

PHYSIQUE-CHIMIE

**Série S**  
**ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE**

Durée de l'épreuve : 3 h 30

**L'usage de la calculatrice est autorisé**

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétrée.**

Ce sujet comporte 3 exercices présentés sur 15 pages numérotées de 1 à 15 y compris celle-ci.

- 1- LES DANGERS DE L'ALCOOL (7 POINTS)
- 2- DE LA LIAISON COVALENTE À LA SPECTROSCOPIE INFRAROUGE (7 POINTS)
- 3- SURFER SUR LA VAGUE (6 POINTS)

## EXERCICE 1. LES DANGERS DE L'ALCOOL (7 points)

### Document 1

On trouve dans un document publié par l'Institut suisse de prévention de l'alcoolisme (ISPA) les informations suivantes :

Quand une personne consomme de l'alcool, celui-ci commence immédiatement à passer dans le sang. Plus le passage de l'alcool dans le sang est rapide, plus le taux d'alcool dans le sang augmentera rapidement, et plus vite on sera ivre. L'alcool est éliminé en majeure partie par le foie. Dans le foie, l'alcool est éliminé en deux étapes grâce à des enzymes. Dans un premier temps, l'alcool est transformé en éthanal par l'enzyme alcool déshydrogénase (ADH). L'éthanal est une substance très toxique, qui provoque des dégâts dans l'ensemble de l'organisme. Il attaque les membranes cellulaires et cause des dommages indirects en inhibant le système des enzymes. Dans un deuxième temps, l'éthanal est métabolisé par l'enzyme acétaldéhyde déshydrogénase (ALDH).

Alcool pur : Ethanol :  $C_2H_6O$

↓ Enzyme ADH

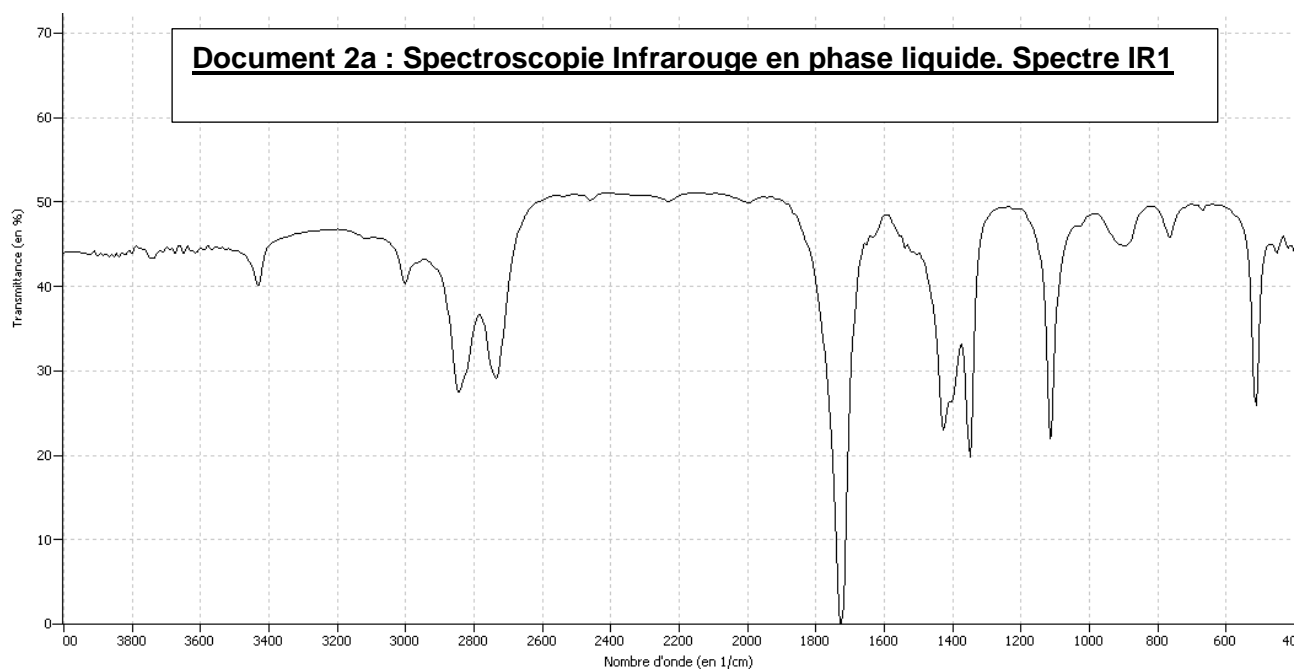
Ethanal  $C_2H_4O$

↓ Dégradation ultérieure...

