

Physique - Chimie

DEVOIR SUR TABLE N° 5

L'épreuve a été conçue pour être traitée sans calculatrice.

L'usage des calculatrices est rigoureusement interdit.

TOUT DOCUMENT INTERDIT.

Les résultats numériques doivent être précédés d'un **calcul littéral**.

La présentation et la rédaction font partie du sujet et interviennent dans la notation.

L'épreuve est **notée sur 16 points** auxquels s'ajouteront les points d'épreuve pratique sur 4 points.

I] EXERCICE 1 : sur 5,0 points. **HISTOIRES DE TITRAGES**

1. « Neutralisation » des eaux usées alcalines par le dioxyde de carbone.

Document 1

Pour pouvoir déverser des eaux usées dans les canalisations ou dans les eaux du domaine public, il faut que celles-ci aient un *pH* généralement compris entre 6,5 et 8,5.

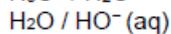
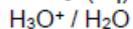
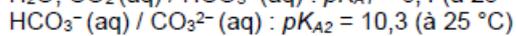
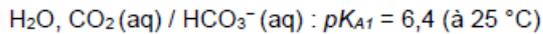
Les eaux usées alcalines (basiques) peuvent être « neutralisées » avec des acides minéraux ; cependant, le procédé technique est complexe et l'utilisation de ces acides n'est pas sans problème : corrosion, salinisation (chlorures, sulfates, phosphates, nitrates), risque de surdosage.

La « neutralisation » au dioxyde de carbone s'impose dans la plupart des cas comme la solution la plus efficace. Les domaines industriels concernés sont multiples : blanchisseries, industries du papier et de la cellulose, industries textiles, laiteries...

D'après <http://www.carbagas.ch> et <http://www.linde-gas.fr>

Données :

Couples acide/ base :

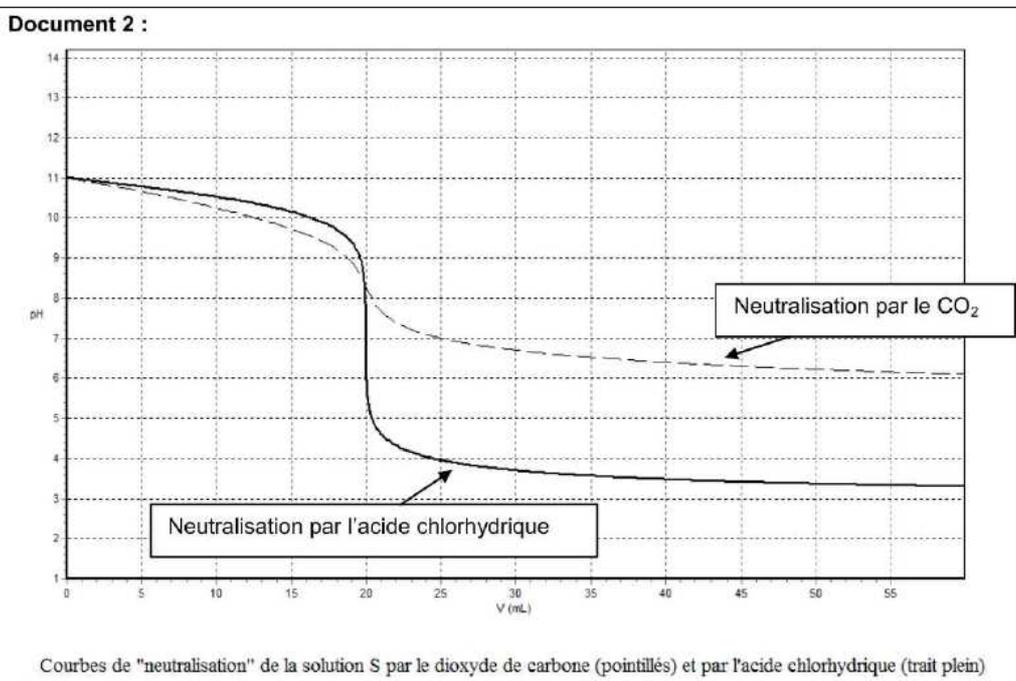


$pK_e = 14,0$ (à 25°C)

Un groupe d'élèves a comparé la « neutralisation » des eaux alcalines par un acide minéral et par le dioxyde de carbone à l'aide d'un logiciel de simulation.

