## Exercice 1 : Réalisation d'un diapason électronique, de sa conception à son alimentation électrique

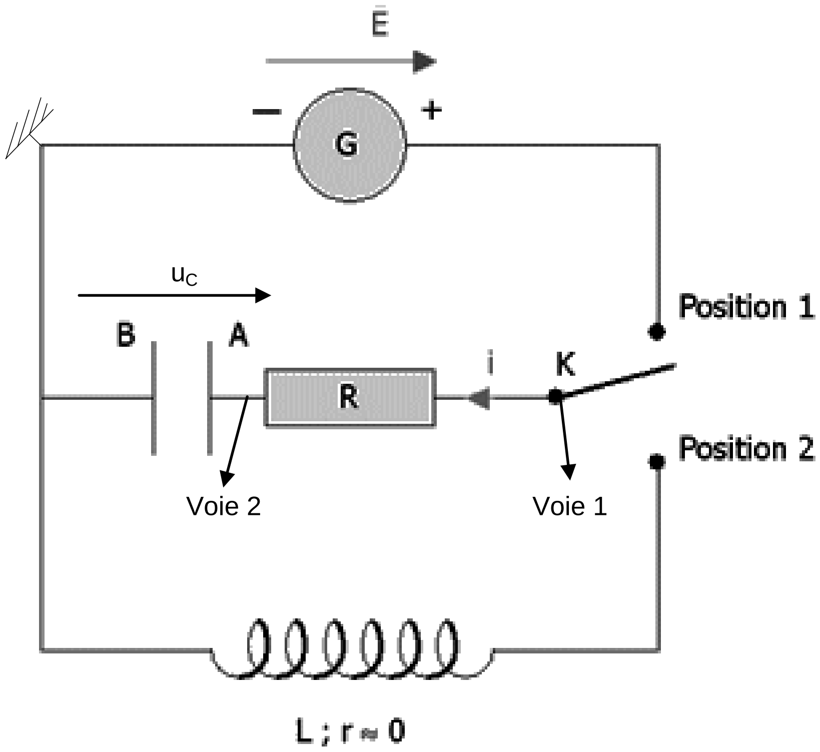
## CORRECTION

### Partie 1 : étude électrique

**1.1.** **(0,5)** Représenter, sur le schéma de l'**annexe 1**, la tension $u_C$ aux bornes du condensateur par une flèche correctement orientée, en respectant la convention récepteur.

**1.2.** **(0,5 tout ou rien)** Ajouter, sur le schéma précédent, les connexions à l'oscilloscope permettant de visualiser à la fois :

- sur la voie 1 : la tension E positive, aux bornes du générateur, lorsque l'interrupteur est en position 1.
- sur la voie 2 : la tension $u_C$, en convention récepteur, aux bornes du condensateur.




**1.3.** **(0,25)** Donner la relation entre la charge $q_A$ , la tension $u_C$ et la capacité C.

$$i = \frac{dq_A}{dt}$$

**1.4.** **(1 dont 0,5 pour les justifications claires)** En vous aidant des réponses aux questions précédentes, établir l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C$ aux bornes du condensateur, lors de sa charge.

On a, d'après la loi d'additivité des tensions :

$E = u_R + u_C$

Or

$$u_R = R.i = R.\frac{dq_A}{dt}$$

De plus $u_C = \frac{q_A}{C}$

D'où $$u_R = R.i = R.\frac{dq_A}{dt} = R.C.\frac{du_C}{dt}$$

Enfin

$$E = R.C.\frac{du_C}{dt} + u_C$$

**1.5.** **(0,5 on évalue uniquement le calcul)** Quelle est l'expression de la constante de temps d'un tel dipôle (aucune démonstration n'est, ici demandée) ? Déterminer sa valeur théorique notée $\tau_{théo}$.

