EXERCICE II : UNE PETITE HISTOIRE DE LA SECONDE (6 POINTS)

Cet exercice comporte trois parties indépendantes.

Première partie : la seconde au XVII^e siècle

Observant dans la cathédrale de Pise une lampe se balançant sous la voûte, Galilée eut l'idée d'utiliser un pendule pour mesurer le temps. Il remarqua que les oscillations de ce pendule étaient isochrones. La période, c'est à dire la durée d'un aller et retour complet du pendule, semblait être remarquablement constante pour un pendule donné.

1. À quelle condition « les oscillations de ce pendule étaient-elles isochrones » ?

2. Pour un amortissement faible, la pseudo-période d'un pendule simple est voisine de la période propre dont l'expression est : $T_0 = 2\pi.\sqrt{\frac{\ell}{g}}$, avec g, accélération de pesanteur ($g = 9,81\ m.s^{-2}$).
   Que représente la grandeur ℓ dans l'expression de la période propre du pendule ?

3. *Des élèves d'une classe de Terminale S procèdent à une série de mesures. Le protocole donné par le professeur est le suivant.*
   - *Écarter le pendule de sa position d'équilibre et faire osciller le pendule avec une amplitude initiale égale ou inférieure à 20°.*
   - *À l'aide d'un chronomètre, mesurer la durée Δt de 10 oscillations, c'est-à-dire 10 allers et retours.*

   Les résultats expérimentaux sont les suivants :

ℓ (m)	45×10^{-2}	30×10^{-2}	20×10^{-2}	10×10^{-2}
Δt (s)	13,4	11,0	9,0	6,4

   3.1. Expliquer pourquoi il est préférable de mesurer 10 oscillations et non pas une seule.

   3.2. Tracer, **sur la feuille de papier millimétré fournie**, la courbe $T_0 = f(\sqrt{\ell})$ en utilisant les échelles : 1 cm pour $0,10\ m^{1/2}$ et 1 cm pour 1,0 s.

   3.3. À partir de la courbe, montrer que l'expression théorique de la période propre d'un pendule simple est vérifiée.

4. Pour mesurer le temps, on utilise un pendule qui « bat la seconde », c'est-à-dire qu'un aller dure une seconde.
   Quelle doit-être la longueur du pendule utilisé ?

Deuxième partie : la seconde au début du XX^{e} siècle

L'avènement des semi-conducteurs et des circuits intégrés, dans les années 1950, a permis la miniaturisation des horloges à quartz.
Le principe de l'horloge à quartz est le suivant : un oscillateur électrique force les vibrations d'un cristal de quartz. La fréquence de l'oscillateur est réglée pour que le quartz entre en résonance : elle est alors égale à la fréquence propre du quartz.

1. *Il est possible, en utilisant un dispositif approprié, d'étudier les oscillations du quartz en fonction de la fréquence imposée par l'oscillateur électrique. On obtient le graphique de la* **figure 1** *ci-dessous, sur lequel est indiquée la grandeur β, appelée largeur de la bande passante.*

