On déplace le solide à partir de sa position d'équilibre, puis on le lâche sans vitesse à l'instant $t_0 = 0$.
G commence à osciller de part et d'autre de sa position d'équilibre O.
A un instant t, l'abscisse de G est x et la mesure algébrique de sa vitesse est $v = \frac{dx}{dt} = x'$.
Le plan horizontal contenant G est le niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

1) Oscillations libres non amorties
On néglige la force due au frottement.
1-1) Ecrire, à un instant t, l'expression de l'énergie mécanique du système (pendule, Terre).
1-2) Etablir l'équation différentielle du second ordre en x qui décrit le mouvement de (S).
1-3) En déduire l'expression de la période propre T_0 de ces oscillations.

2) Oscillations libres amorties
En réalité, la force de frottement possède une certaine valeur. En tenant compte des conditions initiales précédentes, un dispositif permet d'enregistrer les variations de x en fonction du temps t comme l'indique le document (Doc 2) ci-contre.
2-1) En se référant au graphique, déterminer la pseudo-période T des oscillations.
2-2) Calculer la puissance moyenne dissipée entre les instants $t_0 = 0$ et $t_1 = 3T$.



(Doc 2)

3) Oscillations forcées
On relie maintenant l'extrémité B du ressort à un vibreur de fréquence réglable f_v et d'amplitude constante. On donne à f_v différentes valeurs et on enregistre, pour chaque valeur de f_v, la valeur correspondante de l'amplitude des oscillations de G comme l'indique le tableau du document (Doc 3) ci-dessous.

(Doc 3)

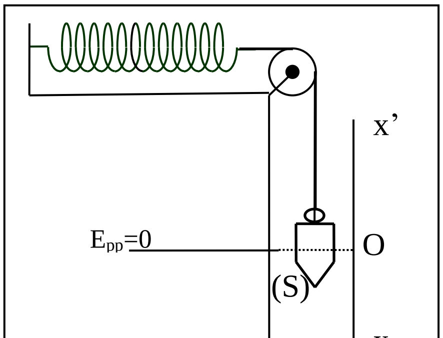
f_v (Hz)	1,5	2	2,5	2,8	3	3,2	3,3	3,6	4	4,5
x_m (cm)	0,4	0,6	1	1,5	2,1	2,3	2	1,5	1	0,7

3-1) En se référant à ce tableau, déterminer la valeur approximative de la période propre des oscillations de (R).
3-2) Déterminer la valeur approximative de la masse m de (S).
3-3) Tracer le graphique donnant les variations de x_m en fonction de f_v.
3-4) Tracer, en le justifiant, l'allure de la courbe précédente lorsque la force de frottement est de valeur plus grande.

Exercice 2 (7½ points) Pendules synchrones

1) Pendule élastique

Un ressort, de raideur k et de masse négligeable, est placé sur une table lisse et horizontale. L'extrémité gauche du ressort est fixée à un support fixe et l'extrémité droite est reliée à l'extrémité d'un fil, de masse négligeable, passant sur une très légère poulie, comme l'indique le document (Doc 4) ci-contre.



(Doc 4)

Une particule (S), de masse m, est attachée à l'autre extrémité du fil. A l'équilibre, (S) est en O.

Prendre le plan horizontal passant par la position d'équilibre de (S') comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur et g = 10 m/s^2. Négliger toute force de frottement.

1-1) Lorsque (S) est en équilibre, elle coïncide avec l'origine O de l'axe vertical x'Ox, et le ressort est allongé de $\Delta\ell$. Montrer que $\Delta\ell = \frac{mg}{k}$.

1-2) La particule, tirée vers le bas de 4 cm, est lâchée sans vitesse à l'instant $t_0 = 0$. À un instant t, l'abscisse de la particule est x et la valeur algébrique de sa vitesse est $v = \frac{dx}{dt} = x'$.