Dans cette simulation, les eaux usées alcalines sont modélisées par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) notée S, de concentration molaire apportée $c = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

Le document 2 montre l'évolution du *pH* de la solution S lorsqu'on ajoute une solution acide. Les solutions acides utilisées sont d'une part, une solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$), d'autre part une solution aqueuse de dioxyde de carbone ($\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2(\text{aq})$), de mêmes concentrations molaires apportées $c_A = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.



- 1.1. Écrire l'équation de la réaction qui se produit lors de l'ajout de l'acide chlorhydrique dans la solution S.
- 1.2. Dans le cas de la neutralisation par le dioxyde de carbone, quelle est l'espèce carbonatée qui prédomine (parmi CO_3^{2-} , HCO_3^- et CO_2) à l'équivalence du titrage ? Justifier.
- 1.3. En déduire l'équation de la réaction lors de l'ajout de la solution de dioxyde de carbone dans la solution S.
- 1.4. Comparer les points d'équivalence et interpréter le résultat.
- 1.5. Soit V_E le volume à l'équivalence. Pour les deux neutralisations, évaluer graphiquement les variations du pH autour de $V_E \pm 2$ gouttes. En déduire la neutralisation la plus adaptée au traitement des eaux usées.

2. Comprendre un titrage.

Les premiers titrages ont été mis au point au XVIII^e siècle, peu après que Lavoisier a compris l'importance de la notion d'élément chimique et du rapport, appelé stœchiométrie, entre leurs quantités dans une substance ou dans une réaction chimique. En plus de ces notions théoriques, la mise au point technique de la première burette, par Descroizilles en 1791, a permis d'ajouter des quantités progressives mesurées de réactif titrant, ce qui est essentiel lors d'un titrage. Les premiers titrages ont surtout été élaborés par des chimistes français de l'époque napoléonienne, tout particulièrement Descroizilles et Gay-Lussac. Ils ont rapidement impacté tous les domaines de la société : industrie textile, contrôle de la qualité de la bière, vérification des monnaies, etc. L'essor des titrages au XIX^e siècle fut spectaculaire et nombre d'entre eux sont encore utilisés de nos jours : citons les titrages des ions chlorure par précipitation du chlorure d'argent, par Mohr, ou du dioxygène dissous, par Winkler (**Fig. 1**).

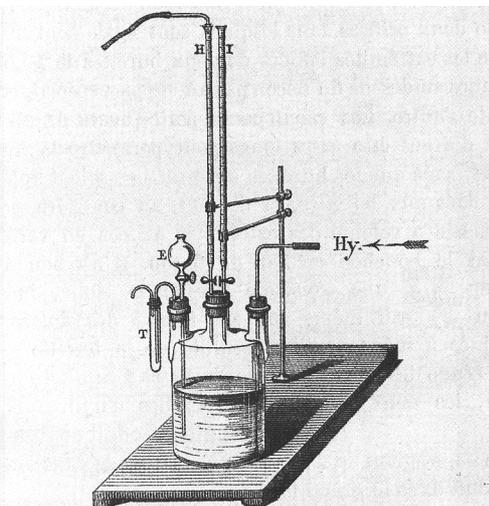


Fig. 19. — Appareil pour le titrage de l'oxygène dissous dans l'eau.

Fig. 1 Gravure extraite de *La Fermentation*, Paul Schützenberger, contemporain de Winkler, Paris, 1876, Coll. B.N.F., Paris.

Rédigez un document de synthèse, d'au moins une page (*schémas non compris*), qui permette de faire comprendre à un public non chimiste le principe théorique d'un titrage et sa mise en œuvre expérimentale.