Synthèse du cholestérol

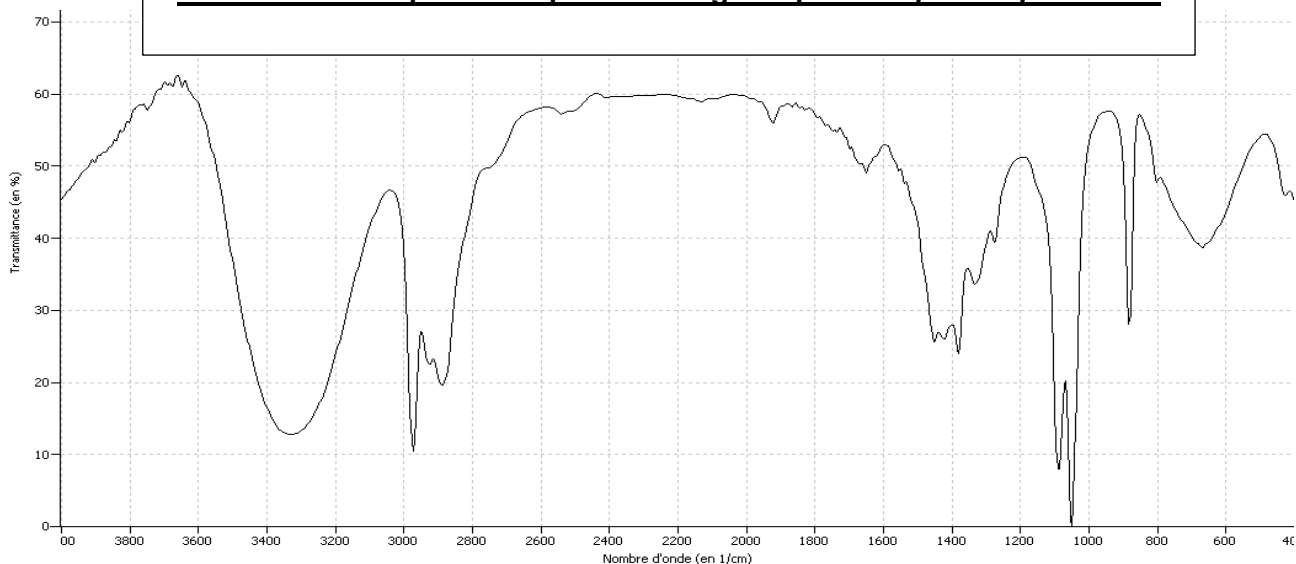
### 1. Spectroscopie

On se propose d'étudier la structure et les fonctions organiques de ces molécules par spectroscopie.