1-2-1) Montrer qu'à l'instant t, l'expression de l'énergie mécanique du système [(S), Terre, ressort, fil, poulie] est donnée par : $E_m = \frac{1}{2}k(\Delta\ell + x)^2 - mgx + \frac{1}{2}mv^2$.

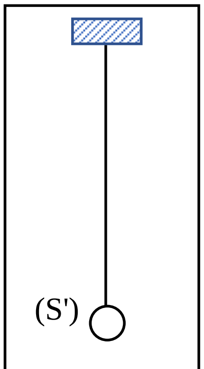
1-2-2) Déterminer l'équation différentielle du second ordre en x qui décrit le mouvement de (S).

1-2-3) En déduire l'expression de la pulsation propre ω_0 du pendule et donner celle de sa période propre T_0 en fonction de $\Delta\ell$ et g.

1-2-4) Déterminer alors l'équation horaire du mouvement de (S) sachant qu'elle est de la forme :
$x = x_m\sin(\omega_0 t + \varphi)$.

2) Pendule simple

Un pendule simple est formé d'un fil inextensible, de masse négligeable et de longueur L, et d'une particule (S') de masse m, comme l'indique le document (Doc 5) ci-contre. Suspendu convenablement, (S') est écarté de sa position d'équilibre d'une élongation angulaire θ_0 = 0,10 rd, puis il est lâché sans vitesse à l'instant $t_0 = 0$. Le pendule effectue des oscillations d'amplitude angulaire θ_m = 0,10 rd. A un instant t, l'abscisse angulaire du pendule est θ et sa vitesse angulaire est $\theta' = \frac{d\theta}{dt}$.



(Doc 5)

Prendre le plan horizontal passant par la position d'équilibre de (S') comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur et g = 10 m/s^2. Négliger toute force de frottement.

Prendre au besoin, pour les faibles valeurs de θ, (θ en rd) : $\cos\theta = 1 - \frac{\theta^2}{2}$ ou $\sin\theta = \theta$.

2-1) Déterminer, à un instant t, l'expression de l'énergie mécanique du système (pendule, Terre).

2-2) Déterminer l'équation différentielle du second ordre en θ qui décrit le mouvement du pendule.

2-3) En déduire l'expression de la pulsation propre ω'_0 de ce pendule, puis donner celle de sa période propre T'_0 en fonction de L et g.

2-4) Déterminer l'équation horaire du mouvement du pendule sachant qu'elle est de la forme :
$\theta = \theta_m\sin(\omega'_0 t + \varphi')$.

3) Comparaison

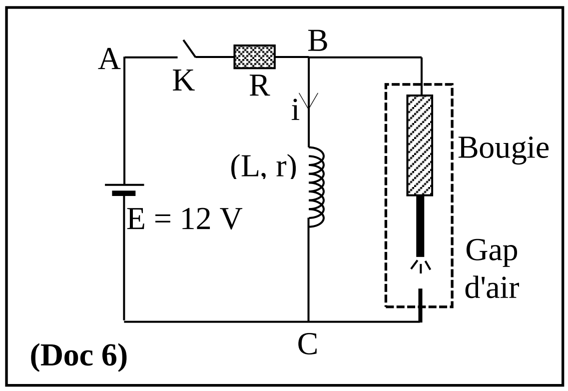
Comparer les périodes propres T_0 et T'_0 de ces pendules et donner la condition à remplir pour qu'un pendule élastique et un pendule simple soient synchrones.

