مسابقة في مادة الفيزياء	الاسم:
المدة: ثلاث ساعات	الرقم:

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

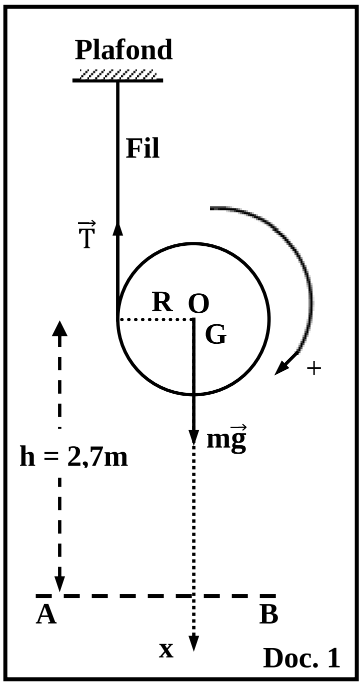
Exercice 1 (7 ½ points)

Roulement d'un disque le long d'un fil vertical

Un fil fin, vertical, est fixé à un plafond par son extrémité supérieure et l'autre extrémité est enroulée autour d'un disque homogène de centre de masse (G), de rayon R et de masse m = 2 kg (Doc. 1).

Ox est un axe vertical orienté positivement vers le bas et d'origine O.
À la date $t_0 = 0$, on lâche le disque à partir du repos et (G) coïncide avec O situé à une hauteur h = 2,7 m d'une ligne horizontale (AB).
(G) se déplace alors d'un mouvement rectiligne le long de l'axe Ox et le disque tourne avec une vitesse angulaire θ' autour de son axe horizontal (Δ) passant par O. Au cours de la descente, le fil reste tangent au disque. Négliger la résistance de l'air.
Le but de cet exercice est de déterminer, par deux méthodes différentes, la vitesse et l'accélération de (G) lorsqu'il passe par la ligne (AB).
Données :

- le plan horizontal contenant (AB) est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur ;
- la vitesse linéaire de (G), à un instant t, est $v = R\,\theta'$;
- le moment d'inertie du disque par rapport à (Δ) est $I = \frac{mR^2}{2}$;
- $g = 10\ m/s^2$.



1- Première méthode : deuxième loi de Newton

Le disque est soumis à deux forces : son poids $m\vec{g}$ et la tension $\vec{T}$ du fil (Doc. 1)

1-1) Déterminer, par rapport à (Δ), l'expression du moment de $\vec{T}$ et la valeur du moment de $m\vec{g}$.

1-2) Appliquer la deuxième loi de Newton en rotation (théorème du moment cinétique) pour montrer que $T = \frac{I\theta''}{R}$ (θ'' est l'accélération angulaire du disque par rapport à (Δ)).

1-3) Appliquer la deuxième loi de Newton en translation pour montrer que T = mg – ma. ($\vec{a}$ est l'accélération linéaire de (G)).

1-4) Montrer que $a = \frac{2g}{3}$.

1-5) Déduire, en fonction de g et t, l'expression de :

1-5-1) la vitesse v de (G) ;

1-5-2) l'abscisse x de (G).

1-6) Déterminer la vitesse de (G) lorsqu'il passe par la ligne (AB).

2- Deuxième méthode : principe de conservation de l'énergie mécanique

2-1) Calculer l'énergie mécanique du système [disque, Terre] à $t_o = 0$.

2-2) Écrire, en fonction de v, m, θ' et I, l'expression de l'énergie mécanique du système [disque, Terre] lorsque (G) passe par la ligne (AB).

2-3) Appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique pour déterminer la vitesse de (G) lorsqu'il passe par la ligne (AB).

2-4) Écrire l'expression de l'énergie mécanique du système [disque, Terre] à un instant t quelconque en fonction de v, m, θ', I, g, h et l'abscisse x de (G).

2-5) Déduire que $a = \frac{2g}{3}$.

<u>Exercice 2</u> (7 points)

Fission de l'uranium 235

Dans un réacteur nucléaire, l'uranium 235 capte un neutron thermique et donne un noyau ${}^{A}_{Z}X$ instable (réaction 1).

${}^{A}_{Z}X$ se divise en deux noyaux Krypton et Baryum (fragments possibles de fission) avec émission de certains nombre de neutrons et une radiation γ (réaction 2).