<http://www.sciences-edu.net>

**Document 2b : Spectroscopie Infrarouge en phase liquide. Spectre IR2**

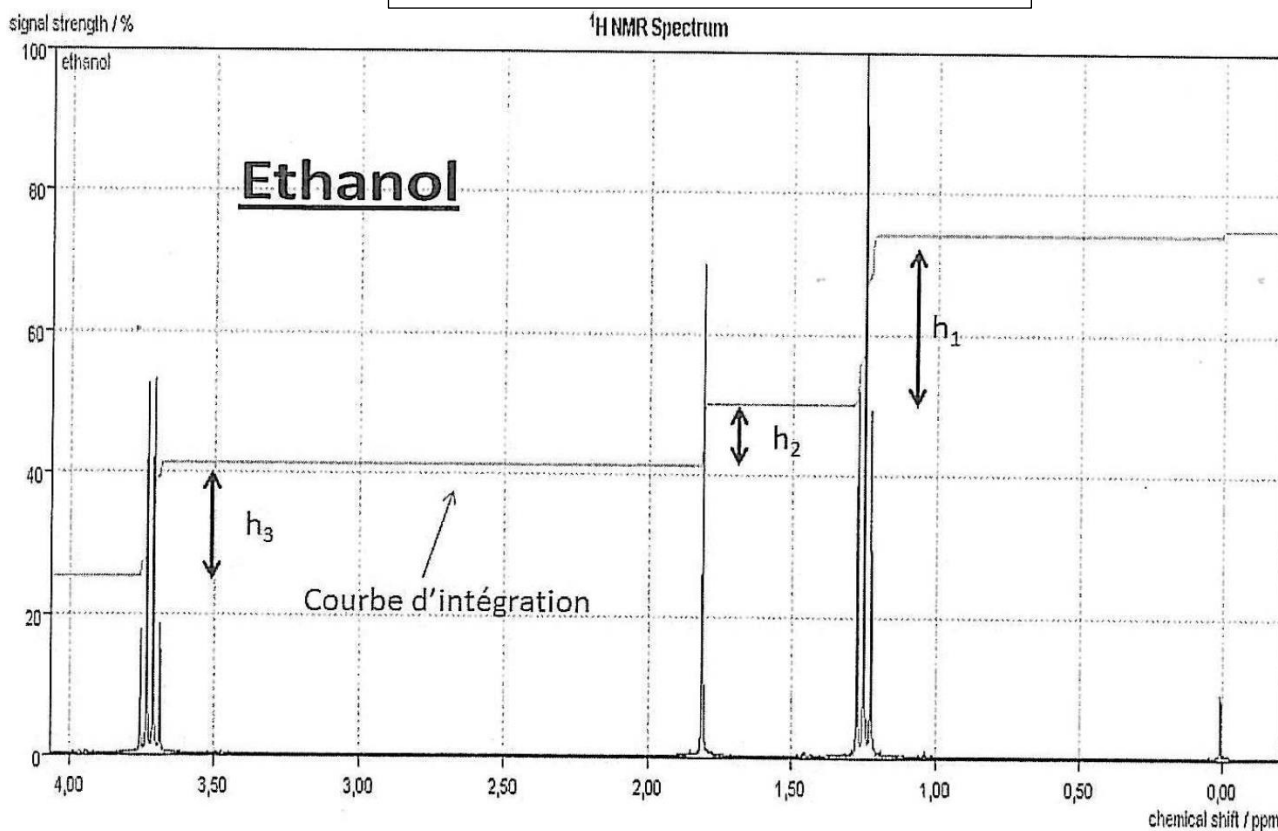


<http://www.sciences-edu.net>

**Document 2c : Table de données pour la spectroscopie IR**

Liaison	C - C	C - O	C = O (carbonyle)	C - H	O - H
Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	1000-1250	1050-1450	1650-1740	2800-3000	3200-3700

**Document 3 : Spectre de RMN de l'éthanol**



- 1.1. Le document 1 évoque les molécules d'éthanol et d'éthanal : représenter en formule semi-développée ces deux molécules et encadrer leurs fonctions caractéristiques.
- 1.2. Quel est le nom du groupe fonctionnel porté par l'éthanol ? À quelle famille appartient cette molécule ?
- 1.3. Quel est le nom du groupe fonctionnel porté par l'éthanal ? À quelle famille appartient cette molécule ?
- 1.4. En utilisant les données spectroscopiques du document 2, associer chaque spectre infrarouge (IR) à la molécule correspondante en justifiant.
- 1.5. Le document 3 présente le spectre RMN de l'éthanol. En utilisant la courbe d'intégration, calculer les rapports  $h_1/h_2$  et  $h_3/h_2$ .
- 1.6. Utiliser les rapports calculés pour associer aux trois massifs du spectre, les groupes de protons équivalents de l'éthanol.
- 1.7. Le massif de pics situé au déplacement chimique 1,25 ppm se présente sous la forme d'un triplet. En utilisant la règle des (n+1)-uplets, justifier cette multiplicité en évoquant le nombre d'atomes d'hydrogène voisins.

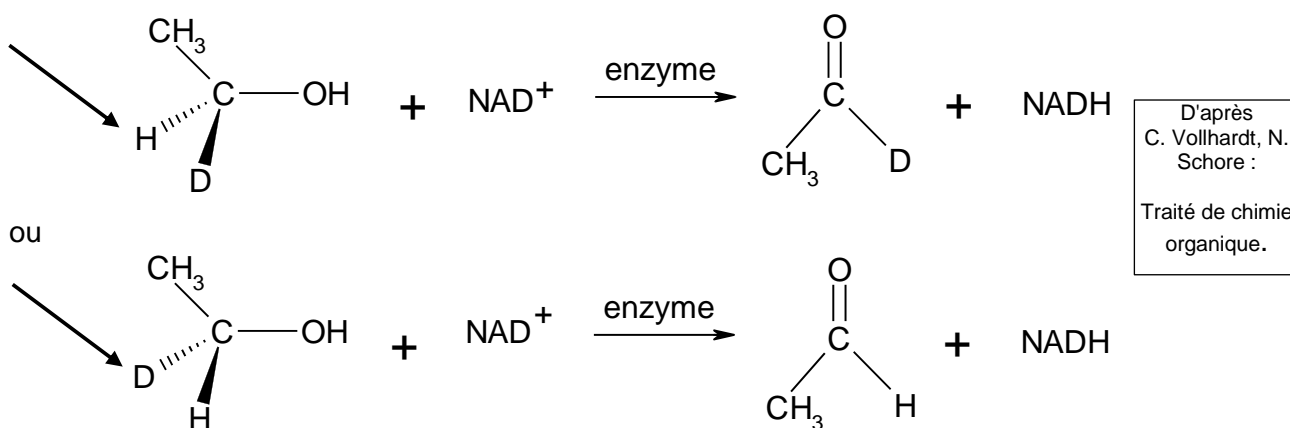
## 2. Mécanisme de métabolisation des alcools.

Après étude de la structure de ces molécules, nous allons étudier le mécanisme biochimique expliquant leur transformation dans l'organisme.

La métabolisation des alcools implique leur oxydation en composés carbonylés. Dans les systèmes biologiques, l'éthanol est transformé en éthanal grâce à un oxydant noté  $\text{NAD}^+$ . La réaction est catalysée par une enzyme appelée alcool-déshydrogénase.

En substituant un atome d'hydrogène par un atome de deutérium D, on peut mettre en évidence le rôle énantiosélectif de cette enzyme.

En soumettant les deux énantiomères du 1-deutéroéthanol à l'action de l'enzyme, on a pu établir que l'oxydation biochimique était stéréospécifique, le  $\text{NAD}^+$  arrachant uniquement l'hydrogène marqué ci-dessous par une pointe de flèche noire.



