

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2008

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

**L'usage des calculatrices EST autorisé.**

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

*Les données sont en italique.*

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 13 pages numérotées de 1 à 13.

Le candidat doit traiter les trois exercices dans l'ordre qu'il souhaite, ceux-ci étant indépendants les uns des autres.

## EXERCICE I. LES COULEURS DU BLEU DE BROMOTHYMOLE (6,5 points)

Les indicateurs colorés sont des entités chimiques étonnantes qui ont la propriété de changer de couleur en fonction du pH de la solution aqueuse qui les contient.

Utilisé au XVIII<sup>ème</sup> siècle pour des dosages acido-basiques, le premier indicateur coloré fut un extrait de tournesol. Plusieurs autres indicateurs naturels furent utilisés comme le chou rouge, l'artichaut ou la betterave. Le XIX<sup>ème</sup> siècle voit l'essor considérable de la chimie organique et la mise au point de nouvelles substances qui serviront d'indicateurs colorés.

Dans cet exercice, l'indicateur coloré acido-basique étudié est le bleu de bromothymol que l'on note souvent BBT. Il constitue un couple acide/base dont la forme acide, notée  $\text{HIn}$ , et la forme basique notée  $\text{In}^-$ , ont des teintes différentes en solution aqueuse.

L'objectif de cet exercice est d'étudier un titrage acido-basique en présence de bleu de bromothymol, puis de caractériser cet indicateur coloré.

Dans tout l'exercice, la température des solutions est égale à 25 °C.

### 1. Titrage acido-basique avec le bleu de bromothymol.

Au laboratoire, un flacon de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ ) a une concentration molaire inconnue. L'objectif de cette partie est de déterminer par titrage la concentration molaire  $c_B$  d'hydroxyde de sodium dans cette solution notée S. On admettra dans cette partie que le bleu de bromothymol convient pour ce titrage.

#### Protocole :

On prélève avec précision un volume  $V_S = 10,0 \text{ mL}$  de la solution S que l'on verse dans un erlenmeyer. On titre cet échantillon par de l'acide chlorhydrique ( $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ ) dont la concentration molaire est  $c_A = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ , en présence de quelques gouttes de bleu de bromothymol comme indicateur de fin de titrage. Il faut verser un volume  $V_E = 12,3 \text{ mL}$  de la solution titrante pour atteindre l'équivalence.

- 1.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
- 1.2. Identifier les couples acide/base mis en jeu dans cette réaction.
- 1.3. Définir l'équivalence d'un titrage.
- 1.4. À partir des résultats expérimentaux, déterminer la concentration molaire  $c_B$  d'hydroxyde de sodium de la solution S.

### 2. Questions autour du couple acido-basique du bleu de bromothymol.

- 2.1. Écrire l'équation de la réaction de l'acide  $\text{HIn}$  avec l'eau.
- 2.2. Rappeler la définition de la constante d'acidité  $K_A$  du couple  $\text{HIn}(\text{aq}) / \text{In}^-(\text{aq})$ . Donner son expression à partir de l'équation de la réaction précédente.

### 3. Détermination du $\text{p}K_A$ du bleu de bromothymol.

- 3.1. À l'aide d'un spectrophotomètre, on relève les variations de l'absorbance  $A$  des formes acide et basique d'une solution de bleu de bromothymol en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation lumineuse traversant la solution. On obtient les courbes suivantes (figure 1) :