L'expression de la constante de temps d'un tel dipôle est : $\tau = R.C$

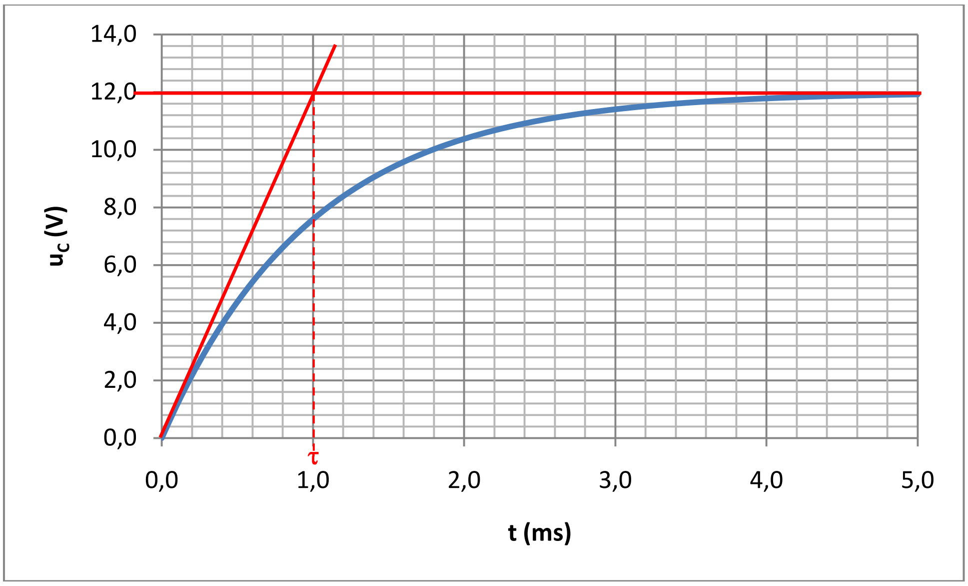
Ainsi

$\tau_{théo} = R.C = 1230 \times 1{,}02.10^{-6}$

$\tau_{théo} = 1{,}25.10^{-3}$ s

**1.6.** **(0,5 : méthode + 0,5 : construction graphique et mesure avec le bon nombre de C.S.)** Déterminer graphiquement la valeur de $\tau$ sur l'**annexe 2,** en justifiant la méthode employée.

On utilise la méthode de la tangente à l'origine : on trace la tangente à l'origine et l'asymptote horizontale. $\tau$ est l'abscisse du point d'intersection entre ces deux droites.




$\tau$ = 1,0 ms

**1.7.** **(0,5)** Comparer les deux résultats précédents en calculant un écart relatif entre valeur théorique et la valeur mesurée.

$$\left|\frac{\tau_{théo} - \tau}{\tau_{théo}}\right| = \left|\frac{1{,}25.10^{-3} - 1{,}0.10^{-3}}{1{,}25.10^{-3}}\right|$$

$$\left|\frac{\tau_{théo} - \tau}{\tau_{théo}}\right| = 20\ \%$$

**1.8.** Calculer l'énergie stockée dans le condensateur, lorsque celui-ci est complètement chargé.

Lorsque le condensateur est entièrement chargé, sa tension vaut : $u_C = E = 12$ V

Ainsi l'énergie stockée dans le condensateur :

**(0,25)** $$E_C = \frac{1}{2}.C.{u_C}^2$$

$$E_C = \frac{1}{2} \times 1{,}02.10^{-6} \times 12^2$$

**(0,25)** $$E_C = 7{,}3.10^{-5}\ J$$

**2. Réalisation d'oscillations électriques**

*Le condensateur C est à présent chargé sous la tension E du générateur ; on bascule l'interrupteur K en position 2.* ***Cet instant est choisi comme nouvelle origine des temps****.*

*Ainsi à t = 0 ;* $u_C$ = E *et* i = 0.