D désigne l'isotope 2 de l'hydrogène  ${}^2_1\text{H}$  appelé deutérium.

- 2.1. Quel est le nom de la représentation chimique utilisée dans le mécanisme ci-dessus pour l'alcool ?
- 2.2. Que représentent les traits pointillés et les traits épais ?
- 2.3. En vous basant sur cette représentation, développer complètement la molécule d'éthanol en faisant apparaître toutes les liaisons.
- 2.4. Quelle particularité stéréochimique possède le carbone porteur du deutérium dans la molécule de deutéroéthanol ? Comment nomme-t-on ce type de molécules ?
- 2.5. L'éthanal obtenu par oxydation se présente-t-il sous la forme d'un mélange d'énantiomères ? Justifier.
- 2.6. La dégradation de l'alcool dans l'organisme est une réaction catalysée. Donner la définition d'un catalyseur. Quel type de catalyse est présenté ici ?

### **3. Contrôle de qualité d'un vin : dosage par spectrophotométrie de l'éthanol.**

On peut lire dans *le code de la santé publique* depuis juin 2000 : catégorie *Vins doux* : vins, apéritifs à base de vin ne titrant pas plus de 18 degrés.

On se propose de vérifier en laboratoire si un vin obéit à cette législation.

**Définition** : Le titre alcoométrique, exprimé en degré, est égal au nombre de litres d'éthanol contenus dans 100 litres de vin.

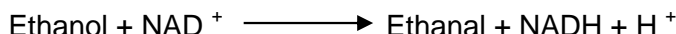
**Données** :  $M(\text{éthanol}) = 46,0 \text{ g.mol}^{-1}$

$\mu(\text{éthanol}) = 0,78 \text{ g.mL}^{-1}$

Afin de procéder au contrôle, on réalise le titrage par spectrophotométrie du vin en suivant le protocole suivant :

**Première étape** : On recueille l'éthanol du vin par distillation.

**Deuxième étape** : L'éthanol est oxydé par la  $\text{NAD}^+$  dans une réaction catalysée par une enzyme spécifique similaire à celle évoquée dans la partie II. La réaction produit de la nicotinamide-adénine-dinucléotide réduite (NADH) en quantité de matière égale à celle de l'éthanol dosé selon l'équation :



**Troisième étape** : La NADH absorbant dans le domaine UV, on mesure son absorbance par spectrophotométrie.

L'étalonnage du spectrophotomètre avec différentes solutions d'éthanol permet de vérifier la loi de Beer-Lambert :  $A = k.C_m$  avec  $k = 1,6 \times 10^{-3} \text{ L.mg}^{-1}$  et  $C_m$  la concentration massique d'éthanol dans l'échantillon.

**Réalisation de la mesure :** On distille 10 mL de vin ; le distillat est ensuite ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée pour obtenir une solution appelée S.

On prépare l'échantillon à doser par spectrophotométrie en introduisant dans une fiole jaugée de 100 mL :

- 1 mL de solution S,
- le catalyseur,
- NAD<sup>+</sup> en excès,

On complète avec de l'eau distillée.

L'absorbance mesurée pour cet échantillon vaut :  $A_e = 0,15$ .

3.1. Déterminer à partir de l'absorbance mesurée  $A_e$ , la concentration massique  $C_m$  en éthanol de l'échantillon étudié.

3.2. En tenant compte des deux dilutions successives, calculer les concentrations massiques en éthanol suivantes :

3.2.1  $C_S$  dans la solution S.

3.2.2  $C_V$  dans le vin.

3.3. Quelle est la valeur du titre alcoométrique exprimé en degrés du vin ?

3.4. Ce vin est-il conforme au code de la santé publique ?

## EXERCICE 2. DE LA LIAISON COVALENTE À LA SPECTROSCOPIE INFRAROUGE (7 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.

Parmi les expressions proposées dans le tableau suivant, une seule est cohérente avec les observations expérimentales des documents 2 et 3.

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

1.2. Quelle(s) relation(s) peut(vent) être éliminée(s) à l'aide du document 2 ? Justifier soigneusement votre raisonnement.

1.3. Quelle(s) relation(s) peut(vent) être éliminée(s) à l'aide du document 3 ? Justifier soigneusement votre raisonnement.

1.4. En déduire la seule expression pouvant convenir pour  $T_0$ .

1.5. Vérifier l'affirmation précédente par une analyse dimensionnelle de l'expression choisie et montrer qu'elle est bien homogène à un temps.

## 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. Exprimer la valeur de la masse d'un atome en fonction de la masse molaire  $M$ , le nombre d'atomes  $N$  et la nombre d'Avogadro  $N_A$ .

2.3. 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  $m_r$ .

