

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2002

*PHYSIQUE-CHIMIE*

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : 6



**L'épreuve a été conçue pour être traitée SANS calculatrice**

L'usage des calculatrices N'EST PAS autorisé

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré**

*Les données sont en italique*

Ce sujet comporte deux exercices de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les quatre exercices qui sont indépendants les uns des autres :

- I. Un xylophone d'enfant
- II. Newton et les satellites de Jupiter
- III. Synthèse de l'acétate d'eugényle
- IV. Quelques surprises dues au dioxyde de carbone dans l'air

## I - UN XYLOPHONE D'ENFANT – 5,5 points

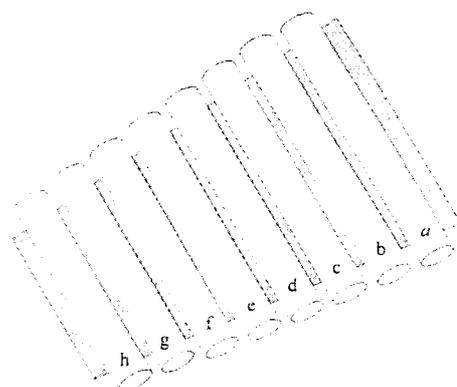
Les instruments de musique correctement accordés produisent des notes ( $do_5$ ,  $ré_5$ , ...,  $la_7$ ,  $si_7$ ) dont les fréquences sont définies très rigoureusement, à savoir :

Note	Fréquence en hertz	Note	Fréquence en hertz	Note	Fréquence en hertz
$do_5$	1046	$do_6$	2093	$do_7$	4186
$ré_5$	1175	$ré_6$	2350	$ré_7$	4699
$mi_5$	1318	$mi_6$	2637	$mi_7$	5274
$fa_5$	1397	$fa_6$	2794	$fa_7$	5588
$sol_5$	1568	$sol_6$	3136	$sol_7$	6272
$la_5$	1760	$la_6$	3520	$la_7$	7040
$si_5$	1976	$si_6$	3951	$si_7$	7902

Un xylophone d'enfant est composé de 8 tubes métalliques creux (notés a, b, ..., g, h), tous identiques mais de longueurs  $\ell$  différentes.

Lorsqu'on frappe sur l'un de ces tubes avec un petit marteau, il vibre, ce qui produit un son bref d'une durée d'environ 2 secondes.

On place devant le xylophone un microphone qui transforme le son en tension électrique. En reliant le microphone à une interface d'acquisition, on cherche à tracer le graphe de la tension aux bornes du microphone en fonction de la durée et à en déduire la période du son.



### 1. Obtention de l'enregistrement.

Comme pour un oscilloscope, qu'il est nécessaire de régler, il faut paramétrer l'interface d'acquisition afin d'obtenir un enregistrement exploitable. On peut régler deux paramètres de la voie d'acquisition : la durée d'acquisition (c'est à dire la durée de l'enregistrement) et la sensibilité verticale (ou calibre de la voie).

L'expérimentateur fait plusieurs essais avec le tube a en utilisant un dispositif permettant de frapper les tubes d'une façon que l'on considérera identique à chaque fois. Il obtient les enregistrements I, II et III donnés dans l'ANNEXE, page 11, représentant la tension aux bornes du microphone en fonction de la durée.

- 1.1. Quel(s) paramètre(s) de l'interface l'expérimentateur a-t-il modifié(s) entre l'enregistrement I et l'enregistrement II ?
- 1.2. Quel(s) paramètre(s) de l'interface l'expérimentateur a-t-il modifié(s) entre l'enregistrement II et l'enregistrement III ?

## 2. Modélisation de la tension.

L'expérimentateur décide de conserver l'enregistrement II.

Pendant la durée d'acquisition de cet enregistrement, la tension électrique peut être considérée comme sinusoïdale de la forme  $u(t) = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$ . Un logiciel de traitement permet de déterminer les valeurs de  $U_m$ ,  $\omega$  et  $\varphi$ .