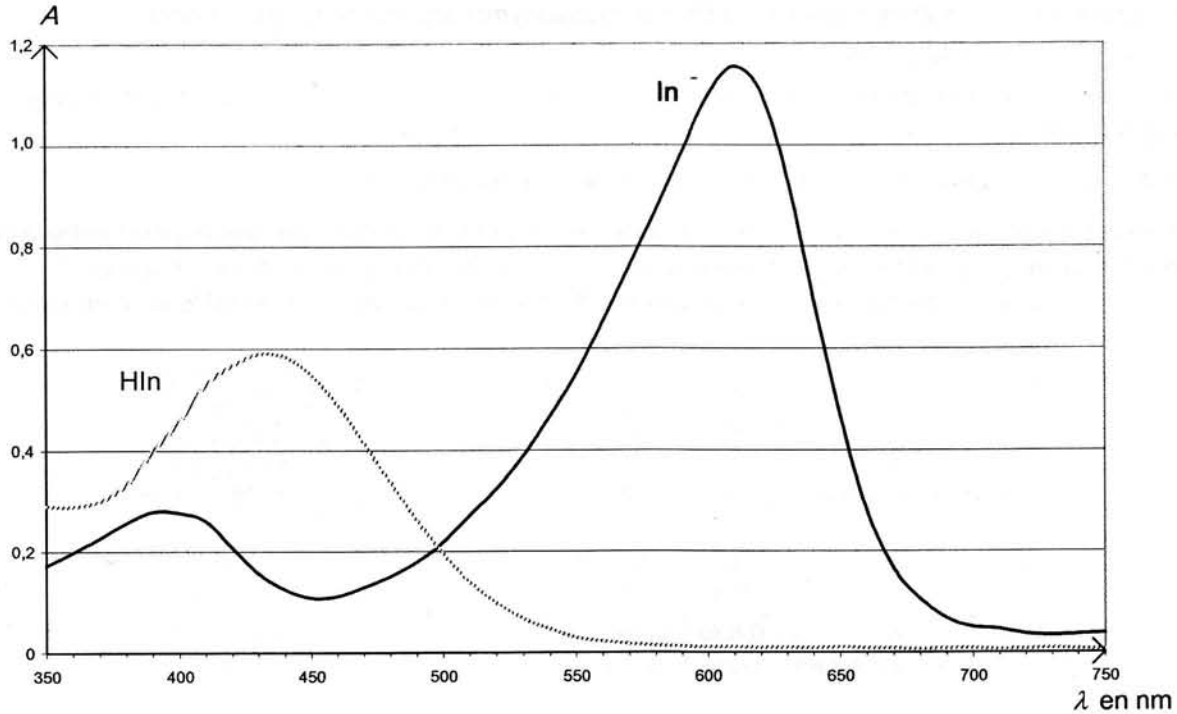


Figure 1

La forme acide HIn du bleu de bromothymol donne en solution aqueuse une coloration jaune.

On rappelle qu'une solution est colorée si elle absorbe une partie des radiations de la lumière blanche.

Sur l'étoile ci-contre (figure 2), la lumière perçue (c'est à dire la couleur de la solution) est la couleur diamétralement opposée à la couleur absorbée.

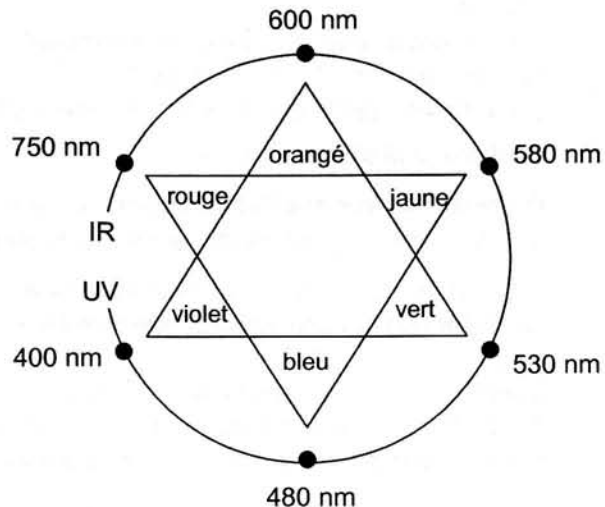


Figure 2

3.1.1. Pour quelle longueur d'onde l'absorbance de la forme basique  $\text{In}^-$  du bleu de bromothymol est-elle maximale ?