Réaction 1 : ${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{A}_{Z}X$

Réaction 2 : ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A'}_{36}Kr + {}^{141}_{Z'}Ba + 3\ {}^{1}_{0}n + \gamma$

Données :

la masse du noyau ${}^{235}_{92}U$ est 234,99346 u ;

la masse du noyau ${}^{A'}_{36}Kr$ est 91,90641 u ;

la masse du noyau ${}^{141}_{Z'}Ba$ est 140,88369 u ;

la masse de ${}^{1}_{0}n$ est 1,00866 u ;

1 eV = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J ;

1 u = 931,5 MeV/c^2.

1- Déterminer les valeurs de A, Z, A′, et Z′.

2- Déduire le nom de l'isotope ${}^{A}_{Z}X$.

3- La réaction bilan (réaction de fission) des deux réactions successives précédentes est :

$${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{A'}_{36}Kr + {}^{141}_{Z'}Ba + 3\ {}^{1}_{0}n + \gamma$$

Cette réaction peut engendrer une réaction en chaine. Pourquoi ?

4- Au moins un des fragments de fission est créé à l'état excité. Pourquoi ?

5- Montrer que l'énergie libérée par la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 est : $E_{lib} \simeq 2.8 \times 10^{-11}$J.

6- La première réaction de fission donne 3 neutrons (première génération). On suppose que les trois neutrons stimulent d'autres fissions similaires à la première. Ces fissions donnent 9 neutrons (deuxième génération), et ainsi de suite…

6-1) Déterminer le nombre N de neutrons émis à la $100^{ème}$ génération.

6-2) En supposant que chacun de ces neutrons émis bombarde un noyau d'uranium 235. Déduire l'énergie totale libérée par la fission des noyaux d'uranium bombardés par ces N neutrons.

6-3) Dans une centrale nucléaire, la réaction de fission est contrôlée : en moyenne, un des trois neutrons produits peut stimuler d'autres réactions de fissions. On suppose que la centrale nucléaire fonctionne suivant la réaction de fission précédente et a un rendement de 33 %. Dans un réacteur nucléaire $1{,}5 \times 10^{25}$ noyaux d'uranium 235 subissent la fission chaque jour.

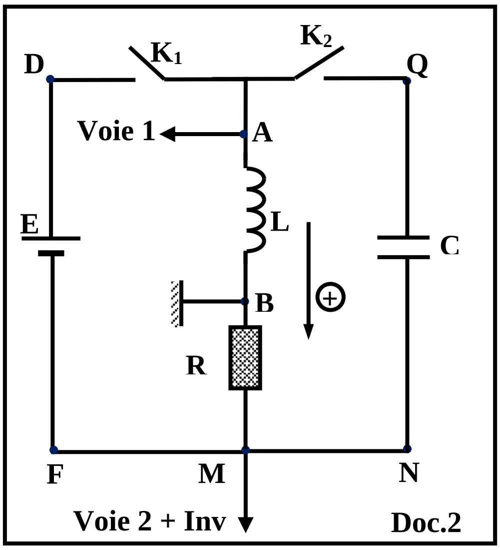
6-3-1) Déterminer l'énergie électrique $E_{élec}$ délivrée par la centrale en un jour.

6-3-2) Déduire la puissance électrique moyenne $P_{élec}$ de cette centrale.

7- Une fois la fusion nucléaire commence, il est difficile de la contrôler. Déduire un avantage de la fission nucléaire par rapport à la fusion nucléaire.