**2.1.** Les élèves ont réalisé la mesure de la tension $u_C$ aux bornes du condensateur pour 3 résistances différentes :

R = 10 Ω ; R = 150 Ω et R = 3000 Ω (**Annexe 3**)

**2.1.1.** Comment peut-on justifier, physiquement, qu'à t = 0 ; i = 0 ?

**(0,25)** La bobine s'oppose aux variations du courant électrique.

**(0,25)** Or avant le passage de K en 2, le courant était nul (C était entièrement chargée). Ainsi, juste après le passage de K en 2, l'intensité sera encore nulle.

**2.1.2.** **(0,25 justifications non demandées)** Les oscillations électriques observées sont amorties. Quel est le dipôle responsable de cet amortissement ?

Le dipôle responsable de l'amortissement est la résistance. En effet la puissance reçue par la résistance (et transformée en chaleur) est de la forme $P_{th} = R.i^2$

**2.1.3.** **(0,5 uniquement pour le choix. La justification étant un peut plus complexe… Le point de fonctionnement du circuit dépendant lui-même de R. Dans un circuit contenant qu'une résistance I = E/R ; ainsi $P_{th} = R.I^2 = R.E$)** Attribuer les courbes obtenues par les élèves aux résistances utilisées. **Justifier**

Plus R est grand plus la puissance perdue par effet joule est grande (pour une même intensité) et plus l'amortissement se fait rapidement. Ainsi R = 10 Ω correspond à la courbe 3 ; R = 150 Ω correspond à la courbe 1 ; et R = 3000 Ω correspond à la courbe 2.

**2.1.4.** Dans certains cas on parle de régime pseudo-périodique. Quelle(s) est (sont) le (les) enregistrement(s) correspondant à ce régime. Justifier le nom de ce régime.

**(0,25)** Les enregistrements correspondant au régime pseudo-périodique sont les enregistrements correspondant aux courbes 1 et 3.

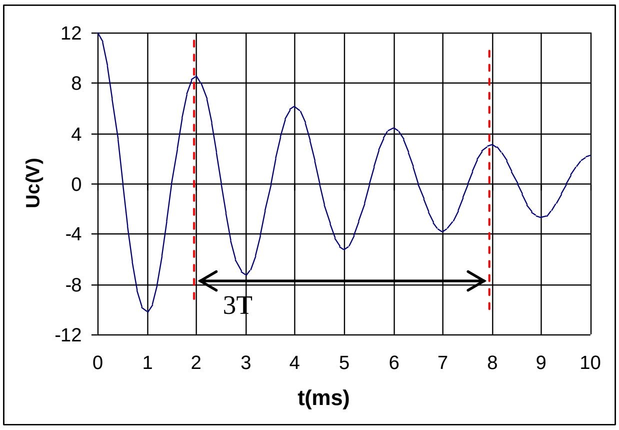
**(0,5)** On parle de régime pseudo-périodique car la tension $u_C$ oscille mais l'amplitude d'oscillation diminue. Ce n'est donc pas à proprement parlé un régime périodique.

**2.1.5.** **(0,25)** Comment appelle-t-on l'autre régime mis en évidence dans les enregistrements ?

L'autre régime mis en évidence dans les enregistrements (courbe 2) est appelé le régime apériodique.

**2.2.** **(0,5 : on enlève 0,25 si la mesure n'est réalisée que sur une pseudo-période)** Évaluer graphiquement la valeur de la pseudo-période T. En déduire la fréquence de ce signal.

Graphiquement la valeur de la pseudo-période T = 2,0 ms (en effet en prenant 3 pseudo-périodes : 3T = 6,0 ms)




**(0,5)** On en déduit f = 1/T

$f = 1/ (2,0.10^{-3}) = 5,0.10^{2}$ Hz

**2.3.** **(0,25 : l'idée)** Les élèves pensent que le circuit ainsi réalisé n'est pas utilisable. Indiquer la raison qui leur permet de faire cette constatation.

Ce circuit n'est pas utilisable pour réaliser un diapason électronique puisque la tension $u_C$ devient très rapidement nulle. Le son serait émis quelques millisecondes !!