Pour le tube **a**, il propose :  $(U_m)_a = 83 \text{ mV}$        $\omega_a = 1,32 \times 10^4 \text{ S.I.}$        $\varphi_a = - 1,74 \text{ rad.}$

- 2.1. Le choix d'une fonction sinusoïdale comme modèle convient-il pour les deux autres enregistrements I et III ? Justifier sans calcul.
- 2.2. Que représente la grandeur  $(U_m)_a$  ?
- 2.3. Que représente la grandeur  $\omega_a$  ? Quelle est son unité ?
- 2.4. Donner la relation entre  $\omega_a$  et la fréquence  $f_a$  de la tension électrique.
- 2.5. En déduire la valeur de la fréquence  $f_a$  et celle de la période  $T_a$  de la tension électrique  $u_a$ .

Aide au calcul numérique :

$$\frac{1,32}{2\pi} \approx 0,210 ; \quad \frac{2\pi}{1,32} \approx 4,76 ; \quad 1,32 \times 2\pi \approx 8,29 ; \quad \frac{1}{1,32 \times 2\pi} \approx 0,121$$

## 3. La vibration du tube.

On admettra que la fréquence de la vibration du tube est la même que celle du son et que celle de la tension électrique enregistrée.

### 3.1. Observation globale du phénomène.

Le tube vibre quand il est frappé avec un marteau. Le son produit s'atténue et n'est plus audible au bout de 2 secondes. Décrire par une phrase ce qui se passe pour le tube en choisissant les termes adaptés dans la liste suivante : *oscillations ; mécaniques ; électriques ; libres ; entretenues ; forcées ; amorties ; non amorties ; critiques.*

### 3.2. Étude restreinte à la durée d'acquisition.

On rappelle que pendant la durée d'acquisition de l'enregistrement, la tension électrique peut être considérée comme sinusoïdale.

Quelle est la fréquence du son émis par le tube **a** ? À quelle note cela correspond-t-il ?

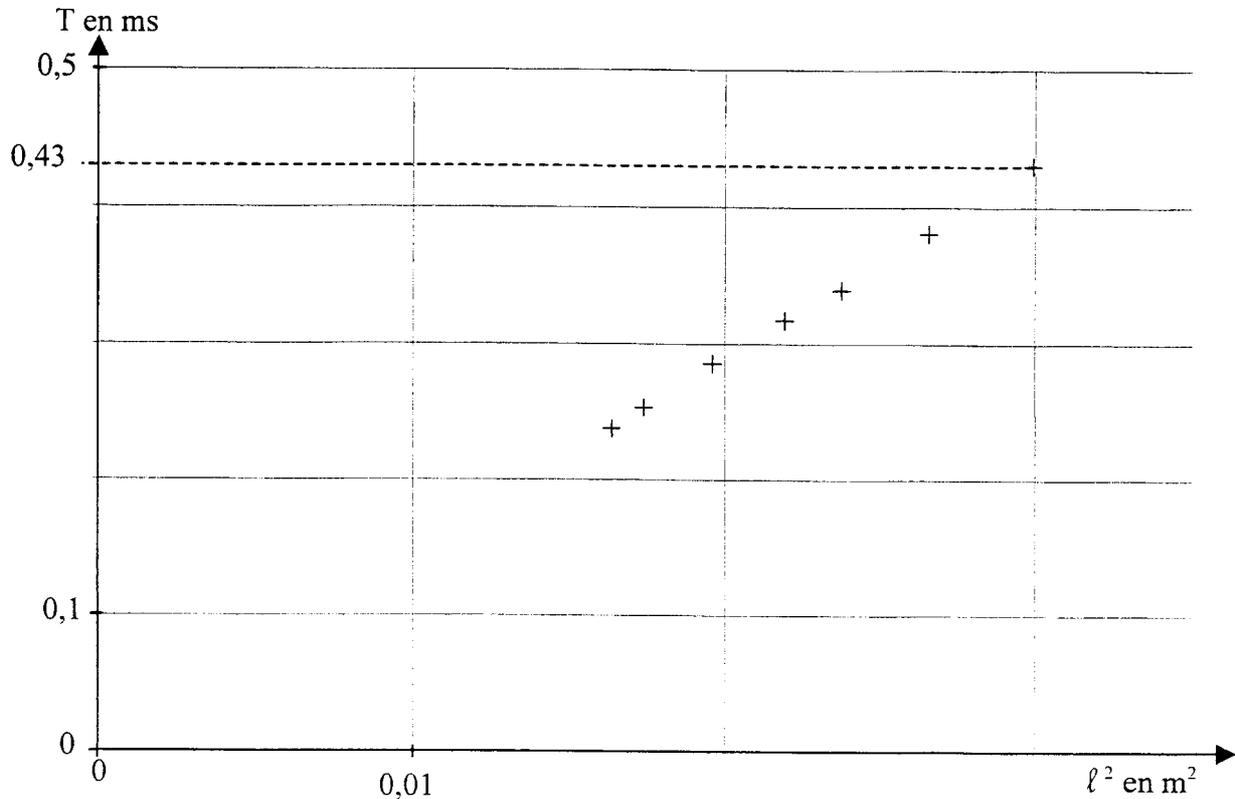
### 3.3. L'expérimentateur a utilisé une interface d'acquisition. Il aurait pu utiliser un oscilloscope à mémoire. Pourquoi n'a-t-il pas utilisé un oscilloscope classique ?

