EXERCICE 1 - DE LA LIAISON COVALENTE À LA SPECTROSCOPIE INFRAROUGE
4 POINTS

Les vibrations des liaisons de valence sont à l'origine des spectres d'absorption dans l'infrarouge proche. Une molécule absorbe de façon intense les ondes électromagnétiques dont la fréquence est proche d'une valeur appelée « fréquence propre de vibration » de la liaison covalente. Les atomes liés se mettent alors à vibrer autour de leur position d'équilibre.
Un modèle simple de la liaison chimique covalente qualifié de « modèle à oscillateur harmonique » (voir document 1) assimile la liaison entre deux atomes à une liaison solide-ressort.

1. Période propre d'un oscillateur harmonique

En laboratoire, on étudie un dispositif solide-ressort, schématisé dans les documents 2 et 3. Dans le référentiel du laboratoire, l'une des extrémités d'un ressort de raideur k est maintenue fixe.

L'autre extrémité est reliée à un solide de masse m. La masse oscille autour de sa position d'équilibre avec une période notée T, appelée « période propre ». Les données sont présentées dans les documents 2 et 3.

1.1. La période propre T_0 d'un oscillateur harmonique est-elle proportionnelle à la masse m du solide ? À la constante de raideur k du ressort ? Justifier.

1.2. Parmi les expressions proposées dans le tableau suivant, une seule est cohérente avec les observations expérimentales des documents 2 et 3. Déterminer laquelle en expliquant le raisonnement.

$T_0 = m \times k$	$T_0 = 2\pi \times \frac{m}{k}$	$T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}$	$T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{1}{m \times k}}$

2. Spectre infrarouge

On assimile la liaison covalente O-H à un oscillateur harmonique de constante de raideur $k = 7{,}2 \times 10^2$ N.m^{-1}et de masse réduite m_r.

2.1. À l'aide du document 4, exprimer m_r en fonction de m(O), masse d'un atome d'oxygène, et m(H), masse d'un atome d'hydrogène.

2.2. En déduire que $m_r = \frac{M(O) \times M(H)}{(M(O) + M(H)) \times N_A}$. Calculer la valeur de m_r.

2.3. À l'aide des questions 1.2. et 2.2., montrer que la fréquence propre associée à cet oscillateur harmonique vaut $f_0 = 1{,}1 \times 10^{14}$ Hz.

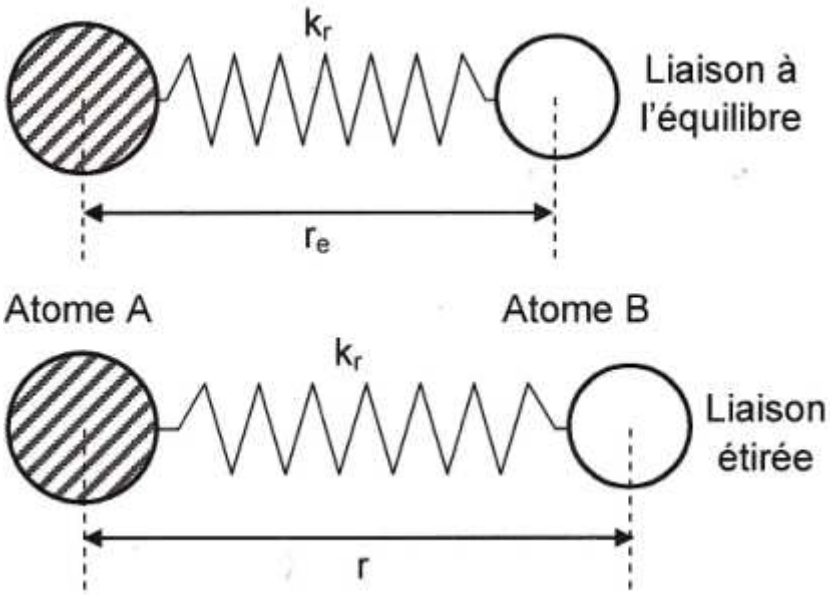
2.4. En calculant la longueur d'onde dans le vide associée à f_0 et en supposant que le modèle précédent s'applique à la molécule d'eau, préciser à l'aide du document 5 s'il s'agit d'une vibration d'élongation ou d'une de vibration de déformation.

Données :

Masses molaires atomiques : M(H) = 1,0 g.mol^{-1} ; M(O) = 16,0 g.mol^{-1}
Nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}
Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^8$ m.s^{-1}.