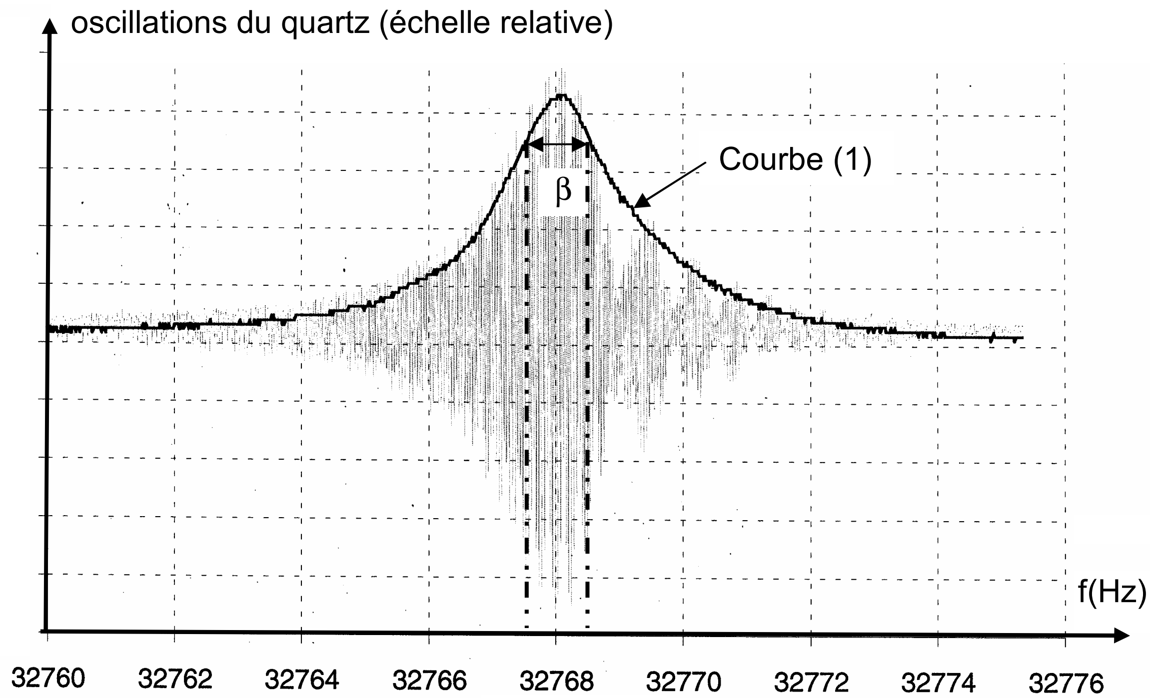

Figure 1

1.1. Quel est le phénomène physique illustré par la courbe (1) de la **figure 1** ci-dessus ?

1.2. À l'aide de la **figure 1**, déterminer la fréquence propre f_0 d'oscillations du quartz.

1.3. *Le facteur de qualité, noté Q et défini par : $Q = \frac{f_0}{\beta}$, permet de caractériser l'amortissement des oscillations.*
- Si Q est grand devant 1 (Q > 10), alors la courbe de résonance est pointue et l'amortissement est considéré comme faible.
- Si Q est de l'ordre de l'unité ou inférieur à 1, alors la courbe de résonance est aplatie et l'amortissement est considéré comme fort.
Calculer Q, puis indiquer si l'amortissement est faible ou fort pour le phénomène observé.

2. *Le quartz peut être modélisé par un circuit RLC série. Un condensateur initialement chargé est relié aux bornes d'une bobine, il subit une décharge oscillante.*

   2.1. Parmi les courbes proposées ci-après, reconnaître celle correspondant à la tension aux bornes du condensateur lors d'une décharge oscillante.

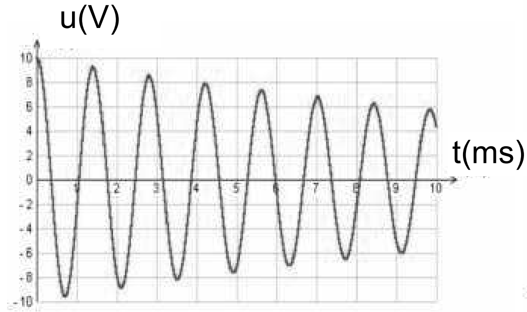

Figure 2.a

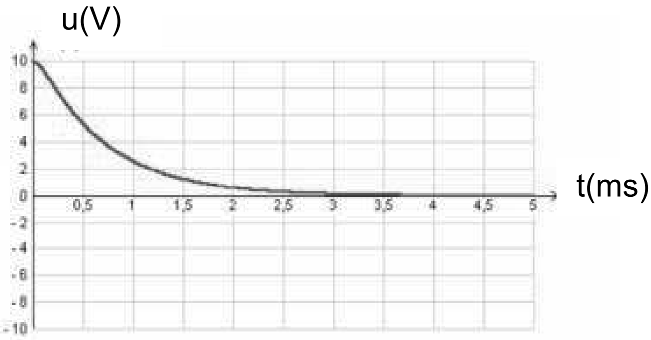

Figure 2.b

   2.2. Quelle est l'influence de la valeur de la résistance R sur le phénomène d'oscillations ?

   2.3. Rappeler l'expression de la période propre T_0 des oscillations électriques dans un circuit LC série.
   Les valeurs de L, C et R permettant de modéliser le quartz sont :
   $$L = 7\,860 \text{ H},\ C = 3{,}001 \times 10^{-15} \text{ F et } R = 32 \text{ k}\Omega.$$
   En déduire la fréquence propre f_0 des oscillations de ce circuit.

3. *Un dispositif appelé « diviseur de fréquence », placé après le quartz, permet d'obtenir un signal de fréquence égale à 1 Hz alimentant un petit moteur animant la trotteuse d'une montre (aiguille indiquant les secondes). La fréquence* f_0 *est divisée par* 2^n*, où n est un entier positif.*
   Déterminer n pour obtenir un signal de fréquence égale à 1Hz.

Troisième partie : la seconde « atomique »

Depuis 1968, la seconde est « la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133, au repos et à 0 K ».

1. Un atome passant d'un état d'énergie excité E_p à un autre état d'énergie plus faible E_n émet un photon de fréquence ν.
   Donner la relation entre les énergies E_p, E_n et la fréquence ν.

2. Donner la valeur de la fréquence ν correspondant à la transition électronique définissant la seconde.

3. Calculer la variation d'énergie $E_p - E_n$ correspondant à la valeur de ν obtenue à la question précédente. Exprimer le résultat en joule et en électron-volt.

<u>Données</u> : constante de Planck $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ; 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J