## 4. Variation de la période du son en fonction de la longueur $\ell$ du tube.

On réalise la même expérience pour les 7 autres tubes. Pendant les acquisitions, la tension électrique peut être considérée comme sinusoïdale comme dans l'enregistrement II de la question 2. Grâce à la valeur de  $\omega$  donnée par le logiciel, on en déduit la période  $T$  et la fréquence  $f$  du son émis par chaque tube. On obtient le tableau de mesures suivant :

	tube <b>b</b>	tube <b>c</b>	tube <b>d</b>	tube <b>e</b>	tube <b>f</b>	tube <b>g</b>	tube <b>h</b>
$\ell$ en cm	17,3	16,3	15,4	14,8	14,0	13,2	12,8
$T$ en ms	0,430	0,381	0,340	0,317	0,286	0,253	0,238
$f$ en kHz	2,32	2,63	2,94	3,15	3,50	3,95	4,20

- 4.1. On donne l'enregistrement IV dans l'ANNEXE, page 11. En le comparant aux autres enregistrements, justifier qu'il s'agit de l'enregistrement du son d'un tube différent du tube *a*.
- 4.2. Sans la mettre en œuvre, décrire la méthode qui permettrait de montrer, à partir des valeurs du tableau précédent, que la période *T* du son n'est pas proportionnelle à la longueur *ℓ* du tube ?
- 4.3. On a tracé le graphe représentant *T* en fonction de  $\ell^2$ .



- 4.3.1. À partir du graphique, justifier que l'on peut considérer que la période *T* est proportionnelle à  $\ell^2$ .
- 4.3.2. En déduire la relation numérique entre *T* et  $\ell$  en précisant les unités.

Aide au calcul numérique :

$$\frac{4,3}{3} \approx 1,4 \quad ; \quad \frac{3}{4,3} \approx 0,70 \quad ; \quad 3 \times 4,3 \approx 12,9 \quad ; \quad \frac{1}{3 \times 4,3} \approx 0,078$$

- 4.4. Lorsque la fréquence expérimentale du son émis par un tube est très différente de la fréquence de la note attendue pour ce tube, le tube est mal accordé.

L'expérimentateur constate que l'un des tubes est mal accordé. Indiquer lequel.

Pour accorder ce tube, faut-il augmenter ou diminuer sa longueur, tous les autres paramètres restant constants ? Justifier la réponse.

*Remarque : on notera, bien entendu, le caractère particulièrement simplificateur de la modélisation pour l'étude de la vibration et du son émis par chaque tube.*

## II - NEWTON ET LES SATELLITES DE JUPITER – 5,5 points

Extraits de l'ouvrage de Newton « Les principes mathématiques de la philosophie naturelle », d'après la traduction de Mme de Chastelet (1756-1759).

Extraits du livre I :

Proposition I :

Les forces par lesquelles les satellites de Jupiter sont retirés perpétuellement du mouvement rectiligne (...) sont dirigées vers le centre de Jupiter et sont inversement proportionnelles aux carrés de leur distance à ce centre.