Exercice 3 (6½ points) Étincelles dans le système d'allumage d'un véhicule

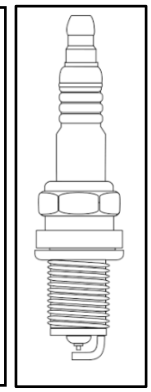
Une bobine est très utile pour la production d'étincelles du fait de sa capacité à s'opposer à des changements rapides de l'intensité du courant.
Le moteur d'une automobile exige que le mélange air-carburant, dans chaque cylindre, soit enflammé à des moments appropriés. Ceci est réalisé au moyen d'une bougie d'allumage, qui se compose essentiellement d'une paire d'électrodes séparées d'une certaine distance par un gap d'air. En créant une tension élevée (quelques dizaines de milliers de volts) entre ces électrodes, une étincelle se forme à travers le gap, enflammant ainsi le carburant.
La bobine du système d'allumage d'un véhicule a une inductance L = 20 mH et une résistance r = 2 Ω.
La batterie de la voiture est de force électromotrice E = 12 V.

1) L'interrupteur K est fermé

Le document (Doc 6) ci-contre, montre le circuit d'une bougie d'allumage d'une voiture où le conducteur ohmique, utilisé pour la protection, a une résistance R = 4 Ω.
A l'instant $t_0 = 0$, l'interrupteur K du circuit est fermé.



(Doc 6)



1-1) L'intensité du courant dans la branche de la bougie d'allumage est considérée nulle. Justifier.
1-2) A un instant t, le circuit est traversé par un courant d'intensité i. En utilisant la loi d'additivité des tensions, déterminer l'équation différentielle en i.
1-3) Déduire, en régime permanent, l'intensité I_0 du courant dans le circuit.
1-4) Calculer le temps nécessaire à i pour atteindre pratiquement sa valeur maximale I_0 sachant que la constante de temps du circuit est $\tau = \frac{L}{(R+r)}$.
1-5) Calculer l'énergie magnétique maximale emmagasinée par la bobine.
1-6) Déterminer, en régime permanent, la tension aux bornes des électrodes, à travers le gap d'air de la bougie d'allumage.
1-7) Une étincelle est une décharge disruptive visible de l'électricité entre deux électrodes de haute tension. Elle est précédée par l'ionisation du gaz (combustible-air) suivie par un effet de chauffage rapide qui brûle le carburant. Préciser si des étincelles sont créées dans le gap d'air lors de la croissance de l'intensité du courant dans le circuit.

2) L'interrupteur K est ouvert

2-1) Lorsque l'interrupteur K est ouvert, l'intensité du courant chute jusqu'à zéro en 1 μs. Déterminer la tension développée aux bornes des électrodes de la bougie.
2-2) Préciser si des étincelles sont alors produites dans le gap d'air.
2-3) Les étincelles dans le gap d'air s'affaiblissent lorsque la distance entre les électrodes devient plus grande. Expliquer pourquoi la bougie d'allumage doit être changée après avoir été utilisée pendant une longue période.

Exercice 4 (7 points) Réactions nucléaires

Considérons les quatre réactions suivantes (1), (2), (3) et (4) et les masses de certains noyaux.

	${}^{1}_{1}H$	${}^{2}_{1}H$	${}^{3}_{1}H$	${}^{4}_{2}He$	${}^{1}_{0}n$	${}^{235}_{92}U$	${}^{140}_{54}Xe$	${}^{94}_{38}Sr$
m(u)	1,0073	2,0141	3,0155	4,0015	1,0087	235,0439	139,9216	93,9153

1 u = $1,66\times10^{-27}$ kg = 931,5 MeV/c^2 ; $c = 3\times10^{8}$ m/s ; 1 eV = $1,6\times10^{-19}$ J.

$${}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{231}_{90}Th + {}^{A}_{Z}X \qquad (1)$$

$${}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H \qquad (2)$$

$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n \qquad (3)$$

$${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2({}^{1}_{0}n) \qquad (4)$$

1) Donner le type de chacune de ces quatre réactions.

2) Considérons la réaction (1).

- **2-1)** Calculer A et Z en indiquant les lois utilisées.
- **2-2)** Nommer la particule X et donner son symbole.

3) Les noyaux de deutérium subissent les réactions nucléaires (2) et (3).