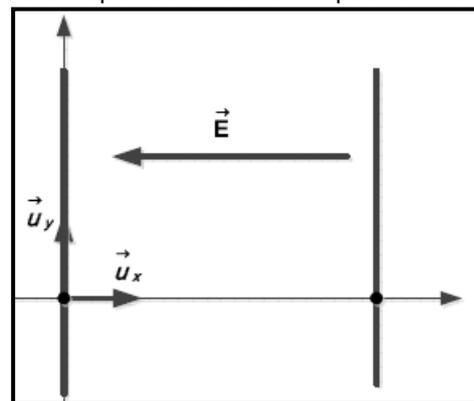
Pour cela, il faudra expliquer, entre autres, ce qu'est la notion de stœchiométrie (définition et utilisation), l'importance des différents objets utilisés lors d'un titrage, les différents types de titrages.

II] EXERCICE 2 : sur 6,5 points. MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE

Dans les domaines de la science des matériaux, on a souvent recouru à un microscope haute résolution pour étudier leur microstructure. L'augmentation de la résolution passant par une diminution de la longueur d'onde, on utilise un faisceau d'électrons à la place d'un faisceau de photons visibles. Dans un microscope électronique à balayage, les électrons sont accélérés grâce à un champ électrique produit par une différence de potentiel entre la source et une anode, puis focalisés sur l'échantillon par des lentilles magnétiques ou électrostatiques. Après interaction avec l'échantillon, le faisceau d'électrons est mesuré par un détecteur permettant de former une image du cristal. On se propose d'étudier ici le canon à électrons qui accélère les électrons d'une plaque **A** vers une plaque **B**.

Le champ électrique \vec{E} est uniforme et horizontal entre les plaques **A** et **B** verticales. Sa norme vaut : $E = 300\,000 \text{ V.m}^{-1} = 3,0 \cdot 10^5 \text{ V.m}^{-1}$.

On étudie le mouvement d'un électron de masse **m** et de charge $-e$ entre ces deux plaques. À l'instant $t = 0$, l'électron se trouve en **O**, origine du repère cartésien. La vitesse de l'électron en **O** est nulle. L'électron atteint la plaque **B** en un point **M**. La distance entre les plaques vaut $OM = L = 10 \text{ cm}$.



Données : Charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.
Masse de l'électron : $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Constante de Planck : $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$.

Aides aux calculs : $18,2 \cong 4 \times 4,8$; $0,2 \times 9,1 \cong 1,6$; $9,1 \times 8,5 \cong 6,6 \times 12$.

1. Calcul de la vitesse de l'électron par la deuxième loi de Newton.

- 1.1. Donner l'expression vectorielle de la force électrostatique subie par l'électron en fonction de \vec{E} et e . Calculer la norme de cette force.
- 1.2. Donner l'expression vectorielle du poids de l'électron. Calculer la norme de cette force et conclure.
Dans la suite de l'exercice, on décide de négliger le poids de l'électron par rapport à la force électrostatique.

- 1.3. Appliquer la deuxième loi de Newton (*que l'on énoncera*) à l'électron et donner les composantes de l'accélération suivant \vec{u}_x et \vec{u}_y . En déduire l'expression des composantes de la vitesse de l'électron en fonction du temps puis les expressions des composantes de la position de l'électron en fonction du temps, dans le même repère.
- 1.4. En déduire l'expression du temps t_M , au bout duquel l'électron parviendra à la plaque **B**. *Faire le calcul.*
- 1.5. Calculer la vitesse v_M atteinte par l'électron au point **M**.

2. Calcul de la vitesse de l'électron par une méthode énergétique.

- 2.1. Donner l'expression du travail W que fournit la force électrostatique lors du déplacement de l'électron de **O** vers **M**, en fonction de \vec{E} .
- 2.2. En définissant la variation d'énergie potentielle électrostatique ΔE_p entre **O** et **M** par $\Delta E_p = -W$ et l'énergie potentielle associée à une charge q par $E_p = qV$ (V est le potentiel électrique), déterminer l'expression de la différence de potentiel $V_B - V_A$ appliquée entre les plaques du canon à électron. *Faire l'application numérique.*
On fixe le potentiel V_A à zéro volt.
- 2.3. Donner l'expression de l'énergie mécanique de l'électron en **O** et calculer sa valeur.
- 2.4. Que vaut l'énergie mécanique $E_m(M)$? *Justifier.*
- 2.5. Donner l'expression de l'énergie mécanique $E_m(M)$ de l'électron en **M** en fonction de la vitesse v_M .
- 2.6. En déduire l'expression de la norme de la vitesse v_M de l'électron en **M** en fonction du potentiel V_B .