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

2.5. Rappeler la relation entre la fréquence d'une onde et sa longueur d'onde.

2.6. En calculant la longueur d'onde dans le vide associée à  $f_0$  et en supposant que le modèle de l'oscillateur harmonique 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 :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

### DOCUMENTS

#### 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  $r_e$ .

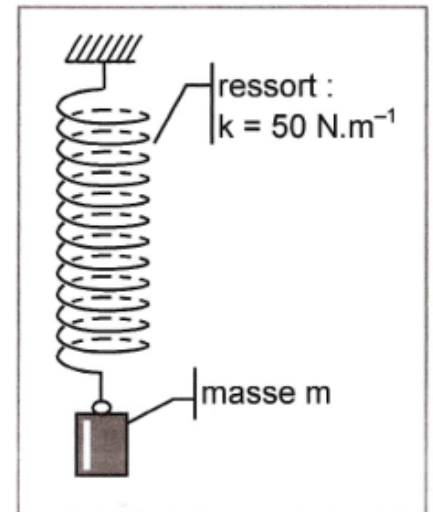
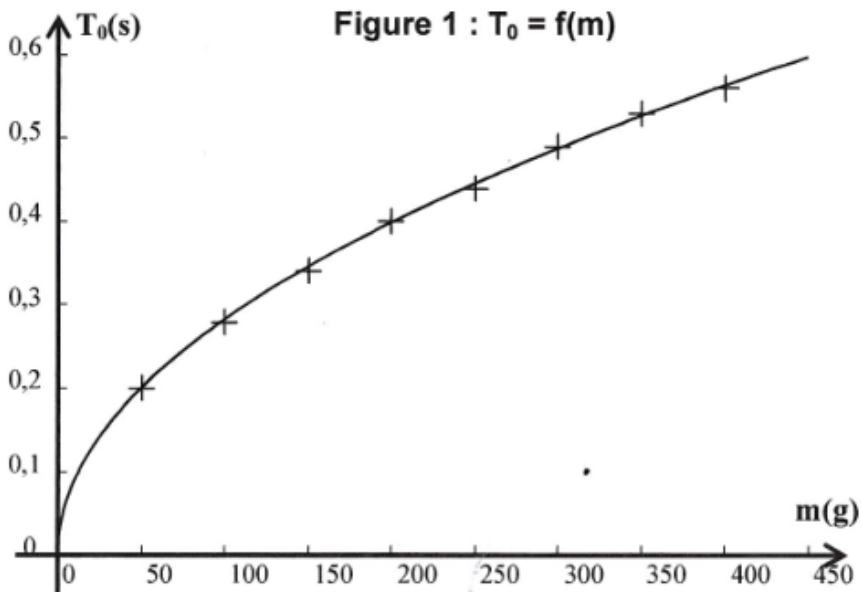