- **3-1)** Écrire la réaction globale (5) qui prend lieu.
- **3-2)** Déterminer, en MeV puis en joules, l'énergie libérée par cette réaction.

4) Considérons la réaction (4).

- **4-1)** Calculer, en u et en kg, la perte de masse.
- **4-2)** Déterminer l'énergie libérée.
- **4-3)** L'énergie libérée par la bombe atomique à Hiroshima a été estimée à l'équivalent de 15 kilotonnes de dynamite ou 63×10^{12} J.
  - **4-3-1)** Calculer le nombre de noyaux d'uranium-235 qui ont subi la fission dans cette bombe en supposant que toutes les réactions de fission sont, du point de vue énergétique, semblables à la réaction (4).
  - **4-3-2)** Déterminer la masse d'uranium-235 nécessaire pour libérer cette énergie.

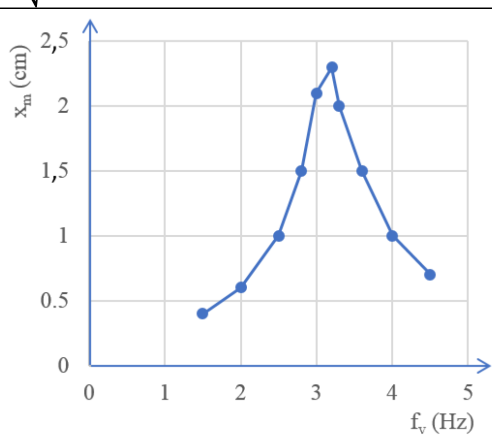
5) La combustion d'une masse m_1 = 1 kg de fioul libère l'énergie E = $4,3\times10^{7}$ J.

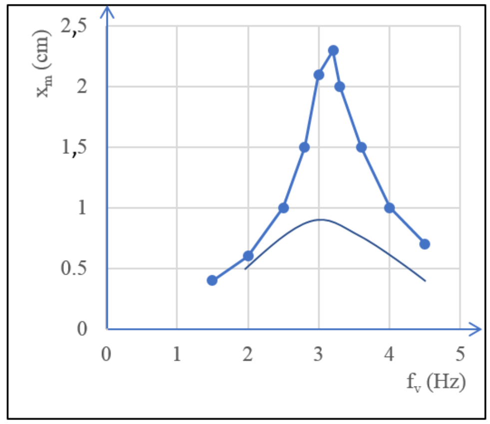
- **5-1)** Déterminer la masse m_2 des noyaux de deutérium et celle m_3 des noyaux d'uranium-235 qui peuvent libérer cette énergie.
- **5-2)** Classer, par ordre croissant, les masses m_1, m_2 et m_3 et indiquer la substance qu'on préfère utiliser afin d'obtenir de l'énergie indépendamment d'autres facteurs.

المادة: الفيزياء الشهادة: الثانوية العامّة الفرع: العلوم العامة نموذج رقم ٢ المدّة: ثلاث ساعات	الهيئة الأكاديميّة المشتركة قسم: العلوم	المركز التربوي للبحوث والإنماء

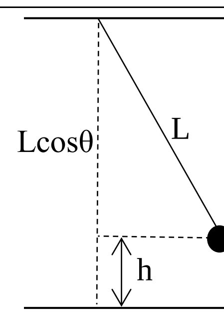
أسس التصحيح (تراعي تعليق الدروس والتوصيف المعدّل للعام الدراسي ٢٠١٦-٢٠١٧ وحتى صدور المناهج المطوّرة)