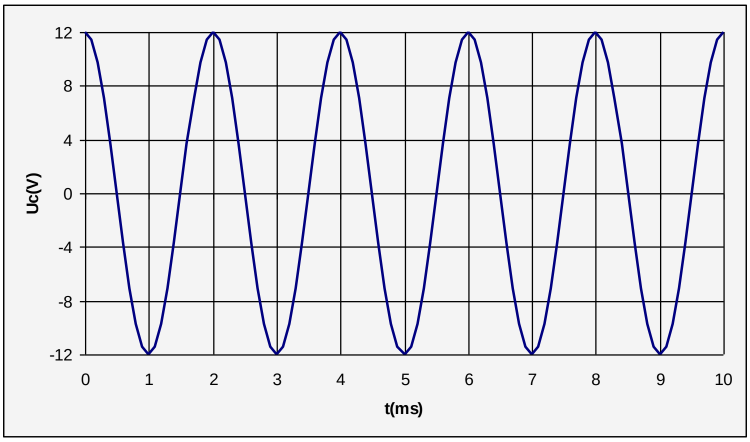
**3. Entretien des oscillations**

*En feuilletant, avec grand plaisir, leur manuel de physique, les élèves constatent qu'il est possible de rajouter au circuit précédent, un dispositif qui entretient les oscillations.*

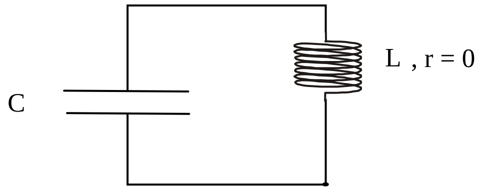
**3.1.** **(0,25 : l'idée)** Expliquer, en une phrase, le rôle de ce dispositif, d'un point de vue énergétique.

Energétiquement, un système d'entretien apporte de l'énergie pour compenser les pertes dues à la résistance. Notre système d'entretient doit, donc, apportée une puissance $P_D = R.i^2$ (pour compenser exactement les pertes).

**3.2.** **(0,5 : tout ou rien ; bonne amplitude ; bonne période)** Sachant que les paramètres du circuit précédent n'ont pas été modifiés, représenter, sur l'**annexe 4**, la courbe $u_C = f(t)$ obtenue après entretien des oscillations.




**Le schéma équivalent à ces oscillations entretenues est le suivant :**




**3.3.** **(1 : dont 0,5 pour les justifications claires)** Montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C$ aux bornes du condensateur est :

$$LC\frac{d^2u_C}{dt^2} + u_C = 0$$

La loi des d'additivité des tensions : $u_L + u_C = 0$

La relation liant $u_C$ et q implique que : $u_L + \frac{q}{C} = 0$

La relation liant $u_L$ et i implique que : $L\frac{di}{dt} + \frac{q}{C} = 0$

La relation liant la charge et l'intensité pour un condensateur implique que : $L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0$

La relation liant $u_C$ et q implique finalement : $LC\frac{d^2u_C}{dt^2} + u_C = 0$

**3.4.** La solution générale de cette équation, prenant en compte une partie des conditions initiales est :

$$u_C = U_m.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0})$$

Vérifier que cette solution est bien solution de l'équation différentielle. Déterminer l'expression de $U_m$ et $T_0$. On rappelle que *à t = 0 ;* $u_C$ = E *et* i = 0.

On vérifie que cette solution est bien solution de l'équation différentielle.