DOCUMENTS DE L'EXERCICE 1

Document 1 : Approximation de l'oscillateur harmonique



Une liaison peut être assimilée à un ressort de constante de raideur k_r et de longueur à l'équilibre r_e.

Document 2 : Étude expérimentale du dispositif solide-ressort : influence de m

On étudie l'influence de la masse m du solide suspendu au ressort sur la période propre T_0 des oscillations. On utilise un ressort de constante de raideur k = 50 $N.m^{-1}$ et on relève la période propre T_0 des oscillations pour différentes masses m :

m (g)	50	100	150	200	250	300	350	400
T_0 (s)	0,20	0,28	0,34	0,40	0,44	0,49	0,53	0,56

Puis on trace la courbe : $T_0 = f(m)$

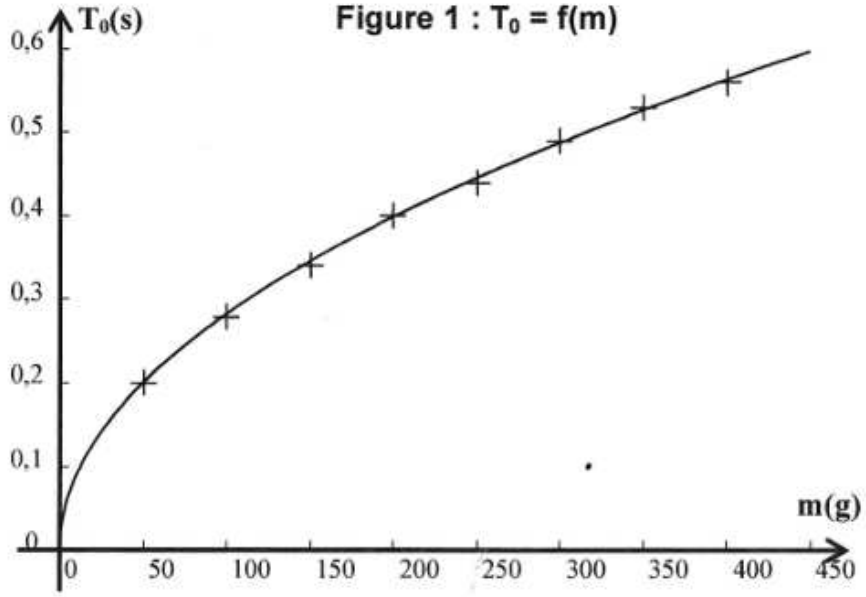
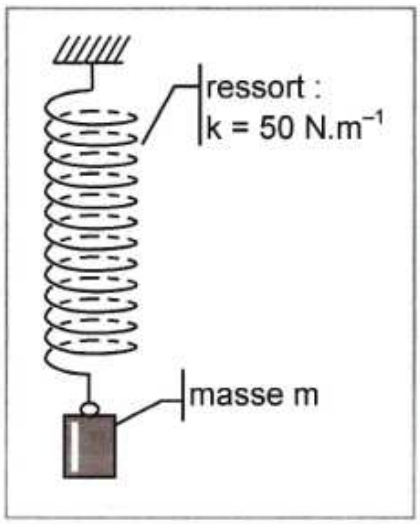


Figure 1 : $T_0 = f(m)$



Document 3 : étude expérimentale du dispositif solide-ressort : influence de k

À l'aide du dispositif expérimental utilisé dans le document 2, on étudie ensuite l'influence de la constante de raideur k du ressort sur la période propre T_0 des oscillations. Pour cela on utilise un solide de masse m = 0,500 kg et on relève la période propre T_0 des oscillations du dispositif solide-ressort pour différents ressorts de constantes de raideur k :

k ($N.m^{-1}$)	30	40	50	60	70	80	90	100
T_0 (s)	0,81	0,70	0,63	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44

On trace T_0 en fonction de k :