3. Diffraction des électrons.

Après interaction avec la matière, ces électrons perdent un peu d'énergie, leur vitesse vaut désormais $V = 8,5 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$. La relation de De Broglie relie la longueur d'onde λ , associée à une particule, et la norme de sa quantité de mouvement p : $p = \frac{h}{\lambda}$ où h est la constante de Planck.

- 3.1. Déterminer la valeur de la longueur d'onde λ , associée aux électrons.
- 3.2. Justifier alors que ces électrons puissent être diffractés par le cristal.

III] EXERCICE 3 : sur 4,5 points. **OSCILLATEURS HARMONIQUES**

Aide aux calculs : $\sqrt{\frac{7,2}{0,16}} \cong 6,71$.

1. Période propre d'un oscillateur harmonique.

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.

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 $k = 7,2 \times 10^2 \text{ N.m}^{-1}$ et de masse réduite m_r .

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

2.2. En déduire que $m_r = \frac{M(\text{O}) \times M(\text{H})}{(M(\text{O}) + M(\text{H})) \times N_A}$. 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 $f_0 = 1,1 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

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.

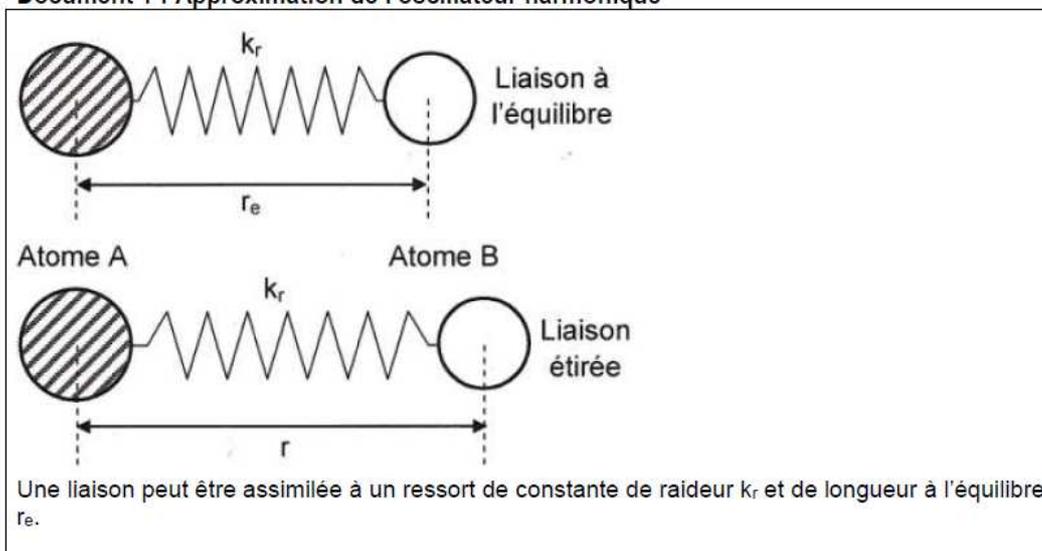
Données :

Masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$

Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Document 1 : Approximation de l'oscillateur harmonique

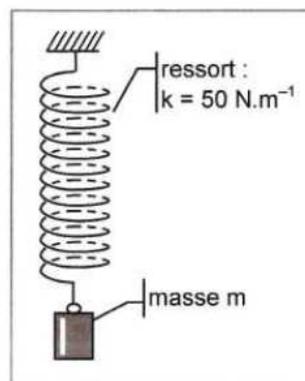
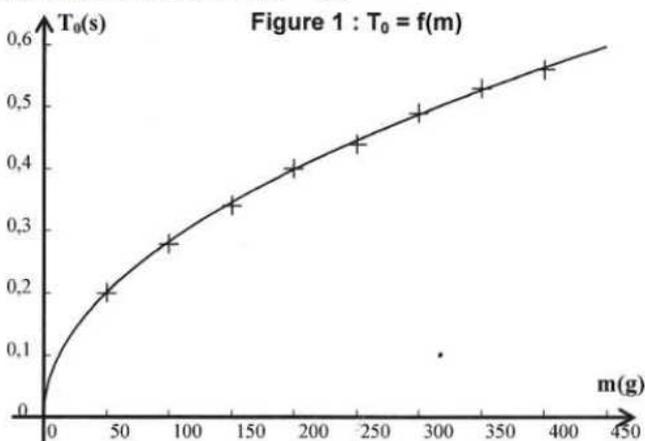