En effet

$$\frac{du_C}{dt} = -\frac{2\pi.U_m}{T_0}.\sin(2\pi.\frac{t}{T_0})$$

Et donc

$$\frac{d^2u_C}{dt^2} = -\frac{4\pi^2.U_m}{T_0^2}.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0})$$

**(0,5)**

En réintroduisant ces thermes dans l'équation différentielle on trouve :

$$-\frac{4\pi^2.U_m}{T_0^2}.LC.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0}) + U_m.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0}) = 0$$

$$\left[-\frac{4\pi^2}{T_0^2}.LC+1\right].U_m.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0})=0$$

Ce résultat devant être vrai pour tous les instants, cela implique que l'intérieur de la parenthèse est nul :

$$-\frac{4\pi^2}{T_0^2}.LC+1=0$$

Soit

$$\frac{4\pi^2}{T_0^2}.LC=1 \Leftrightarrow T_0^2=4\pi^2.LC$$

D'où

$$T_0=2\pi.\sqrt{LC}$$

**(0,5)**

Les conditions initiales :
à t = 0s : $u_C(t=0) = E$ et i = 0

or $$u_C=U_m.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0})$$

à t= 0 : $$u_C=E=U_m.\cos(0)=U_m$$

Ainsi

$$u_C=E.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0}) \text{ avec } T_0=2\pi.\sqrt{LC}$$

**(0,5)**

**3.5.** A partir de l'expression de $u_C$, déterminer l'expression de l'intensité i(t)

On sait que

$u_C = q/C$ et que $i = dq/dt$

il vient :

$$q=C.u_C=C.E.\cos(2\pi.\frac{t}{T_0})$$

$$i=\frac{dq}{dt}=\frac{d(C.u_C)}{dt}=C.\frac{du_C}{dt} \text{ car C est constante}$$

**(0,5)** $$i=-\frac{2\pi.C.E}{T_0}.\sin(2\pi.\frac{t}{T_0})$$

Remarque à t = 0s : **(Non évlaué)**

$$i=-\frac{2\pi.C.E}{T_0}.\sin(0)=0$$ ce qui en accord avec les conditions initiales.

**3.6.** Calculer la valeur de $T_0$, sachant que le condensateur a une capacité C = 1,02 µF et que l'inductance L de la bobine vaut ici 0,112 H.

**(0,25 pour recopier une formule !!)** $T_0 = 2\pi.\sqrt{LC}$

A.N.

$$T_0 = 2\pi.\sqrt{0{,}112 \times 1{,}02.10^{-6}}$$

$T_0 = 2{,}12.10^{-3}\ s$ **(0,25)**

**3.7.** En déduire la fréquence $f_0$ de la tension obtenue.

$f_0 = \frac{1}{T_0}$ **(formule analogue déjà évaluée !)**

A.N.

$$f_0 = \frac{1}{2{,}12.10^{-3}}$$

$f_0 = 472\ Hz$ **(0,25)**

***3.8.*** *Le circuit oscillant est relié à un haut-parleur convertissant cette onde électrique en onde sonore de fréquence $f_0$. Les élèves souhaitent accorder leurs instruments en émettant la note $la_3$ à l'aide du circuit précédent.*

**3.8.1.** **(non évalué)** La fréquence précédemment obtenue correspond-elle à la note $la_3$?
La fréquence $f_0$ ne correspond pas exactement à la note $la_3$

**3.8.2.** **(0,25)** Quels paramètres peut-on changer pour modifier la valeur de la fréquence émise ?

Pour changer la fréquence propre du circuit, on peut modifier l'inductance de la bobine.

**3.8.3.** Sachant que les élèves ne disposent pas d'autre condensateur que celui du circuit initial, calculer la valeur de l'autre paramètre qui permettra d'obtenir la note $la_3$ .

On veut que $f_0 = 440\ Hz$

Or

$$f_0 = \frac{1}{T_0}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi.\sqrt{LC}}$$

Soit

$$f_0{}^2 = \frac{1}{4\pi^2.LC}$$

D'où **(0,5 expression finale !!)**

$$L = \frac{1}{4\pi^2.f_0{}^2.C}$$

A.N.

$$L = \frac{1}{4\pi^2.440^2.1{,}02.10^{-6}}$$

$L = 0{,}128\ H$ **(0,25)**

## Partie 2 : le son, une fois émis…

*On considère, dans cette partie, que les élèves ont réussi à produire le fameux signal correspondant au $la_3$, sont arrivés à l'amplifier et à produire un son (grâce à un haut-parleur). Ce son, ainsi produit, a donc une fréquence $f_0$ = 440 Hz. Le son est une onde mécanique de compression-dilatation.*

*On rappelle que la célérité du son est égale à $V_{air}$ = 340 m/s.*

**1.** **(0,5)** Rappeler la définition d'une onde mécanique et d'une onde mécanique progressive.

Une onde mécanique progressive est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel.