3.1.2. Quelle est la couleur de la lumière absorbée correspondante ?

3.1.3. En déduire la couleur donnée par la forme basique  $\text{In}^-$  du bleu de bromothymol en solution aqueuse.

3.2. À quelle longueur d'onde  $\lambda_0$  faut-il régler le spectrophotomètre afin que l'absorbance de la forme acide soit quasiment nulle et celle de la forme basique du bleu de bromothymol soit maximale ?

3.3. On a préparé treize échantillons de solutions de volume  $V = 10,0 \text{ mL}$  dont les valeurs du pH sont croissantes (voir tableau ci-après). À chacun des échantillons, on ajoute un volume  $V_0 = 1,0 \text{ mL}$  de solution  $S_0$  de bleu de bromothymol de concentration molaire  $c_0 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ .

On appelle  $c$  la concentration molaire du bleu de bromothymol apporté dans ces solutions.

On rappelle :  $c = [HIn]_{\text{éq}} + [In^-]_{\text{éq}}$

Après réglage du zéro du spectrophotomètre, on peut admettre que l'absorbance de telles solutions s'exprime par :  $A = A_{HIn} + A_{In^-}$

où  $A_{HIn}$  et  $A_{In^-}$  sont les absorbances respectives des espèces  $HIn$  et  $In^-$ .

On mesure alors le pH de chacune de ces solutions et après avoir réglé un spectrophotomètre à la longueur d'onde  $\lambda_0$  précédemment déterminée, on mesure l'absorbance  $A$  de chacune de ces solutions en utilisant des cuves identiques. Les résultats sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

Solution	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
pH	4,0	4,8	5,2	5,8	6,1	6,7	7,0
Absorbance A	0	0	0	0,004	0,008	0,260	0,420
Couleur de la solution	jaune	jaune	jaune	jaune	jaune	verte	verte

Solution	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>
pH	7,3	7,6	8,2	8,7	8,8	9,5
Absorbance A	0,630	0,794	1,050	1,090	1,094	<b>A<sub>max</sub> = 1,094</b>
Couleur de la solution	verte	verte	bleue	bleue	bleue	bleue

3.3.1. Calculer la quantité de matière  $n_{\text{BBT}}$  en bleu de bromothymol apporté dans chaque solution.

3.3.2. Montrer que la concentration molaire  $c$  en bleu de bromothymol apporté dans chaque solution vaut  $c = 2,7 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ .

3.3.3. En utilisant la question 3.2, montrer qu'à la longueur d'onde d'étude  $\lambda_0$  l'absorbance des solutions peut s'écrire :  $A = A_{In^-}$ .

**On peut montrer que l'absorbance des solutions est alors donnée par :**

$A = A_{In^-} = k [In^-]_{\text{éq}}$  où  $k$  est une constante de proportionnalité.

3.3.4. Dans la solution S<sub>13</sub>, l'absorbance est maximale et a pour valeur  $A_{\text{max}}$ . On peut alors supposer que la concentration effective en  $HIn$  dans cette solution est négligeable devant celle en  $In^-$ .

Quelle est alors la relation entre  $A_{\text{max}}$  et  $c$  ?

3.3.5. À partir des questions 3.3.3 et 3.3.4, montrer que dans les solutions étudiées, la concentration effective en  $In^-$  peut se calculer par :

$$[In^-]_{\text{éq}} = \frac{A}{A_{\text{max}}} \cdot c$$

3.4. À partir des mesures précédentes, il est possible de calculer les concentrations effectives des formes acide ( $[HIn]_{\text{éq}} = c - [In^-]_{\text{éq}}$ ) et basique du bleu de bromothymol dans chacun des treize échantillons et ainsi de construire le diagramme de distribution des espèces du couple  $HIn/In^-$  (figure 3).