Document 2 : Étude expérimentale du dispositif solide-ressort : influence de m

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 $k = 50 \text{ N.m}^{-1}$ 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 : $T_0 = f(m)$

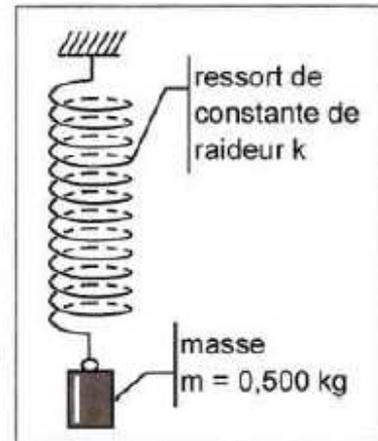
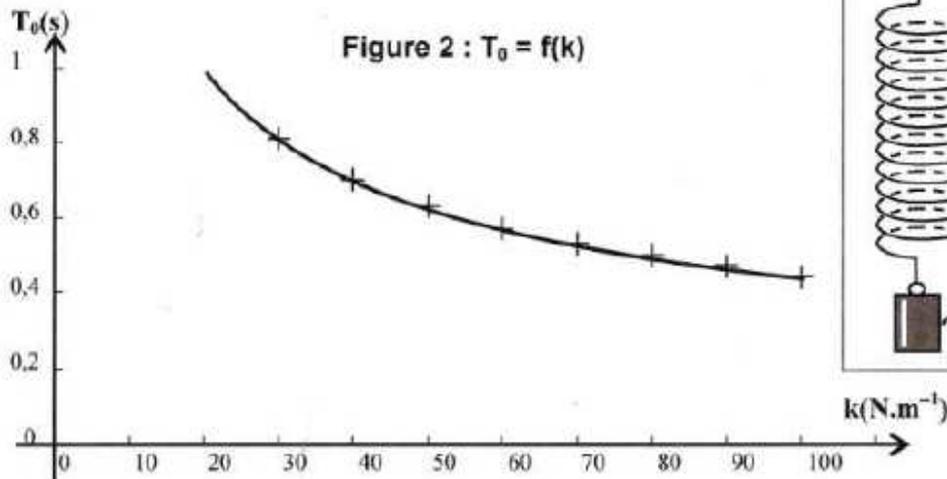


Document 3 : étude expérimentale du dispositif solide-ressort : influence de k

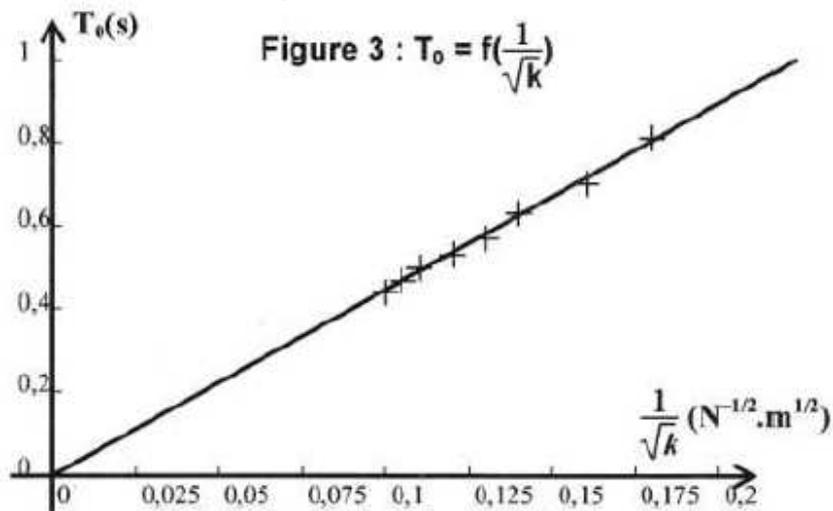
À l'aide du dispositif expérimental utilisé dans le document 2, on étudie ensuite l'influence de la constante de raideur k du ressort sur la période propre T_0 des oscillations. Pour cela on utilise un solide de masse $m = 0,500$ kg et on relève la période propre T_0 des oscillations du dispositif solide-ressort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