Elle se propage sans déplacement de matière, mais avec transport d'énergie.

**(0,25)** Une onde progressive est périodique si la perturbation de la source est reproduite à intervalles de temps égaux (vibration).

**2.** Il existe deux familles d'ondes mécaniques. Après avoir rappelé le nom de ces deux familles, expliquer la différence entre ces deux familles d'ondes mécaniques. A quelle famille appartiennent les ondes sonores ?

**(0,5)** Les deux familles d'ondes mécaniques sont les ondes mécaniques longitudinales et les ondes mécaniques transversales.

Une onde est transversale si la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

Une onde est longitudinale si la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde

**(0,25)** Les ondes sonores font parties des ondes mécaniques longitudinales.

**3.** **(0,25)** Rappeler la définition de la célérité d'une onde mécanique.

La célérité d'une onde mécanique est la vitesse à laquelle se propage l'onde. On ne parle pas de vitesse, car contrairement au mouvement d'un objet, la célérité de l'onde ne dépend que du milieu matériel. L'onde ne ralentit pas au cours de son mouvement. De plus il n'y a pas de déplacement de matière.

**4.** Déterminer la longueur d'onde de l'onde sonore correspondant au $la_3$

On sait que

$$V_{air} = \frac{\lambda}{T_0} = \lambda . f_0$$

Soit

**(0,5)** $\lambda = \frac{V_{air}}{f_0}$

A.N.

$$\lambda = \frac{340}{440}$$

**(0,25)** $\lambda = 0,773\ m = 77,3\ m$

*Un des élèves du groupe (le plus attentif en cours du groupe, c'est pour cela qu'il est meilleur) se décide à mesurer l'intensité sonore à 1,0 m du haut-parleur. Il mesure $L_{dB}$ = 23,3 dB. En regardant sur un dictionnaire, il trouve la définition de l'intensité sonore en décibel :*

$L_{dB} = 10. log\ (\frac{I}{I_0})$ *avec I la puissance surfacique en W/m² et $I_0 = 10^{-12}$ W/m²*

**5.** Calculer, avec 3 chiffres significatifs, la valeur de la puissance surfacique de l'onde sonore (notée *I*)**.**

$$L_{dB} = 10. log\ (\frac{I}{I_0})$$

$$lo\ g\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L_{dB}}{10}$$

$$\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L_{dB}}{10}}$$

**(0,5)** $I = I_0 . 10^{\frac{L_{dB}}{10}}$ **(on ne donne tous les points que si l'élève donne l'expression littérale finale, si une étape intermédiaire proche du résultat final est donnée, on peut envisager de donner 0,25)**

A.N.

$$I = 10^{-12} \times 10^{\frac{23,3}{10}}$$

**(0,25)** $I = 2,14. 10^{-10}\ W/m^2$

**6.** En imaginant, comme représenté dans l'**annexe 6**, que l'onde sonore émise ait la forme d'une demi-sphère, montrer que la puissance sonore de l'onde émise est égale à P = 1,3.10$^{-9}$ W. On rappelle que la surface d'une sphère se calcule par la formule : $S = 4.\pi.R^2$

$P = I.\frac{S}{2}$ le /2 vient du fait que l'onde a la forme d'une demi-sphère et non d'une sphère entière.