Proposition V :

Les satellites de Jupiter gravitent vers Jupiter, ceux de Saturne vers Saturne, et les planètes principales vers le Soleil, et c'est par la force de leur gravité que ces corps (...) sont retirés à tout moment de la ligne droite et qu'ils sont retenus dans des orbites curvilignes.

Proposition VI :

Tous les corps gravitent vers chaque planète et, sur la même planète, (...) leurs forces de gravité, à égale distance du centre, sont proportionnelles à la masse que chacun d'eux contient.

On considère que tous les satellites et planètes sont des corps dont la répartition de la masse est à symétrie sphérique. Les mouvements sont étudiés dans le référentiel « jupitérocentrique » (d'origine le centre de Jupiter et d'axes dirigés vers trois étoiles fixes). On note  $M$  la masse de Jupiter et  $G$  la constante de gravitation universelle.

1. On étudie le champ de gravitation de Jupiter.

- 1.1. Donner l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle exercée par Jupiter sur un de ses satellites de masse  $m$  et situé à la distance  $r$  du centre  $O$  de Jupiter. Faire un schéma explicatif.
- 1.2. Donner, dans les propositions ci-dessus extraites du livre I, les citations en accord avec cette expression vectorielle.
- 1.3. Donner l'expression vectorielle du champ de gravitation  $\vec{g}$  créé par Jupiter, à la distance  $r$  de son centre.
- 1.4. Représenter quelques lignes du champ de gravitation autour de Jupiter.
- 1.5. Pourquoi est-il important de préciser que la répartition de la masse des corps est à symétrie sphérique ?

2. On considère que Ganymède, un satellite de Jupiter, satellite de masse  $m$ , est soumis à la seule force de gravitation due à Jupiter et que son mouvement est circulaire de centre  $O$  (centre de Jupiter) et de rayon  $r$ .

- 2.1. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.
- 2.2. Établir l'expression de la vitesse  $v$  de Ganymède en fonction de  $G$ ,  $M$  et  $r$  ; en déduire l'expression de la période  $T$  de révolution.

2.3. Parmi les plus gros satellites de Jupiter, Europe gravite à raison de 14 km par seconde alors que Ganymède met 1 minute pour parcourir 660 km.  
 Quel est le satellite le plus éloigné de Jupiter ? Justifier.

3. On considère que Ganymède se déplace sur son orbite de A en C en 1 seconde ( voir figure 1 ) et que le rayon  $r$  de cette orbite est de l'ordre de un million de kilomètres.

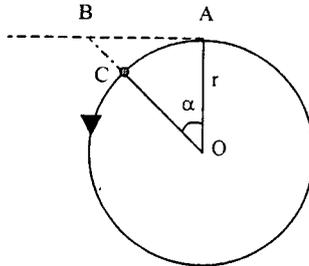


figure 1 (non à l'échelle)

3.1. D'après les extraits cités, que représente la droite AB sur la figure 1 ?

3.2. Si  $\alpha$  (en radian) est très petit, BC est égal à  $\frac{1}{2} r \alpha^2$ .

En déduire que BC est aussi égal à  $\frac{1}{2} \frac{\widehat{AC}^2}{r}$ , où  $\widehat{AC}$  représente l'arc de cercle entre A et C.

Vérifier que la distance BC vaut environ 6 cm.

3.3. Supposons qu'on laisse tomber une pierre de l'altitude de Ganymède en direction de Jupiter. On admet que la hauteur de chute, pendant la première seconde, se calcule par l'expression  $\frac{1}{2} \mathcal{G} t^2$ ,  $\mathcal{G}$  représentant la valeur du champ de gravitation à cette altitude, soit  $\mathcal{G} = 0,12 \text{ m.s}^{-2}$ .

Calculer la hauteur de chute durant la première seconde.

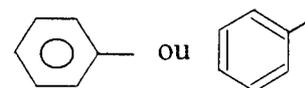
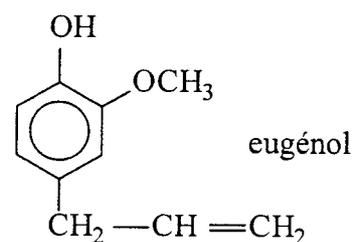
3.4. Compte tenu des résultats des questions 3.2 et 3.3 et des propositions de Newton, que représente BC pour Ganymède ?