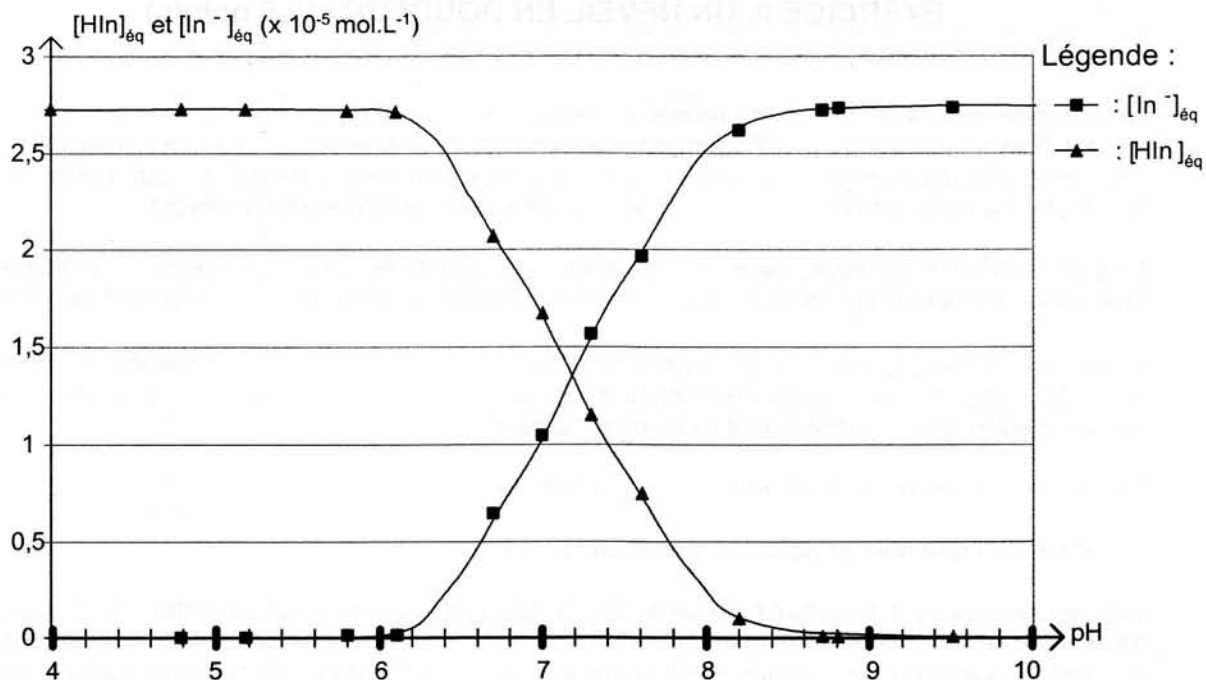


Figure 3

3.4.1. Pour quelle valeur de pH la concentration effective en HIn est-elle égale à celle en In<sup>-</sup> ? À partir de la question 2.2 appliquée à ce cas particulier, trouver la relation entre le pH et le pK<sub>A</sub>. En déduire le pK<sub>A</sub> du bleu de bromothymol à 25°C.

3.4.2. On considère qu'une solution de bleu de bromothymol, éclairée en lumière blanche, prend « sa teinte acide » lorsque  $\text{pH} < \text{pK}_A - 1$  et qu'elle prend « sa teinte basique » lorsque  $\text{pH} > \text{pK}_A + 1$ .

Donner le diagramme de prédominance des espèces acide et basique du bleu de bromothymol. Ajouter sur le diagramme les couleurs respectives de la solution de bleu de bromothymol.

3.4.3. Quelle est la couleur de la solution de bleu de bromothymol dans la zone de virage ?

#### 4. Utilisation du bleu de bromothymol pour le titrage de la partie 1.

4.1. Quelle est la couleur de la solution contenue dans l'erlenmeyer avant l'équivalence ? Comment repère-t-on l'équivalence ?

4.2. Lors de ce titrage le pH du mélange réactionnel à l'équivalence est égal à 7. Pourquoi peut-on affirmer que le bleu de bromothymol convient pour ce titrage ?