**(0,5)** $P = I.\frac{4.\pi.R^2}{2}$

A.N.

$$P = 2,14. 10^{-10} \times \frac{4.\pi.(1,0)^2}{2}$$

$P = 1,3. 10^{-9}\ W$ **(non évalué car donné dans l'énoncé)**

**7.** Montrer alors que l'énergie sonore émise pendant $\Delta$t = 4,0 s est égale à $\Delta E_{sonore}$ = 5,2.10$^{-9}$ J

Par définition :

$$P = \frac{\Delta E_{sonore}}{\Delta t}$$

D'où

**(0,5)** $\Delta E_{sonore} = P. \Delta t$

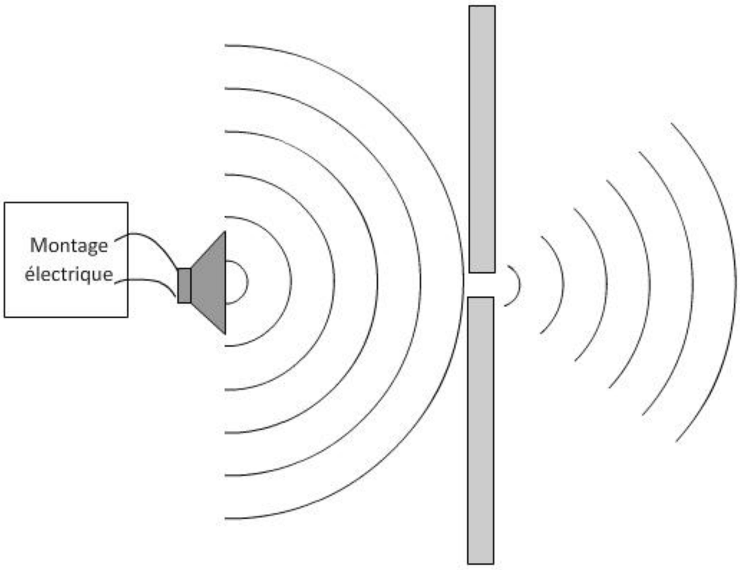
A.N.

$$\Delta E_{sonore} = 1,3. 10^{-9} \times 4,0$$

$\Delta E_{sonore} = 5,2. 10^{-9}\ J$ **(non évalué car donné dans l'énoncé)**

**8.** Quel phénomène se produira, si on fait passer cette onde dans une fente de taille d = 10 cm (c.f. **annexe 6**) ? Vous complèterez le schéma de **l'annexe 6** pour illustrer ce phénomène.

**(0,5)** Si on fait passer l'onde sonore dans une fente de dimension inférieure à la longueur d'onde, il se produit un phénomène physique que l'on nomme diffraction. Dans notre cas :




**(0,25 pour la figure)**

**9.** Comment évolue ce phénomène si on diminue la taille de la fente ?

**(0,25)** Si on diminue la taille de la fente, le phénomène de diffraction des ondes va augmenter encore.

## Partie 3 : une source d'énergie pour émettre ces 4,0 secondes de son à 440 Hz ?

*Les élèves du groupe, très au courant des sources d'énergie électriques dont dispose la France, se pose alors la question suivante : « combien de noyaux d'Uranium 235 doit-on fissionner pour fabriquer l'énergie nécessaire à l'émission de ces 4,0 secondes de la$_3$ ? »*

**1.** Expliquer sommairement la différence entre la fission nucléaire et la fusion nucléaire.
La fission nucléaire correspond à la transformation nucléaire au cours de laquelle, un noyau père lourd va se décomposer en noyaux fils plus légers et plus stables.
**(0,5)** La fusion nucléaire correspond à la transformation nucléaire au cours de laquelle, un noyau père léger va fusionner avec un autre noyau en un noyau père plus lourd et plus stable.