### III - SYNTHÈSE DE L'ACÉTATE D'EUGÉNYLE – 4 points

L'huile essentielle de girofle est obtenue par hydrodistillation des boutons floraux séchés du giroflier ou clous de girofle, l'huile essentielle de giroflier est obtenue par hydrodistillation des feuilles et rameaux du giroflier.

Une brochure sur les essences naturelles végétales indique que ces deux huiles, utilisées en parfumerie et en pharmacie, diffèrent par leur composition : elles contiennent toutes deux de l'eugénol, mais celle dite de girofle contient aussi un ester de l'eugénol, l'acétate (ou éthanoate) d'eugényle.

L'acétate d'eugényle n'est pas un produit commercialisé. On se propose de réaliser sa synthèse et de vérifier les informations de la brochure sur la composition des huiles de girofle et de giroflier.



groupe phényle (  $-C_6H_5$  )

#### 1. Synthèse de l'ester

L'eugénol est un phénol qui possède le groupe "caractéristique" :

Il peut conduire, comme les alcools, à la formation d'un ester et possède aussi les propriétés d'un acide faible.

**Données :**

	Densité	Solubilité dans l'eau
<i>eugénol</i>	1,07	très peu soluble
<i>anhydride acétique</i>	1,08	peu soluble, s'hydrolyse
<i>acétate d'eugényle</i>	1,08	insoluble
<i>eugénate de sodium</i>		très soluble
<i>acide acétique</i>	1,05	soluble
<i>acétate de sodium</i>		très soluble

Couple acide/base	$pK_a$
<i>acide acétique / ion acétate</i>	4,8
<i>eugénol / ion eugénate</i>	10

#### Mode opératoire

- ◆ *Étape 1 : on introduit dans un ballon 6,2 mL d'eugénol, un excès d'anhydride acétique et quelques grains de pierre ponce. On réalise un montage à reflux et on chauffe pendant 30 minutes.*
- ◆ *Étape 2 : on arrête le chauffage et on additionne lentement, par le haut du réfrigérant et par petites quantités, environ 15 mL d'eau à température ambiante. On agite et on laisse refroidir ; on transvase le mélange dans une ampoule à décanter.*
- ◆ *Étape 3 : on récupère la phase organique que l'on lave deux fois avec 15 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ou soude à 2 mol.L<sup>-1</sup>.*
- ◆ *Étape 4 : après un dernier lavage avec une petite quantité d'eau, on récupère la phase organique et on la sèche sur du sulfate de magnésium anhydre. Soit O la phase organique obtenue.*

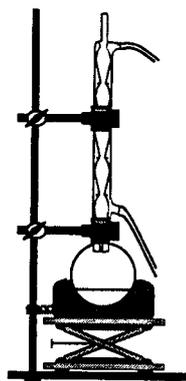
#### Questions

- 1.1. Écrire, avec les formules semi-développées, l'équation-bilan de la réaction (étape 1).
- 1.2. L'ester aurait pu être préparé par une réaction d'estérification entre un acide carboxylique et l'eugénol.

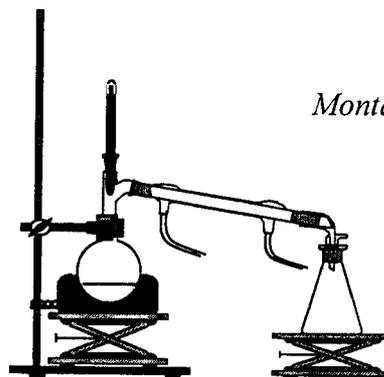
Quel est cet acide ? Pourquoi utilise-t-on l'anhydride de préférence à cet acide ?

1.3. Lequel des deux montages présentés ci-après est un montage à reflux ? Justifier la réponse.

Montage 1



Montage 2



- 1.4. Nommer les espèces présentes dans le ballon après le chauffage à reflux, sachant que la réaction de formation de l'ester n'est pas terminée.
- 1.5. Sachant que, dans l'étape 2, l'anhydride acétique s'hydrolyse complètement en acide acétique, écrire l'équation-bilan de cette réaction.
- 1.6. Faire le schéma de l'ampoule à décanter et préciser le contenu de chaque phase, à la fin de l'étape 2.
- 1.7. Lors des lavages de la phase organique avec la solution de soude à froid dans l'étape 3, y a-t-il une ou des espèces susceptibles de réagir ? La ou les citer.
- 1.8. Que devrait alors contenir la phase organique à la fin de l'étape 3 ? Justifier.