Exercice 1 (6½ points) Oscillations d'un pendule élastique horizontal

Question	Réponse	Note
1-1	$E_m = E_c + E_p$ $E_m = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2$	¼ ¼
1-2	Il n'y a pas de frottement donc l'énergie mécanique est conservée alors $E_m = cte \quad \forall t$ $\frac{dE_m}{dt} = mvv' + kxx' = 0 \quad \forall t$ $mx'\left(x'' + \frac{k}{m}x\right) = 0 \quad \forall t$ Or mx' n'est pas toujours nulle $x'' + \frac{k}{m}x = 0$	½ ½
1-3	L'équation différentielle est de la forme : $x'' + \omega_0^2 x = 0$ L'oscillateur effectue alors des oscillations harmoniques simples de pulsation propre $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ La période propre est : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	¼ ¼
2-1	A partir du graphique, 3T = 0,98 alors T = 0,327 s	½
2-2	A t = 0, x_0 = 2,6 cm, $E_{m0} = \frac{1}{2} kx_0^2 = 0{,}02704$ J (E_{c0} = 0 car l'élongation est maximale) A t = 3T, x = 1,8 cm, $E_m = \frac{1}{2} kx^2 = 0{,}01296$ J (E_c = 0 car l'élongation est maximale) $P_{moy\ diss} = \frac{\text{Energie perdue}}{\text{durée}} = \frac{0{,}02704 - 0{,}01296}{0{,}98} = 0{,}0144$ W	½ ½
3-1	En se référant au graphique, l'amortissement est relativement très faible. Dans ce cas, la fréquence de résonance est très proche de la fréquence propre du pendule. f_0 correspond à la plus grande amplitude, f_0 = 3,2 Hz donc $T_0 = 1/f_0 = 0{,}3125$ s	½ ½
3-2	$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$; $m = \frac{T_0^2 \times k}{4\pi^2} = \frac{(0{,}3125)^2 \times 80}{4\pi^2} = 0{,}198$ kg	½ ½
3-3		½

3-4	Lorsque la force de frottement augmente, la valeur maximale de l'amplitude de la courbe de résonance devient plus petite, la bande passante plus large et la fréquence de résonance plus petite. Lorsque la force de frottement devient très grande, le phénomène de résonance disparaît et (S) devient sensible à une large gamme de fréquences (la bande passante devient très large). *Remarque : l'allure de la courbe doit assurer le respect des conditions initiales et la situation du problème.*  	½

Exercice 2 (7½ points) Pendules synchrones

Question	Réponse	Note
1-1	La particule (S) est en équilibre : P = T ; $mg = k\Delta\ell \Rightarrow \Delta\ell = \frac{mg}{k}$	½ ½
1-2-1	$E_m = E_c + E_{pp} + E_{pe} = ½\, k(\Delta\ell + x)^2 - mgx + ½\, mv^2$	½
1-2-2	Il n'y a pas de frottement donc l'énergie mécanique est conservée alors $E_m = ½\, k\Delta\ell^2 + ½\, kx^2 + kx\Delta\ell - mgx + ½\, mv^2 = cte\ \forall t$ (avec $k\Delta\ell = mg$) $\frac{dEm}{dt} = 0 + kxx' + mvv' = 0 \quad \forall t$ Or mx' n'est pas toujours nulle $x'' + \frac{k}{m}x = 0$	½ ½
1-2-3	L'équation différentielle est de la forme : $x'' + \omega_0^2 x = 0$ L'oscillateur effectue alors des oscillations harmoniques simples de pulsation propre $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ La période propre est : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta\ell}{g}}$	¼ ¼
1-2-4	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $x = x_m\sin(\omega_0 t + \varphi)$; $v = x_m\omega_0\cos(\omega_0 t + \varphi)$; à $t_0 = 0$: $x_0 = x_m\sin(\varphi) > 0$ et $v_0 = x_m\omega_0\cos(\varphi) = 0$ donc $\varphi = \frac{\pi}{2}$ rd $x_0 = x_m = 4$ cm. $x = 4\sin(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{\pi}{2})$; (t en s et x en cm)	¼ ¼ ¼ ¼
2-1	$E_m = E_p + E_c$ $E_m = mgh + ½\, I\theta'^2 = mgL(1-\cos\theta) + ½\, I\theta'^2$ Sachant que $\theta_m = 0{,}10$ rd < 6°, $\cos\theta = 1 - \frac{\theta^2}{2}$ $E_m = ½\, mgL\theta^2 + ½\, mL^2\theta'^2$  	¼ ¼ ½