## EXERCICE II. UN RÉVEIL EN DOUCEUR (5,5 points)

On commercialise aujourd'hui des réveils « éveil lumière / éveil douceur ». Le concept utilisé est le suivant : lorsque l'heure du réveil programmé est atteinte, la lampe diffuse une lumière dont l'intensité lumineuse augmente progressivement jusqu'à une valeur maximale. On évite de cette façon un réveil trop brutal. La durée nécessaire pour atteindre la luminosité maximale est modifiable.

Lors d'un atelier scientifique, deux élèves décident de construire un circuit électrique permettant de faire varier doucement la luminosité d'une lampe, en utilisant les propriétés électriques d'une bobine.

Dans une première partie, ces propriétés sont mises en évidence de façon qualitative. Dans une seconde partie, les élèves déterminent l'inductance de la bobine utilisée. Le fonctionnement est ensuite étudié expérimentalement à l'aide d'une acquisition informatique.

Certaines données ne sont pas utiles à la résolution de l'exercice.

### 1. Influence d'une bobine dans un circuit électrique.

Les élèves réalisent le circuit représenté sur la figure 4. Ce circuit est constitué d'une source de tension idéale de force électromotrice (fem)  $E_1$ , d'une bobine d'inductance  $L$  et de résistance  $r$ , d'un conducteur ohmique de résistance  $R_1$  de même valeur que  $r$  et de deux lampes identiques ( $L_1$ ) et ( $L_2$ ).

#### Données :

Valeur de la fem :  $E_1 = 24 \text{ V}$ .

Valeurs données par le constructeur :  $L = 1 \text{ H}$  ;  $r = R_1 = 7 \Omega$ .

Dans cette partie seulement, pour simplifier l'analyse qualitative, on suppose que chaque lampe a le même comportement électrique qu'un conducteur ohmique de résistance  $R_{\text{Lampe}}$ .

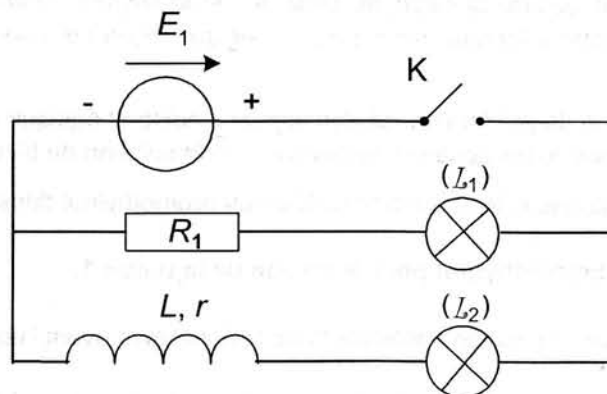


Figure 4

1.1. Immédiatement après la fermeture de l'interrupteur  $K$ , les deux lampes ne s'allument pas simultanément : une lampe brille quasi-instantanément, l'autre brille avec retard.

Quelle lampe s'allume la première ? Pourquoi l'autre lampe s'allume-t-elle avec retard ?

1.2. Dans la branche du circuit contenant la bobine, on peut observer successivement deux régimes différents pour le courant électrique.

Nommer ces deux régimes.

1.3. Que peut-on dire de la luminosité des deux lampes en fin d'expérience ? Justifier.

1.4. On appelle  $\tau$  la constante de temps caractérisant l'évolution temporelle de l'intensité du courant électrique lors de l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance  $R$  et d'une bobine

d'inductance  $L$ . Dans le cas étudié  $R = R_1 + R_{Lampe}$ . La durée nécessaire pour atteindre la luminosité maximale est de l'ordre de  $5 \tau$ .