## 2. Analyse par chromatographie sur couche mince des essences de girofle et de girofler

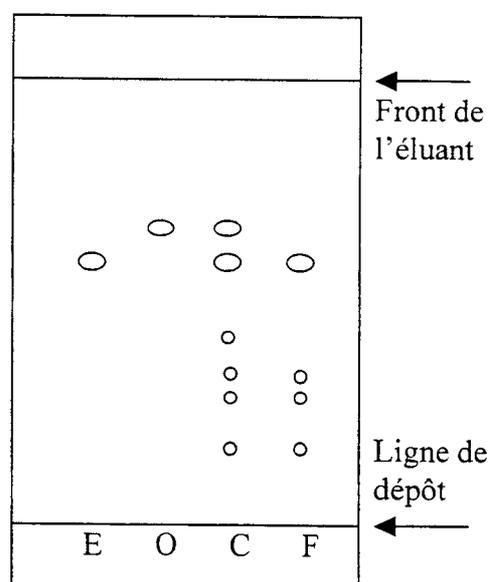
### Mode opératoire

Sur une plaque de silice sensible aux UV, on effectue les dépôts de quatre solutions dans le dichlorométhane :

- ◆ une d'eugénol : E ;
- ◆ une de la phase organique contenant l'ester préparé : O ;
- ◆ une de l'essence de girofle obtenu à partir des clous de girofle : C ;
- ◆ une de l'essence de girofler obtenue à partir des feuilles et rameaux du girofler : F.

L'éluant est un mélange de toluène et d'éthanol.

Après révélation, on obtient le chromatogramme ci-contre :

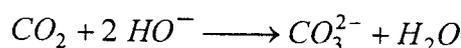


### Questions

- 2.1. Le chromatogramme confirme-t-il la réponse à la question 1.8. ?
- 2.2. Les affirmations concernant la composition des deux essences, données en début d'énoncé, sont-elles vérifiées ?

#### IV - QUELQUES SURPRISES DUES AU DIOXYDE DE CARBONE DANS L'AIR – 5 points

Le dioxyde de carbone  $CO_2$  est présent dans l'air atmosphérique à raison de 0,63 % en volume. Il peut réagir avec les ions hydroxyde ; l'équation-bilan de cette réaction est :



Cela peut parfois jouer certains tours.....

##### 1. Préparation et dosages d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ou soude

On rappelle que la soude (ou hydroxyde de sodium) a pour formule  $NaOH$ . Pour en préparer une solution aqueuse de concentration connue, on ne dispose que d'un flacon de pastilles de soude, la masse d'une pastille étant approximativement égale à 0,1 g.

On commence donc par préparer une solution de concentration voisine de  $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  ; pour connaître précisément la concentration de la solution préparée, on réalise ensuite un dosage.

Liste du matériel et des solutions disponibles au laboratoire :

- ◆ agitateur magnétique et barreau aimanté ;
- ◆ fioles jaugées portant les mentions «50 mL», «100 mL», «200 mL», «1 L» ;
- ◆ pipettes jaugées portant les mentions «1 mL», «5 mL», «10 mL», «20 mL» ;
- ◆ burettes graduées portant les mentions «20 mL», «25 mL», «50 mL», ;
- ◆ pipettes graduées portant les mentions «1 mL», «5 mL», «10 mL» ;
- ◆ éprouvettes graduées portant les mentions «10 mL», «50 mL», «100 mL» ;
- ◆ erlenmeyers et bechers portant les mentions «50 mL», «100 mL», «200 mL» ;
- ◆ poire aspirante ou propipette ®;
- ◆ solutions d'acide chlorhydrique à  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$  ;  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$  ;  $0,010 \text{ mol.L}^{-1}$  ;
- ◆ indicateur coloré : phénolphtaléine.