## Document 2 : Étude expérimentale du dispositif solide-ressort : influence de m

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

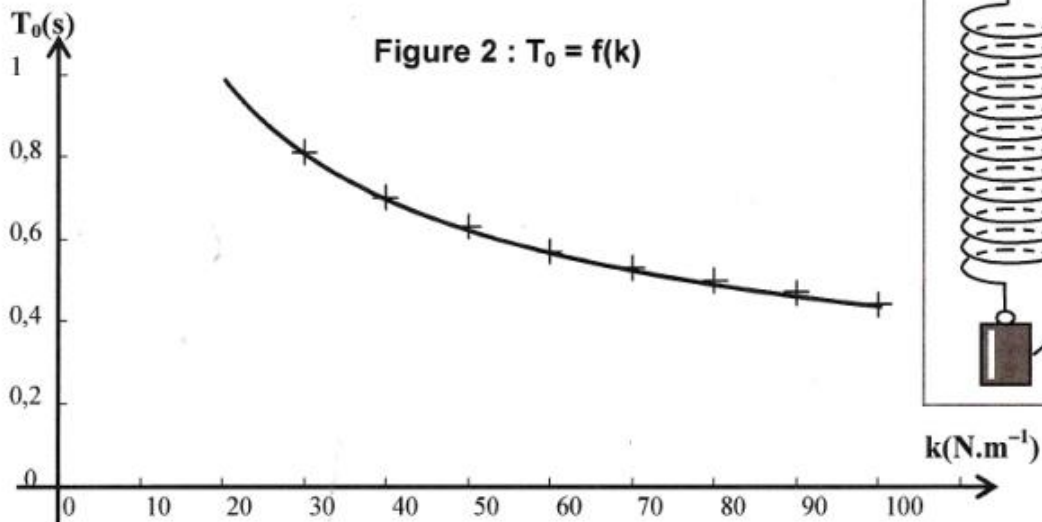


### Document 3 : étude expérimentale du dispositif solide-ressort : influence de k

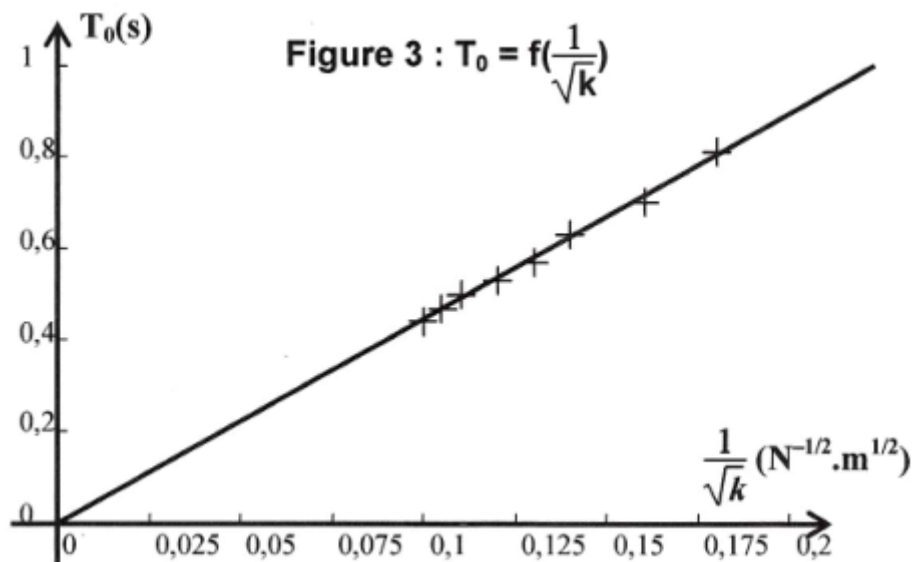
À l'aide du dispositif expérimental utilisé dans le document 2, on étudie ensuite l'influence de la constante de raideur  $k$  du ressort sur la période propre  $T_0$  des oscillations. Pour cela on utilise un solide de masse  $m = 0,500$  kg et on relève la période propre  $T_0$  des oscillations du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

$k$ ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ )	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

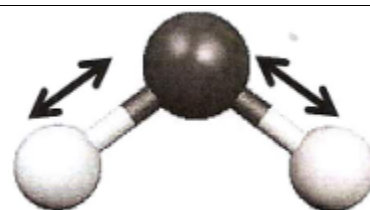
Un oscillateur lié, à chaque extrémité, à des masses  $m_A$  et  $m_B$  est équivalent à un oscillateur dont une extrémité est fixe et dont la masse  $m_r$ , dite masse réduite, fixée à l'extrémité du mobile est :  $m_r = \frac{m_A \times m_B}{m_A + m_B}$ .

#### 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 :

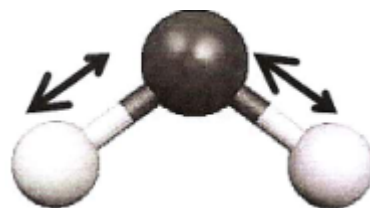
un mode de vibration d'élongation (stretching) symétrique situé à  $3652 \text{ cm}^{-1}$  (soit pour une longueur d'onde de  $2,74 \mu\text{m}$ ).

Les deux liaisons s'allongent et se raccourcissent simultanément.



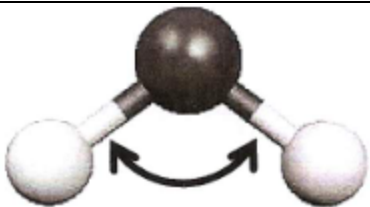
un mode de vibration d'élongation (stretching) antisymétrique situé à  $3756 \text{ cm}^{-1}$  (soit pour une longueur d'onde de  $2,66 \mu\text{m}$ ).

Lorsqu'une liaison s'allonge, l'autre se raccourcit et vice-versa.