- 1.4.1. Exprimer la constante de temps  $\tau$  en fonction de l'inductance  $L$  et de la résistance  $R$ .
- 1.4.2. Vérifier par analyse dimensionnelle, que l'expression obtenue est bien homogène à un temps.
- 1.4.3. Justifier par un calcul d'ordre de grandeur le fait que ce phénomène est détectable par un observateur. On prendra  $R \approx 10 \Omega$ .  
On précise que l'œil est capable de distinguer deux images consécutives séparées d'au moins  $0,1 \text{ s}$ .

## 2. Vérification de la valeur de l'inductance $L$ de la bobine utilisée.

Dans cette partie, les élèves cherchent à déterminer précisément la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine qui est utilisée. Ils réalisent le montage, représenté sur la figure 5, permettant d'enregistrer la décharge d'un condensateur de capacité  $C = 22 \mu\text{F}$  à travers la bobine. Le condensateur est initialement chargé sous une tension  $E_2 = 6,0 \text{ V}$  (commutateur en position 1).

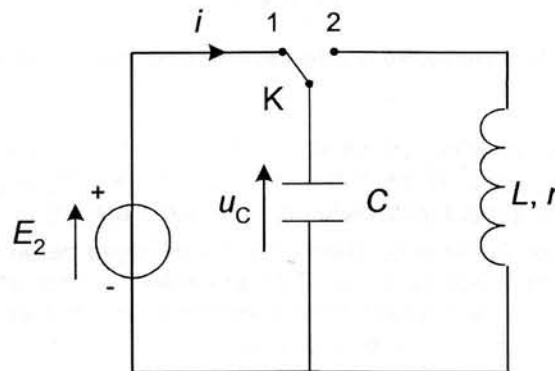


Figure 5

Après avoir basculé le commutateur en position 2, on enregistre l'évolution de la tension aux bornes du condensateur au cours du temps ; la courbe obtenue est représentée sur la figure 6.

- 2.1. Comment nomme-t-on le régime correspondant à cette évolution de la tension  $u_C(t)$  aux bornes du condensateur ?
- 2.2. Quelle est la cause, en termes d'énergie, de l'amortissement des oscillations observé sur l'enregistrement donné en figure 6 ?
- 2.3. Qualifier l'évolution temporelle de l'énergie totale emmagasinée dans le circuit en choisissant un ou plusieurs adjectifs parmi : périodique ; croissante ; décroissante ; sinusoïdale.
- 2.4. On rappelle que la période propre  $T_0$  d'un circuit LC est égale à  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$  et que dans le cas où l'amortissement est faible, la pseudo-période  $T$  des oscillations est proche de la période propre  $T_0$ . Déterminer la valeur de la pseudo-période  $T$  des oscillations puis l'inductance  $L$  de la bobine.
- 2.5. La valeur de l'inductance  $L$  calculée est-elle compatible avec les données du constructeur ?