Données :

Masses molaires atomiques :

$$M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1} ; M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1} ;$$

$$M(Na) = 23 \text{ g.mol}^{-1}$$

Constantes d'acidité des couples de l'eau :

$$H_3O^+/H_2O : K_{a1} = 1 ;$$

$$H_2O/HO^- : K_{a2} = 10^{-14}$$

- 1.1. Quelle masse de soude utiliser pour préparer  $V = 1L$  de solution de concentration voisine de  $c = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  ?
- 1.2. **On remarque que le laboratoire ne dispose pas de balance.**  
Comment faire pour préparer cette solution avec les produits et le matériel disponibles, indépendamment des conditions de sécurité ?
- 1.3. Pourquoi n'a-t-on pas préparé seulement 100 mL de cette solution ? Justifier.
- 1.4. Préciser, en justifiant la réponse, quelle solution choisir dans la liste des solutions disponibles au laboratoire, pour doser 10 mL de la solution préparée précédemment.  
Dans la suite de l'exercice, on appelle  $S$  cette solution choisie.
- 1.5. Faire le schéma annoté du dispositif du dosage.

1.6. On réalise le dosage ; le volume de solution  $S$  versée à l'équivalence est  $V$ . Trois jours après, on s'aperçoit que le récipient contenant la solution de soude n'a pas été rebouché. On refait le dosage dans les mêmes conditions ; le volume de solution  $S$  versée à l'équivalence est alors  $V'$  inférieur à  $V$ .

On dit que la soude est carbonatée : une petite quantité d'ions hydroxyde a réagi avec le dioxyde de carbone pour donner des ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  selon l'équation bilan donnée en introduction.

Sachant que le virage de l'indicateur coloré choisi permet de doser les ions hydroxyde provenant de la soude et les ions carbonate formés qui se comportent comme une monobase, justifier la diminution du volume de solution  $S$  versée à l'équivalence.

## 2. Farces et attrapes : la tache qui disparaît...

Dans les magasins de farces et attrapes est proposée une solution bleue, appelée « encre anti-tache ». Lorsque l'on verse un peu de cette solution sur un vêtement, une tache bleue apparaît, mais.....disparaît en quelques minutes.

**Voilà comment fabriquer la solution « encre anti-tache » :**

◆ **Produits et solutions nécessaires avec quelques indications**

Solution de soude à  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  : corrosive.

Thymolphtaléine : indicateur coloré de zone de virage : 9,3-10,5 ;

constante d'acidité du couple associé  $K_{a_3} = 10^{-10,2}$  ;

soluble dans l'eau et l'éthanol.

◆ **Mode opératoire**

Ajouter quelques gouttes de solution de thymolphtaléine dans un mélange d'eau et d'alcool ; la solution est alors incolore.

Ajouter ensuite goutte à goutte juste assez de la solution de soude de manière à obtenir une solution bleue : « l'encre anti-tache ».

On admet que la solution se comporte comme une solution aqueuse.

2.1. La forme acide de la thymolphtaléine, notée  $\text{AH}$ , est incolore. La forme basique sera notée  $\text{A}^-$ .

Placer sur un axe gradué en pH la zone de virage de la thymolphtaléine. Indiquer en dehors de cette zone les espèces prédominantes.

2.2. Lors de la préparation de la solution, avant l'addition de la solution de soude, le pH est-il inférieur à 9,3 ou supérieur à 10,5 ? Justifier la réponse.

2.3. Écrire l'équation-bilan de la réaction entre la thymolphtaléine et la soude.