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



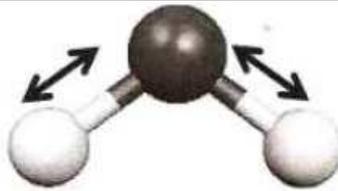
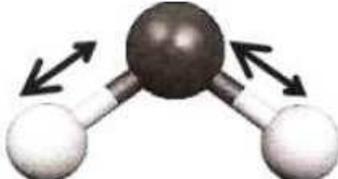
Document 4 : Oscillateur solide-ressort

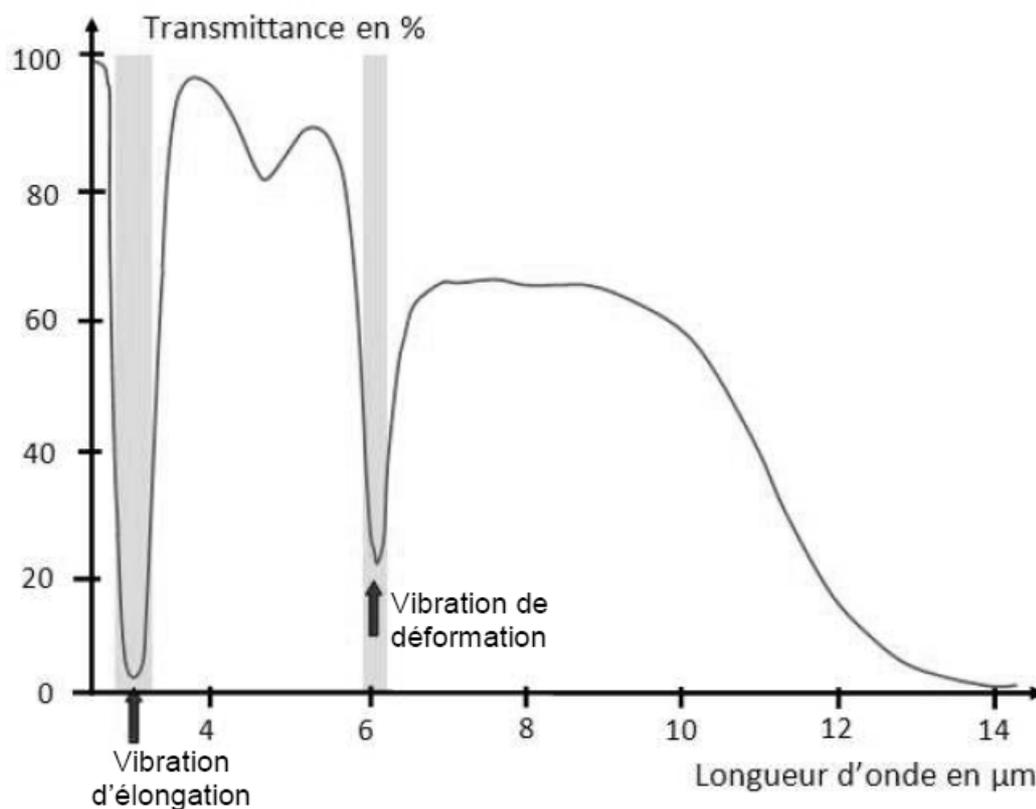
Un oscillateur lié, à chaque extrémité, à des masses m_A et m_B est équivalent à un oscillateur dont une extrémité est fixe et dont la masse m_r , dite masse réduite, fixée à l'extrémité du mobile

$$\text{est : } m_r = \frac{m_A \times m_B}{m_A + m_B}$$

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 :

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



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