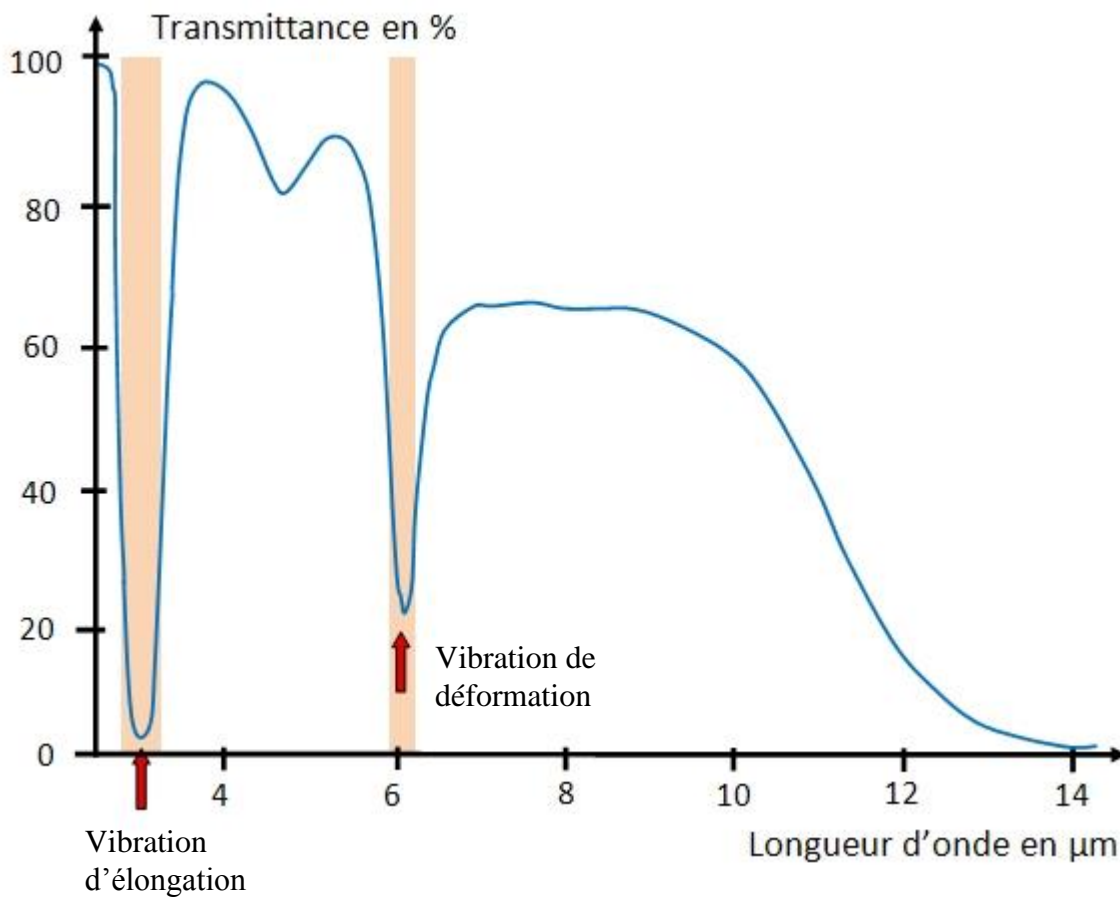


un mode de vibration de déformation (dit de cisaillement) situé à  $1595 \text{ cm}^{-1}$  (soit pour une longueur d'onde de  $6,27 \mu\text{m}$ ).

L'angle entre les liaisons H-O-H oscille.



**Document 5 suite : Spectre infrarouge de la vapeur d'eau**



[http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/eau/comprendre/eau\\_univers](http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/eau/comprendre/eau_univers)

### EXERCICE 3. : SURFER SUR LA VAGUE (6 POINTS)

*La houle est un train de vagues régulier généré par un vent soufflant sur une grande étendue de mer sans obstacle, le fetch. En arrivant près du rivage, sous certaines conditions, la houle déferle au grand bonheur des surfeurs !*

Les documents utiles à la résolution sont rassemblés à la fin de l'exercice.

**Donnée** : intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .

#### 1. La houle, onde mécanique progressive

- 1.1. Pourquoi peut-on dire que la houle est une onde mécanique progressive ?
- 1.2. Il est possible de simuler la houle au laboratoire de physique avec une cuve à ondes en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoïdale de fréquence  $f = 23 \text{ Hz}$ . On réalise une photographie du phénomène observé (**document 1**).  
Déterminer, en expliquant la méthode utilisée, la vitesse de propagation  $v$  de l'onde sinusoïdale générée par le vibreur.
- 1.3. Au large de la pointe bretonne, à une profondeur de 3000 m, la houle s'est formée avec une longueur d'onde de 60 m.  
En utilisant le **document 2**, calculer la vitesse de propagation  $v_1$  de cette houle.  
En déduire sa période  $T$ .
- 1.4. Arrivée de la houle dans une baie.
  - 1.4.1. Sur la photographie aérienne du document 3, quel phénomène peut-on observer ? Quelle est la condition nécessaire à son apparition ?
  - 1.4.2. Citer un autre type d'onde pour laquelle on peut observer le même phénomène.

#### 2. Surfer sur la vague

La houle atteint une côte sablonneuse et rentre dans la catégorie des ondes longues.

- 2.1. Calculer la nouvelle vitesse de propagation  $v_2$  de la houle lorsque la profondeur est égale à 4,0 m, ainsi que sa nouvelle longueur d'onde  $\lambda_2$ . Les résultats obtenus sont-ils conformes aux informations données dans le **document 4** ?
- 2.2. Pour la pratique du surf, la configuration optimale est :
  - à marée montante c'est-à-dire entre le moment de basse mer et celui de pleine mer ;
  - avec une direction du vent venant du Sud-Ouest.

Un surfeur consulte au préalable un site internet qui lui donne toutes les prévisions concernant le vent, la houle et les horaires des marées (**document 5**).

Proposer en justifiant, un créneau favorable à la pratique du surf entre le jeudi 21 et le samedi 23 juin 2012.

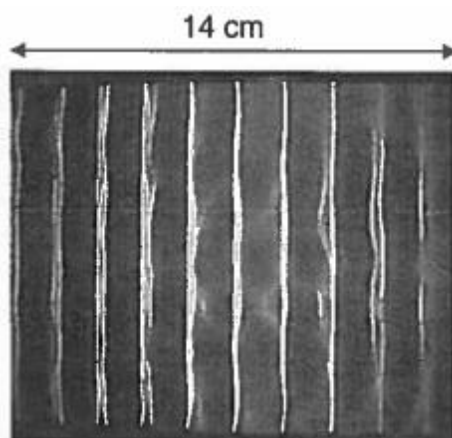
2.3. Un autre phénomène très attendu par les surfeurs, lors des marées importantes est le mascaret.