*À l'état naturel, l'élément uranium comporte principalement les isotopes $^{235}_{92}U$ et $^{238}_{92}U$.*
*Lors de la fission d'un noyau d'uranium 235, un grand nombre de réactions sont possibles.*
*Bombardé par **un neutron** lent qu'il capture, un noyau d'uranium 235 peut donner naissance à un noyau de xénon 139 et à un noyau de strontium 94. Des neutrons sont éjectés (ce qui donne lieu à une réaction en chaîne).*
***Données :***

$$m(^{94}_{38}Sr) = 93{,}89460\ u \quad ; \quad m(^{139}_{54}Xe) = 138{,}88820\ u \quad ; \quad m(^{235}_{92}U) = 234{,}9935\ u$$

$$m(^{1}_{1}p) = 1{,}00728\ u \quad ; \quad m(^{1}_{0}n) = 1{,}00866\ u \quad ; \quad m(^{-1}_{0}e) = 5{,}486.10^{-4}\ u$$

$$u = 1{,}66054 \times 10^{-27}\ kg \quad ; \quad C = 2{,}998.10^{8}\ m.s^{-1} \quad ; \quad e = 1{,}60.10^{-19}\ C$$

**2.** Définir le terme "isotope"
**(0,5)** Deux noyaux sont isotopes, s'ils ont même numéro atomique Z mais un nombre de masse différent. Ils ont le même nombre de protons, mais un nombre de neutrons différents.
**3.** Écrire la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 bombardé par **un neutron**. Vous expliquerez clairement la démarche

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{139}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + y^{1}_{0}n + (\gamma)$$

D'après les lois de conservation de Soddy

**(0,25)** Conservation du nombre de masse:

235 + 1 = 139 + 94 + 1.y
y = 235+1-139-94 = 3

**(0,25)** Conservation du nombre de charges :

92 + 0 = 54 + 38+ 0
92 = 92 Ca marche !!

L'équation de désintégration est donc : **(0,25)**

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{139}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 3^{1}_{0}n + (\gamma)$$

**4.** Montrer que l'énergie libérée lors de cette réaction nucléaire est $\Delta E = 2{,}886 .10^{-11}$ J. Convertir cette énergie en MeV.

La variation de la masse du système :

$\Delta m = m(^{139}_{54}X) + m(^{94}_{38}Sr) + 3.\ m(^{1}_{0}n) - m(^{235}_{92}U) - m(^{1}_{0}n)$

$\Delta m = 138{,}88820 + 93{,}89460 + 3 \times 1{,}00866 - 234{,}9935 - 1{,}00866$

$\Delta m = -\ 0{,}1934$ u

**(0,75 : calcul en 2 étapes ou en une. Attention aux notations abusives)** Energie échangée par le système au cours de la fission d'un noyau d'uranium:

$\Delta E' = \Delta m\ .c^2$

$\Delta E' = -\ 0{,}193' \times 1{,}66054.10^{-27} \times (2{,}998.10^{8})^2$

**(0,25)** $\Delta E' = -\ 2{,}886\ .10^{-11}$ J $\qquad$ $\Delta E < 0$ cette énergie est libérée par le système

Ainsi l'énergie libérée par cette transformation est :

$\Delta E = -\ \Delta E' = 2{,}886\ .10^{-11}$ J

En MeV : **(0,25)**

$\Delta E = 2{,}886\ .10^{-11} / \mathit{1{,}60.10^{-19}}$ eV

$\Delta E = 180$ MeV

**5.** Combien de noyaux d'Uranium 235 doit-on fissionner pour fabriquer l'énergie $\Delta E_{sonore} = 5{,}2.10^{-9}$ J (énergie nécessaire à l'émission de ces 4,0 secondes de $la_3$) ?

En appelant $N(^{235}_{92}U)$ le nombre de noyaux d'Uranium 235 qui doit fissionner pour fabriquer l'énergie $\Delta E_{sonore}$ :

**(0,25)** $N(^{235}_{92}U) = \frac{\Delta E_{sonore}}{\Delta E}$

$N(^{235}_{92}U) = \frac{5{,}2.10^{-9}}{2{,}886.10^{-11}}$

**(0,25)** $N(^{235}_{92}U) = 1{,}8.10^{2}$