2.4. Exprimer la constante de cette réaction. En déduire que cette réaction peut-être considérée comme quasi-totale.

2.5. Quelle est la teinte de la forme basique de la thymolphtaléine ? Justifier la réponse.

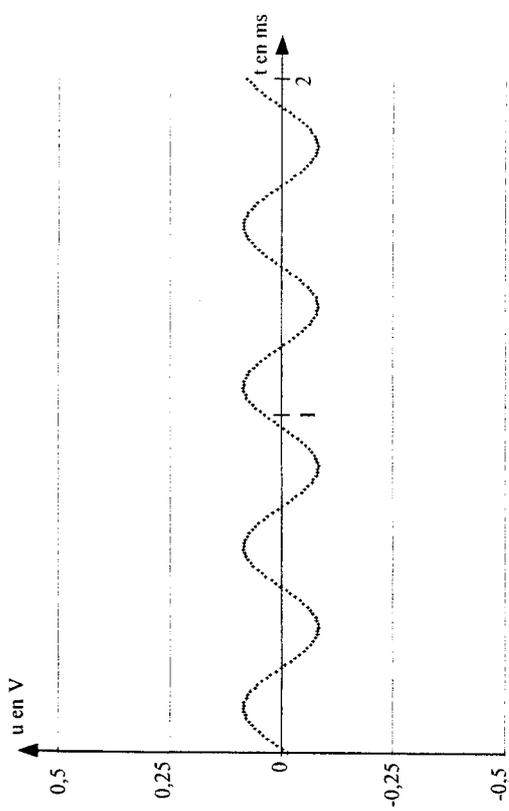
2.6. Pour expliquer la disparition de la tache bleue, on peut supposer que l'évaporation de l'alcool et la recristallisation de la thymolphtaléine jouent un rôle.

En vous aidant de l'introduction de l'exercice (et de la première partie), indiquer quel autre facteur pourrait également intervenir pour expliquer la disparition de la tache sur le vêtement ?

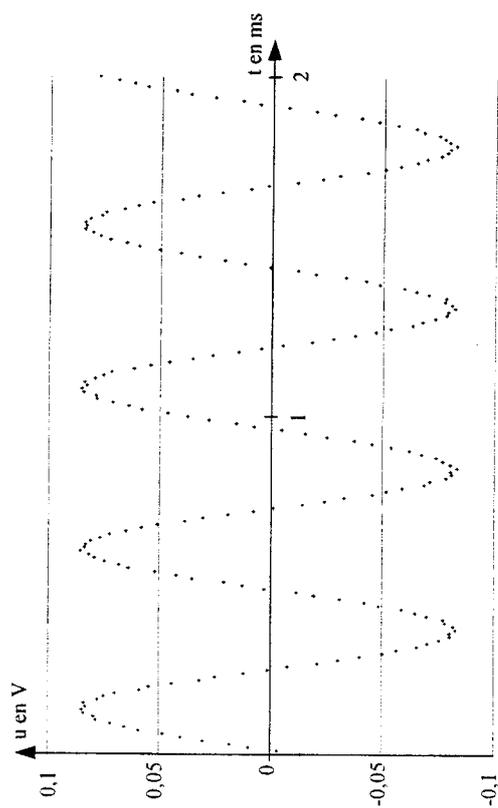
Attention : la solution « encre anti-tache » contenant de la soude concentrée, on évitera de l'utiliser sur des vêtements non usagés.

**ANNEXE RELATIVE À L'EXERCICE I (NE PAS RENDRE AVEC LA COPIE)**

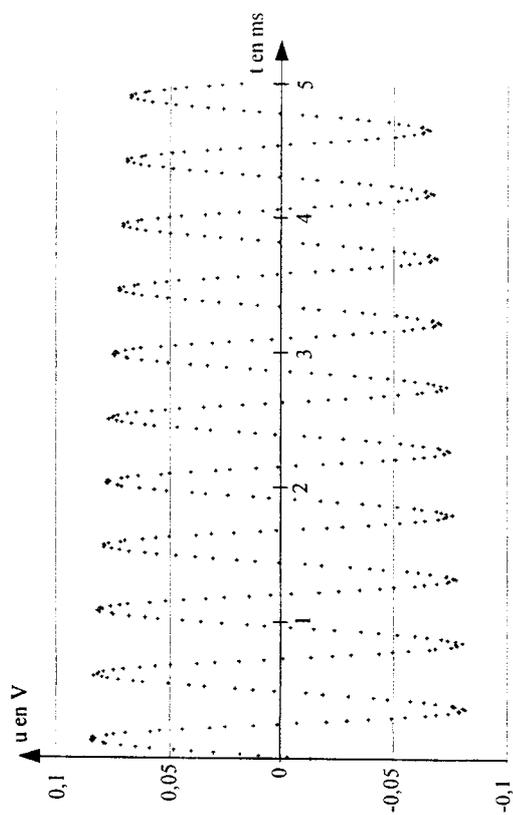
Enregistrement I



Enregistrement II



Enregistrement III



Enregistrement IV