2-2	$E_m = \frac{1}{2} mgL\theta^2 + \frac{1}{2} mL^2\theta'^2 = cte \ \forall t$ $\frac{dEm}{dt} = 0$ alors : $mgL\theta\theta' + mL^2\theta'\theta'' = 0$ $mL\theta'$ n'est pas toujours nulle. $g\theta + L\theta'' = 0 \ \Rightarrow \ \theta'' + (g/L)\,\theta = 0$	¼ ½
2-3	L'équation différentielle est de la forme : $\theta'' + \omega'^2_0\theta = 0$ L'oscillateur effectue alors des oscillations harmoniques simples de pulsation propre ω'_0 avec $\omega'^2_0 = \frac{g}{L}$ donc $\omega'_0 = \sqrt{\frac{g}{L}}$ La période propre est : $T'_0 = \frac{2\pi}{\omega'_0} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$	½
2-4	$\theta = \theta_m\sin(\omega'_0t + \varphi')$; $\theta' = \theta'_m\omega'_0\cos(\omega'_0t + \varphi')$; à $t_0 = 0$, $\theta_0 = \theta_m\sin(\varphi') > 0$ et $\theta'_0 = \theta_m\omega'_0\cos(\varphi') = 0$ donc $\varphi' = \frac{\pi}{2}$ rd $\theta_0 = \theta_m = 0,1$ rd $\theta = 0,1\sin(\sqrt{\frac{g}{L}}t + \frac{\pi}{2})$; (t en s et θ en rd)	¼ ¼ ¼
3	$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta\ell}{g}}$ et $T'_0 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ Les pendules sont synchrones : $T_0 = T'_0 \ \Rightarrow \ \Delta\ell = L$	½

Exercice 3 (6½ points) Étincelles dans le système d'allumage d'un véhicule

Question	Réponse	Note
1-1	Car la branche de la bougie est un circuit ouvert à cause du gap d'air.	½
1-2	$u_{AC} = u_{AB} + u_{BC}$; $E = Ri + (ri + Ldi/dt)$ $\frac{E}{L} = \frac{(R+r)}{L}\,i + \frac{di}{dt}$	½ ½
1-3	En régime permanent : $i = I_0 = cte$. $\frac{E}{L} = \frac{(R+r)}{L}\,I_0$ car $di/dt = 0$ $E = (R + r)I_0 \ \Rightarrow \ I_0 = E/(R + r) = 12/6 = 2$ A	 ½ ½
1-4	$\Delta t = 5\tau = 5\frac{L}{(R+r)} = 5 \times 0,02/6 = 0,0167$ s	½
1-5	$E_{magnétique}(max) = \frac{1}{2} LI_0^2 = \frac{1}{2} \times 0,02 \times 2^2 = 0,04$ J	½
1-6	$u_{gap\ d'air} = u_{BC} = rI_0 = 2 \times 2 = 4$ V	½
1-7	Non car $u_{gap\ d'air} = 4$ V est faible.	½
2-1	La f.é.m. induite moyenne est : $e_{moy} = -L(\Delta i/\Delta t) = -0,02 \times (0-2)/10^{-6} = 40000$ V $\lvert u_{gap\ d'air}\rvert = u_{CB} \approx 40000$ V (car ri est supposée très faible).	½ ½
2-2	Oui, des étincelles sont produites dans le gap d'air car la tension est très élevée.	½
2-3	Les étincelles produites dans le gap d'air vont faire fondre progressivement les électrodes de la bougie d'allumage ; ceci provoque une augmentation de la distance entre elles et, par conséquent, les étincelles deviennent plus faibles et la bougie doit être remplacée par une autre nouvelle.	½