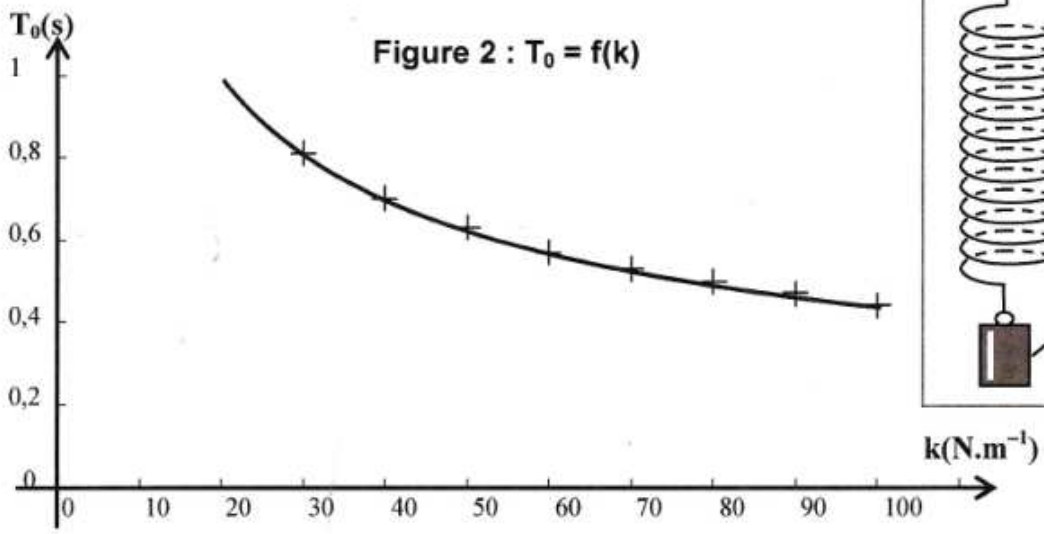
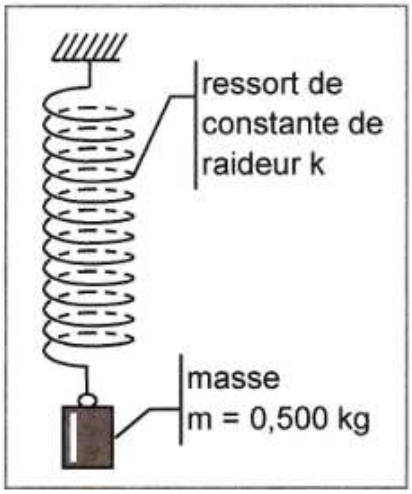


Figure 2 : $T_0 = f(k)$



On trace à présent T_0 en fonction de $\frac{1}{\sqrt{k}}$:

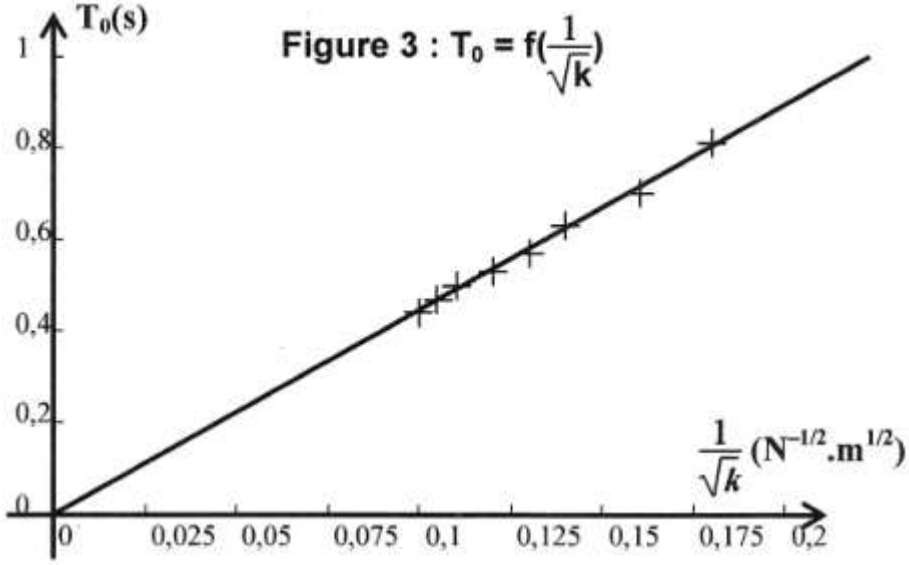


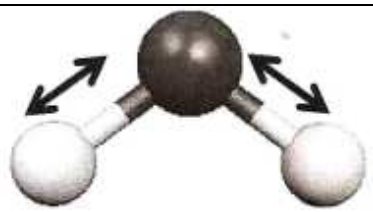
Figure 3 : $T_0 = f(\frac{1}{\sqrt{k}})$