<u>Exercice 3</u> (8 points) Énergie thermique dégagée par un circuit électrique

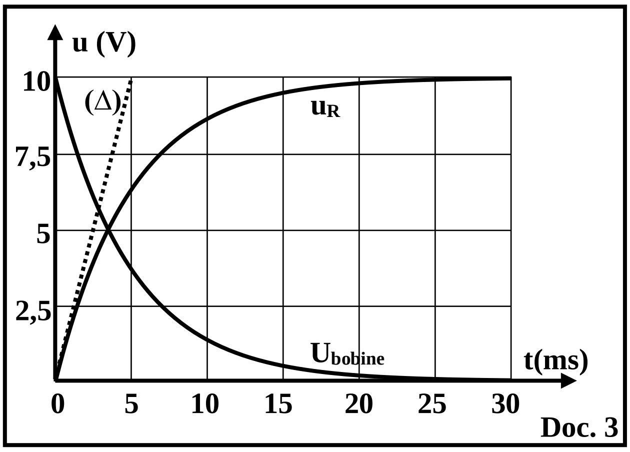
Le but de cet exercice est de déterminer l'énergie thermique dégagée par deux circuits électriques différents.
Le circuit du document 2 est composé d'un générateur idéal DC de tension E = 10 V, d'un conducteur ohmique de résistance R = 100 Ω, d'une bobine d'inductance L, de deux interrupteurs K_1 et K_2 et d'un condensateur de capacité C = 5 µF. Les deux voies (voie 1 et voie 2) d'un oscilloscope sont connectées respectivement aux bornes de la bobine et du condensateur. Le bouton « Inv » inversion de la voie 2 est enfoncé.
Initialement K_1 et K_2 sont ouverts ; le condensateur et la bobine n'emmagasinent aucune énergie.



Doc.2

1- **Détermination de l'énergie thermique dégagée par un circuit série (R, L)**

On ferme K_1 à un instant $t_o = 0$. Les courbes du document 3 représentent les tensions $u_{bobine} = u_{AB}$ et $u_R = u_{BM}$ en fonction du temps t. La droite (Δ) est la tangente à $u_R(t)$ à $t_0 = 0$.



Doc. 3

1-1) Durant l'établissement du courant dans le circuit, l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine augmente. Justifier.

1-2) En se référant au document 3, indiquer la valeur de la tension aux bornes de la bobine en régime permanent.

1-3) En déduire que la résistance de la bobine est négligeable.

1-4) Établir l'équation différentielle qui décrit la variation de u_R en fonction du temps t.

1-5) Se servir de l'équation différentielle pour déterminer $\frac{du_R}{dt}$ à $t_o = 0$ en fonction de R, L et E.

1-6) Montrer que L = 0,5 H en se servant de la tangente (Δ).

1-7) Déterminer l'énergie magnétique maximale W_{mag} emmagasinée dans la bobine.

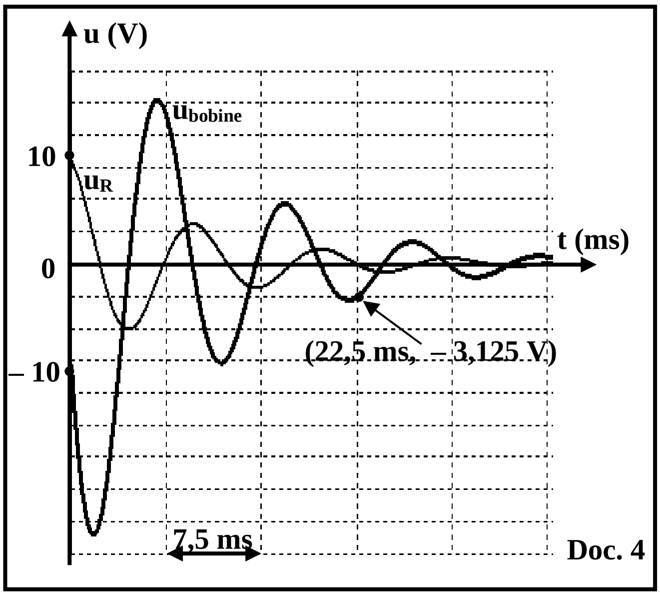
1-8) Le régime permanent est atteint à t = 25 ms, l'énergie thermique dégagée par le conducteur ohmique durant l'intervalle de temps [0 ; 25 ms] est $W_R = 7\ W_{mag}$.

1-8-1) Calculer W_R durant l'intervalle de temps [0 ; 25 ms].

1-8-2) Déterminer l'énergie thermique W'_R dégagée par le conducteur ohmique durant l'intervalle [0 ; 30 ms].

2- **Détermination de l'énergie thermique dégagée par un circuit (R, L, C) série**

Lorsque le régime permanent, dans le circuit, est atteint, on ferme K_2 et on ouvre K_1 simultanément et à un instant $t_o = 0$ pris comme nouvelle origine du temps. Le graphe du document 4 montre $u_R = u_{BM}$ et $u_{bobine} = u_{AB}$ en fonction du temps t.