Exercice 4 (7 points) Réactions nucléaires

Question	Réponse	Note
1	(1) : radioactivité Naturelle (2) et (3) : fusion (4) : fission	¼ ½ ¼
2-1	En appliquant les lois de Soddy : Conservation du nombre de masse : $235 = 231 + A \Rightarrow A = 4$ Conservation du nombre de charge : $92 = 90 + Z \Rightarrow Z = 2$	¼ ¼ ¼
2-2	Cette particule est un noyau d'hélium-4 de symbole ${}^{4}_{2}He$.	¼
3-1	Additionnons 2 et 3 ; on obtient : $3\ {}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{0}n$ $3\ {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{0}n$ (5)	 ½
3-2	$E_{Lib} = \Delta m.c^2 = [(3\times2{,}0141) - (4{,}0015 + 1{,}0073 + 1{,}0087)] \times 931{,}5$ $E_{Lib} = 0{,}0248 \times 931{,}5 = 23{,}1012$ MeV $= 3{,}696\times10^{-12}$ J	 ½
4-1	$\Delta m = [(1{,}0087 + 235{,}0439) - (139{,}9216 + 93{,}9153 + 2 \times 1{,}0087)]$ $\Delta m = 0{,}1983$ u $= 0{,}1983 \times 1{,}66\times10^{-27}$ kg $= 3{,}292\times10^{-28}$ kg	 ½
4-2	$E_{Lib} = \Delta m.c^2 = 0{,}1983 \times 931{,}5 = 184{,}72$ MeV $= 184{,}72 \times 1{,}6\times10^{-13}$ J $E_{Lib} = 29{,}56\times10^{-12}$ J	 ½
4-3-1	1 noyau libère $29{,}56\times10^{-12}$ J N noyaux libèrent 63×10^{12} J Alors $N = 2{,}131\times10^{24}$ noyaux	 ½
4-3-2	La perte de masse $3{,}292\times10^{-28}$ kg correspond à 1 noyau La perte de masse Δm_{total} correspond à $2{,}131\times10^{24}$ noyaux Alors $\Delta m_{total} = 0{,}0007$ kg La perte de masse $3{,}292\times10^{-28}$ kg correspond à 1 noyau de masse 235,0439 u La perte de masse 0,0007 kg correspond à N noyaux de masse m_t Alors la masse d'uranium utilisé est : $m_t = 4{,}99 \times 10^{26}$ u $= 0{,}83$ kg	 ½ ½
5-1	Pour les noyaux de deutérium : $3m({}^{2}_{1}H) = 6{,}0423$ u $= 10{,}03 \times 10^{-27}$ kg donne $36{,}96\times10^{-13}$J m_2 donne $4{,}3\times10^{7}$J alors on a besoin de $m_2 = 4{,}3\times10^{7} \times 10{,}03\times10^{-27}/36{,}96\times10^{-13} = 1{,}1669\times10^{-7}$ kg Pour les noyaux d'uranium : $m({}^{235}_{92}U) = 235{,}0439$ u $= 3{,}9\times10^{-25}$ kg donne $29{,}56 \times10^{-12}$ J m_3 donne $4{,}3\times10^{7}$ J alors on a besoin de : $m_3 = 4{,}3\times10^{7} \times 3{,}9\times10^{-25}/29{,}56\times10^{-12} = 5{,}67\times10^{-7}$ kg	 ½ ½
5-2	Pour libérer la même quantité d'énergie $4{,}3\times10^{7}$ J, on a besoin de : Fioul : $m_1 = 1$ kg Noyaux de deutérium : $m_2 = 1{,}1669\times10^{-7}$ kg Noyaux d'uranium : $m_3 = 5{,}67\times10^{-7}$ kg $m_2 < m_3 < m_1$ On préfère utiliser les noyaux de deutérium.	 ½