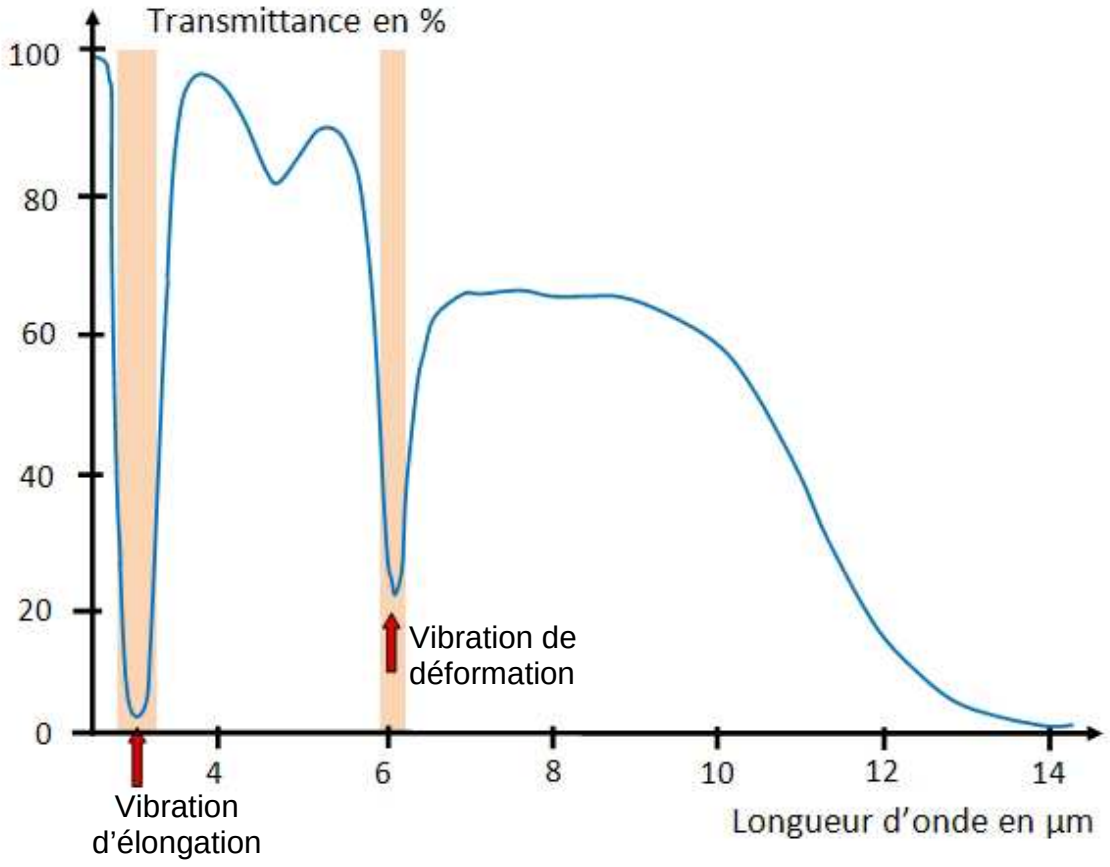
Document 4 : Oscillateur solide-ressort

Un oscillateur lié, à chaque extrémité, à des masses m_A et m_B est équivalent à un oscillateur dont une extrémité est fixe et dont la masse m_r, dite masse réduite, fixée à l'extrémité du mobile est : $m_r = \frac{m_A \times m_B}{m_A + m_B}$.

Document 5 : Spectre infrarouge de la vapeur d'eau

La molécule à l'état de vapeur absorbe du rayonnement, notamment dans l'infrarouge. Elle présente trois modes normaux de vibration, tous dans le domaine infrarouge proche :

un mode de vibration d'élongation (stretching) symétrique situé à 3652 cm^{-1} (soit pour une longueur d'onde de 2,74 µm). Les deux liaisons s'allongent et se raccourcissent simultanément.	
un mode de vibration d'élongation (stretching) antisymétrique situé à 3756 cm^{-1} (soit pour une longueur d'onde de 2,66 µm). Lorsqu'une liaison s'allonge, l'autre se raccourcit et vice-versa.	
un mode de vibration de déformation (dit de cisaillement) situé à 1595 cm^{-1} (soit pour une longueur d'onde de 6,27 µm). L'angle entre les liaisons H–O–H oscille.	



http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/eau/comprendre/eau_univers