Doc. 4

2-1) Donner, à $t_o = 0$, la valeur de l'énergie électromagnétique initialement emmagasinée dans le circuit (R, L, C) série.

2-2) À un instant $t_1 = 22{,}5$ ms :

$u_{bobine} = u_{AB} = -\ 3{,}125$ V (Doc.4).

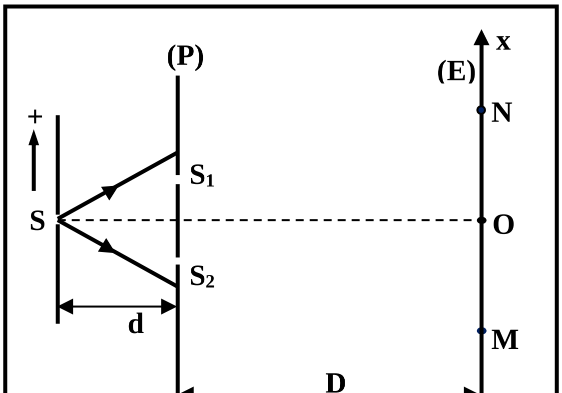
2-2-1) Utiliser le document 4 pour calculer la valeur de l'intensité du courant dans le circuit à l'instant t_1.

2-2-2) Appliquer la loi d'additivité des tensions pour déterminer $u_{NQ} = u_C$ à l'instant t_1.
2-2-3) Déterminer l'énergie électromagnétique dans ce circuit à l'instant t_1.
2-2-4) Déduire la valeur de l'énergie thermique dégagée par ce circuit durant l'intervalle de temps [0 ; 22,5 ms].

<u>Exercice 4</u> (7 ½ points)

Interférence de la lumière

Le document 5 représente le dispositif des fentes d'Young. Un écran vertical (E) peut se déplacer tout en restant parallèle à un écran opaque (P) muni de deux fentes S_1 et S_2 très fines, horizontales, parallèles et distantes de $S_1S_2 = a$.
S est une fente fine, horizontale, située à une distance d de (P). D est la distance entre (E) et (P).
M, N et O, trois points de (E), appartiennent à un axe vertical (Ox). O, milieu de [MN], est équidistant de S_1 et S_2. Une lumière laser, de longueur d'onde λ dans l'air, éclaire la fente S.
Données :
$SS_1 = SS_2$; $\lambda = 600$ nm ; $a = 0,1$ mm ; $MN = 30$ mm ;
$d = 20$ cm ; $x_N = 15$ mm (abscisse du point N).



Doc. 5

1- Étude qualitative

1-1) Les conditions d'obtention des franges d'interférence sont satisfaites. Pourquoi ?
1-2) Nommer le phénomène qui a lieu au niveau de chacune des fentes S_1 et S_2.
1-3) Les franges obtenues sur (E) sont alignées horizontalement. Pourquoi ?

2- Étude expérimentale

La différence de marche optique en un point Q de l'écran, appartenant au champ d'interférence et d'abscisse $x = \overline{OQ}$, est : $\delta = (SS_2+S_2Q) - (SS_1+S_1Q) = \dfrac{ax}{D}$.

2-1) Dans la région d'interférence, le point O est le centre d'une frange brillante pour n'importe quelle valeur de D. Justifier.
2-2) La distance entre (P) et (E) est $D = D_1 = 3$ m.
2-2-1) Définir l'interfrange « i » et calculer sa valeur.
2-2-2) Déduire qu'il existe, entre M et N, une seule frange brillante de centre O.

2-3) La distance entre (P) et (E) est maintenant $D = D_2 = 5$ m.
2-3-1) Montrer que le point N est le centre d'une frange sombre.
2-3-2) On déplace progressivement l'écran (E) parallèlement à lui-même vers (P). Pour $D = D_3$, le point N sera le centre de la première frange brillante. Calculer D_3.
2-4) La fente S subit un déplacement z parallèlement à (P) du côté de l'une des deux fentes.
La différence de marche optique, au point N, devient :

$$\delta' = \frac{az}{d} + \frac{ax_N}{D}$$

2-4-1) Déterminer la relation entre z et D pour que le point N reste le centre de la première frange brillante.
2-4-2) Déduire z pour D = 2 m.
2-4-3) Indiquer alors le sens du déplacement de (S).