Le mascaret est une onde de marée qui remonte un fleuve. Cette onde se propage à une vitesse  $v$  de l'ordre de  $5,1 \text{ m.s}^{-1}$ .

Le passage du mascaret étant observé sur la commune d'Arcins à 17h58, à quelle heure arrivera-t-il à un endroit situé à une distance  $d = 13 \text{ km}$  en amont du fleuve ?

### DOCUMENTS DE L'EXERCICE III

**Document 1** : Simulation de la houle au laboratoire avec une cuve à ondes.



**Document 2** : Vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau.

- cas des ondes dites « courtes » (en eau profonde) :

longueur d'onde  $\lambda$  faible devant la profondeur  $h$  de l'océan ( $\lambda < 0,5 h$ )

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

- cas des ondes dites « longues » (eau peu profonde) :

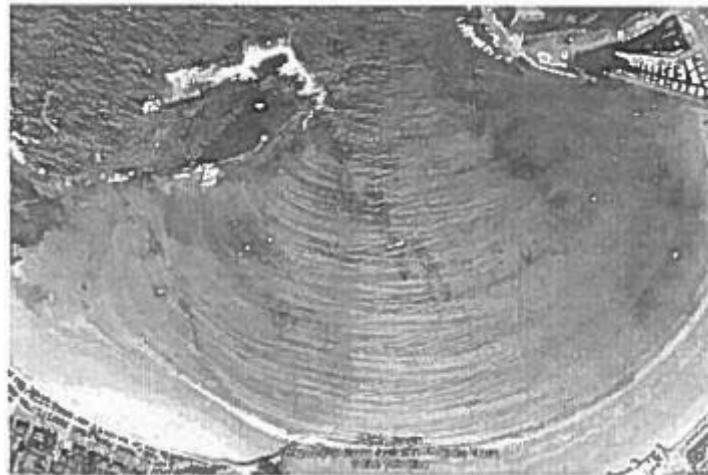
longueur d'onde  $\lambda$  très grande devant la profondeur de l'océan ( $\lambda > 10h$ )

$$v = \sqrt{g.h}$$

$g$  est l'intensité du champ de pesanteur terrestre.

D'après <http://ifremer.fr/>

**Document 3 :** Photographie aérienne de l'arrivée de la houle dans une baie.



**Document 4 :** Déferlement des vagues sur la côte

En arrivant près de la côte, la houle atteint des eaux peu profondes. Dès que la profondeur est inférieure à la moitié de la longueur d'onde, les particules d'eau sont freinées par frottement avec le sol. La houle est alors ralentie et sa longueur d'onde diminue. Ces modifications des caractéristiques de l'onde s'accompagnent d'une augmentation d'amplitude. La période est la seule propriété de l'onde qui ne change pas à l'approche de la côte.

Ainsi en arrivant près du rivage, la vitesse des particules sur la crête est plus importante que celle des particules dans le creux de l'onde, et lorsque la crête n'est plus en équilibre, la vague déferle.

D'après <http://ifremer.fr/>

**Document 5 :** Prévisions maritimes.

GFS 21.06.2012 00 UTC	Je 21 05h	Je 21 08h	Je 21 11h	Je 21 14h	Je 21 17h	Je 21 20h	Ve 22 05h	Ve 22 08h	Ve 22 11h	Ve 22 14h	Ve 22 17h	Ve 22 20h	Sa 23 05h	Sa 23 08h	Sa 23 11h	Sa 23 14h	Sa 23 17h	Sa 23 20h
Vitesse du vent (noeuds)	4	7	16	23	21	21	17	15	15	15	15	12	10	10	10	13	14	15
Rafales (noeuds)	5	10	25	28	28	28	23	21	18	19	18	15	13	13	12	15	18	21
Direction du vent	↗	↑	↑	↗	↗	↗	↗	→	→	→	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Vagues (m)	0.7	0.7	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Période des vagues (s)	6	7	4	6	6	6	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
Direction des vagues	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
*Température (°C)	13	14	14	14	15	14	14	14	15	15	15	14	13	14	15	16	16	15

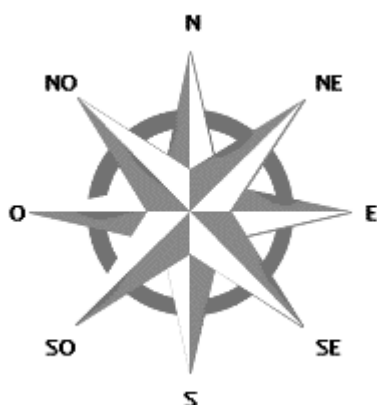


Tableau des marées – Juin 2012

Jour	Pleine mer (h :min)	Basse mer (h :min)
Jeudi 21 juin	06 :54 19 :08	00 :58 13 :10
Vendredi 22 juin	07 :31 19 :44	01 :34 13 :46
Samedi 23 juin	08 :08 20 :22	02 :10 14 :24
Dimanche 24 juin	08 :47 21 :02	02 :49 15 :04

D'après <http://www.windguru.cz/fr/>