مسابقة في مادة الفيزياء
أسس التصحيح

Exercice 1 (7,5 pts) Roulement d'un disque le long d'un fil vertical

Partie		Réponses	Notes
1	1-1	$\mathcal{M}_{m\vec{g}} = 0$puisque $m\vec{g}$ passe par (Δ). $\mathcal{M}_{\vec{T}} = T \times R$.	0,75
	1-2	$\Sigma M_{ext} = \frac{d\sigma}{dt} = I\,\theta''$, donc $\mathcal{M}_{m\vec{g}} + \mathcal{M}_{\vec{T}} = 0 + TR$, alors TR = $I\,\theta''$, par suite $T = \frac{I\theta''}{R}$.	0,75
	1-3	$\Sigma\vec{F}_{ext} = m\vec{a}$; $m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}$. Projection suivant Ox, donc mg – T = ma alors, T = mg – ma.	1
	1-4	$T = \frac{I\theta''}{R} = \frac{mR^2a}{2R^2} = \frac{ma}{2}$. Mais T = mg – ma, donc $mg = \frac{ma}{2} + ma = \frac{3ma}{2}$, par suite $a = \frac{2g}{3}$	0,5
	1-5 1	Primitive de l'accélération on obtient $v = a\,t + V_0$ Alors $v = \frac{2g}{3}\,t$ ($V_0 = 0$)	0,5
	1-5 2	Primitive de la vitesse on obtient $x = \frac{1}{2}\frac{2g}{3}t^2 = \frac{g}{3}t^2$	0,5
	1-6	$h = \frac{g}{3}t^2$; alors $t = \sqrt{\frac{3h}{g}} = \sqrt{\frac{3\times 2,7}{10}}$, donc t = 0.9 Sec. $v = \frac{2g}{3}t = \left(\frac{2g}{3} \times 0,9\right) + 0 = \frac{2\times 10}{3} \times 0,9 = 6$ m/s.	1
2	2-1	$Em_o = Ec + Epp = 0 + mgh = 2 \times 10 \times 2.7 = 54$ J.	0,5
	2-2	$Em_f = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\theta'^2 + 0$	0,5
	2-3	$Em_o = Em_f$, donc $54 = \frac{1}{2}\left(mv^2 + \frac{mR^2v^2}{2R^2}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{3mV^2}{2}\right)$ alors $v = \sqrt{\frac{4 \times 54}{3 \times 2}} = 6$ m/s.	0,5
	2-4	$Em = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\theta'^2 + mg(h - x)$.	0,5
	2-5	$\frac{1}{4}mR^2\theta'^2 = - mgh + mgx - \frac{1}{2}mv^2 + mgh$ ($Em_{(t)} = Em_0$) $\frac{1}{4}mR^2\frac{v^2}{R^2} + \frac{1}{2}mv^2 = mgx$; $\frac{3}{4}mv^2 = mgx$; $v^2 = \frac{4gx}{3}$ Dérivons par rapport au temps, alors $2\,vv' = \frac{4g}{3}x'$ par suite $a = \frac{2g}{3}$	0,5

Exercice 2 (7 pts) Fission de l'uranium-235

Partie			Réponses	Notes
1			Loi de conservation de nombre de charge : $Z = 92 + 0 = 92.$ Loi de conservation de nombre de masse : $A = 235 + 1 = 236.$ $236 = A' + 141 + 3(1)$, alors $A' = 92$. $92 = 36 + Z' + 3(0)$, alors $Z' = 56$	**1,25**
2			${}^{A}_{Z}X$ est uranium puisque $Z = 92$.	**0,25**
3			Car chaque réaction de fission libère 3 neutrons.	**0,5**
4			Car il y a émission des photons γ	**0,25**
5			$E_{lib} = \Delta m \cdot c^2$ $\Delta m = m_{avant} - m_{apres}$ $= [\ 1{,}00866 + 234{,}99346]$ $- [140{,}88369 + 91{,}90641 + 3(1{,}00866)] = 0{,}18604$ $E_{lib} = \Delta m\, c^2 = 0{,}18604\ u\, c^2 = 0{,}18604 \times 931{,}5\ \frac{MeV}{c^2} \times c^2$ $= 173{,}3$ Mev $E_{lib} = 173{,}3 \times 1{,}6 \times 10^{-13}$, donc $E_{lib} \cong 2{,}8 \times 10^{-11}$ J.	**1,5**
6	**6-1**		$1^{ère}$ génération $\rightarrow 3^1$ neutrons. Après 2 générations $\rightarrow 3^2 = 9$ neutrons … A la$100^{ème}$génération $\rightarrow N = 3^{100} = 5.15 \times 10^{47}$ neutrons	**0,5**
	6-2		$E_{total} = N\, E_{lib} = 5{,}15 \times 10^{47} \times 2{,}8 \times 10^{-11} = 1{,}44 \times 10^{37}$ J.	**0,5**
	6-3	**1**	$E_{nuleaire} = 1{,}5 \times 10^{25} \times E_{lib} = 1{,}5 \times 10^{25} \times 2{,}8 \times 10^{-11}$ $= 4{,}2 \times 10^{14}$ J. $E_{electrique} = 0{,}33 \times E_{nucleaire} = 0{,}33 \times 4{,}2 \times 10^{14}$ $= 1{,}39 \times 10^{14}$ J	**1**
		2	$P_{electrique} = \frac{E_{electrique}}{\Delta t} = \frac{1{,}39 \times 10^{14}}{24 \times 3600} = 1{,}6 \times 10^{9}$ W.	**0,75**
7			L'énergie libérée par la fission nucléaire peut être contrôlée donc elle peut être utilisée dans une centrale nucléaire ; alors que la fusion nucléaire ne peut pas être contrôlée donc elle n'est pas utilisée dans une centrale nucléaire.	**0,5**

Exercice 3 (8 pts) Energie thermique dégagée par un circuit électrique				
Partie			**Réponses**	**Notes**
1	1-1		u_R augmente donc i augmente ,$W_{mag} = \frac{1}{2} L\, i^2$, i augmente, donc W_{mag} augmente.	**0,5**
	1-2		$u_{bobine} = 0$.	**0,25**
	1-3		$u_{bobine} = r\,i + L\frac{di}{dt}$. régime permanent : $\frac{di}{dt} = 0$ et $u_{bobine} = 0$. (puisque u_R est constante donc i est constante) et $i \neq 0$, donc $r = 0$.	**0,5**
	1-4		$u_{DE} = u_{AB} + u_{BM}$; $E = L\frac{di}{dt} + u_R$. $u_R = iR$, donc $\frac{di}{dt} = \frac{1}{R}\frac{du_R}{dt}$, alors $\frac{du_R}{dt} + \frac{R}{L}u_R = \frac{R}{L}E$.	**1**
	1-5		À $t_o = 0$; $u_R = 0$, donc à $t_o = 0$: $\frac{du_R}{dt} = \frac{RE}{L}$	**0,5**
	1-6		La pente de la tangente sur u_R à $t_o = 0$, $= \frac{du_R}{dt}$. pente $= \frac{10}{0{,}005} = \frac{RE}{L}$, donc $L = \frac{100\times10\times0{,}005}{10} = 0{,}5H$	**0,75**
	1-7		$W_{max} = \frac{1}{2}LI_{max}{}^2 = \frac{1}{2}\times 0{,}5\times(\frac{10}{100})^2 = 2{,}5\times10^{-3}J$.	**0,75**
	1-8	1	$W_R = 7\,W_{mag} = 7\times2{,}5\times10^{-3} = 17{,}5\times10^{-3}$ J	**0,5**
		2	$W_{chaleur[0\,,\,30\,ms]} = W_{chaleur[0\,,\,25\,ms]} + W_{chaleur[25\,ms\,,\,30\,ms]}$ $= 7\times2{,}5\times10^{-3} + EI_{max}\Delta t = 17{,}5\times10^{-3} + (10\times0.1\times0.005)$ donc $W_{chaleur[0\,,\,30\,ms]} = 22{,}5\times10^{-3}J$.	**0,5**
2	2-1		$W_{em} = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}Cu_C{}^2$à $t_0 = 0 u_C = 0$. donc $W_{em} = \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}\times0{,}5\times(0{,}1)^2 = 2{,}5\times10^{-3}J$.	**0,5**
	2-2	1	A t = 22,5ms; $u_R = 0$; donc i = 0.	**0,5**
		2	$u_{AB} + u_{BM} + u_{MN} + u_{NQ} + u_{QA} = 0$, Donc, $u_{bobine} + u_R + 0 + u_C + 0 = 0$, Alors, $-3{,}125 + 0 + u_C = 0$, donc $u_C = 3{,}125V$	**0,5**
		3	$W'_{em} = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}Cu_c{}^2 = 0 + \frac{1}{2}\times5\times10^{-6}\times3{,}125^2$ $= 2{,}44\times10^{-5}J$.	**0,75**
		4	$W_{chaleur[\,0,\;22{,}5\,ms]} = W_{em} - W'_{em} = 2{,}5\times10^{-3} - 2{,}44\times10^{-5}$ $= 2{,}47\times10^{-3}J$.	**0,5**

Exercice 4 (7,5 pts) Interférence de la lumière				
Partie			**Réponses**	**Notes**
1	**1-1**		Les deux fentes sont éclairées par une même source ponctuelle S.	**0,25**
	1-2		Diffraction.	**0,5**
	1-3		Les franges sont alignées horizontalement car les deux fentes sont dirigées suivant l'horizontal et les franges sont parallèles aux deux fentes.	**0,5**
2	**2-1**		En O: $\delta = \frac{a \times 0}{D} = 0$ pour chaque valeur de D. Donc, O est le centre de la frange brillante central pour chaque valeur de D. **<u>Oubien</u>** $\delta = (SS_2+S_2O)-(SS_1+S_1O) = (SS_2-SS_1)+(S_2O-S_1O) = 0 + 0 = 0$ car $SS_2 = SS_1$ et $S_1O = S_2O$	**0,75**
	2-2	**1**	L'interfrange i est la distance entre les centres de deux franges consécutive de même nature. $i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{600 \times 10^{-9} \times 3}{0,1 \times 10^{-3}} = 18 \times 10^{-3} m = 18 mm.$	**1,5**
		2	$OM = ON = \frac{30}{2} = 15$ mm <i . Par suite, entre N et M on a seulement une seule frange brillante en O.	**0,5**
	2-3	**1**	$i' = \frac{\lambda D}{a} = \frac{600 \times 10^{-9} \times 5}{0,1 \times 10^{-3}} = 30 \times 10^{-3} = 30$ mm $\delta_N = \frac{ax}{D} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$; $(2k+1) = \frac{2ax}{\lambda D} = \frac{2x}{i} = 1$ Donc K = 0 parsuite N occupe le centre de la première frange sombre **<u>Ou bien</u>** : $i' = \frac{\lambda D}{a} = \frac{600 \times 10^{-9} \times 5}{0.1 \times 10^{-3}} = 30 \times 10^{-3} = 30$ mm $x_N = 15 \text{ mm} = \frac{i'}{2}$, donc N occupe le centre de la première frange sombre **<u>Ou bien</u>** $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{ax}{D\lambda} = \frac{x}{i'} = \frac{1}{2}$ Donc $\delta = \frac{1}{2}\lambda$ de la forme $(2k+1)\frac{\lambda}{2}$ Avec K = 0 donc N occupe le centre de la première frange sombre	**0,75**
		2	Pour la première frange brillante, $\delta = k\lambda = \lambda$ (k = 1) $k\lambda = \frac{ax}{D_3}$; $D_3 = \frac{ax}{\lambda} = \frac{10^{-4} \times 15 \times 10^{-3}}{600 \times 10^{-9}} = \frac{15}{6} = 2,5$ m	**1**
	2-4	**1**	$\delta' = \frac{az}{d} + \frac{ax_N}{D} = k\lambda = \lambda$ $\frac{az}{d} = -\frac{ax_N}{D} + \lambda$; $z = -\frac{d}{D}x_N + \frac{\lambda D}{a} = \frac{-3 \times 10^{-3}}{D} + 1,2 \times 10^{-3}$	**0,75**
		2	$z = \frac{-3 \times 10^{-3}}{2} + 1,2 \times 10^{-3} = -0,3 \times 10^{-3}$ m	**0,5**
		3	z < 0 ; donc S s'est déplacée vers le bas	**0,5**