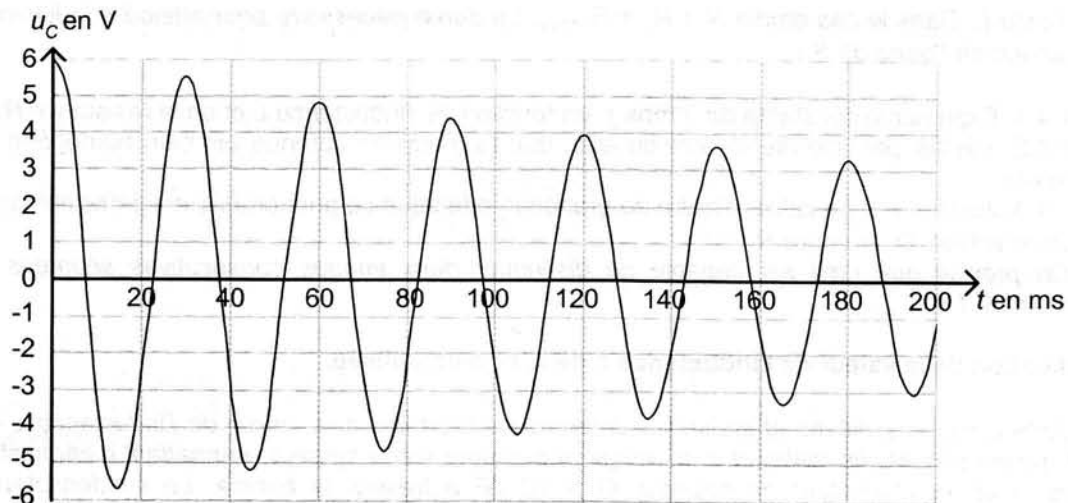


Figure 6

### 3. Étude expérimentale de la luminosité d'une lampe dans un circuit électrique contenant une bobine.

La luminosité de la lampe est liée à la puissance électrique qu'elle reçoit. On rappelle l'expression, en convention récepteur, de la puissance électrique instantanée  $p(t)$  reçue par un dipôle soumis à la tension  $u(t)$  et traversé par un courant d'intensité  $i(t)$  :  $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

Pour étudier l'évolution temporelle de la puissance électrique reçue par la lampe, les élèves réalisent maintenant le circuit représenté sur la figure 7 et procèdent à une acquisition informatique des données à l'aide d'une interface possédant deux bornes d'entrée notées  $(Y_1)$  et  $(Y_2)$  et une masse notée  $(M)$ . Ils utilisent la lampe  $(L_1)$ , la bobine d'inductance  $L$ , un conducteur ohmique dont la résistance a pour valeur  $R_0 = 1 \Omega$  et une source de tension continue de fem  $E$ .

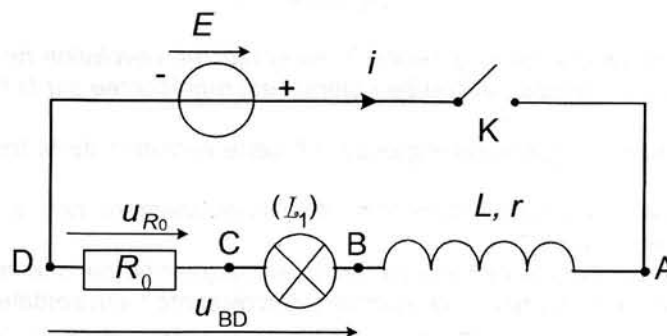


Figure 7

3.1. De quelle (s) manière(s) l'énergie électrique reçue par la lampe est-elle transférée à l'environnement ?

3.2. À quels points du circuit (A, B, C ou D) peut-on brancher  $(Y_1)$ ,  $(Y_2)$  et  $(M)$  pour enregistrer les tensions  $u_{R_0}$  et  $u_{BD}$  sur l'interface d'acquisition ?

3.3. Les élèves souhaitent suivre l'évolution temporelle de la puissance électrique reçue par la lampe  $(L_1)$ . À partir des grandeurs mesurées  $u_{R_0}$ ,  $u_{BD}$  et de la résistance  $R_0$ , exprimer :

- 3.3.1. la tension  $u(t) = u_{BC}$  aux bornes de la lampe ;
- 3.3.2. l'intensité  $i(t)$  du courant électrique ;
- 3.3.3. la puissance électrique  $p(t)$  reçue par la lampe.



3.4. Pourquoi les élèves ont-ils choisi un conducteur ohmique dont la valeur de résistance est très faible ?

3.5. La figure 8 représente l'évolution temporelle de la puissance électrique  $p(t)$  reçue par la lampe ( $L_1$ ). On estime que pour réveiller un individu, la lumière est suffisante lorsque cette puissance atteint 90 % de sa valeur maximale.

À partir de cette courbe, déterminer la durée nécessaire pour permettre le réveil.

3.6. Cette durée est-elle compatible avec l'utilisation d'un tel montage pour une « lampe à diffusion douce » ? Quels paramètres faudrait-il pouvoir modifier pour contrôler la durée du phénomène ?

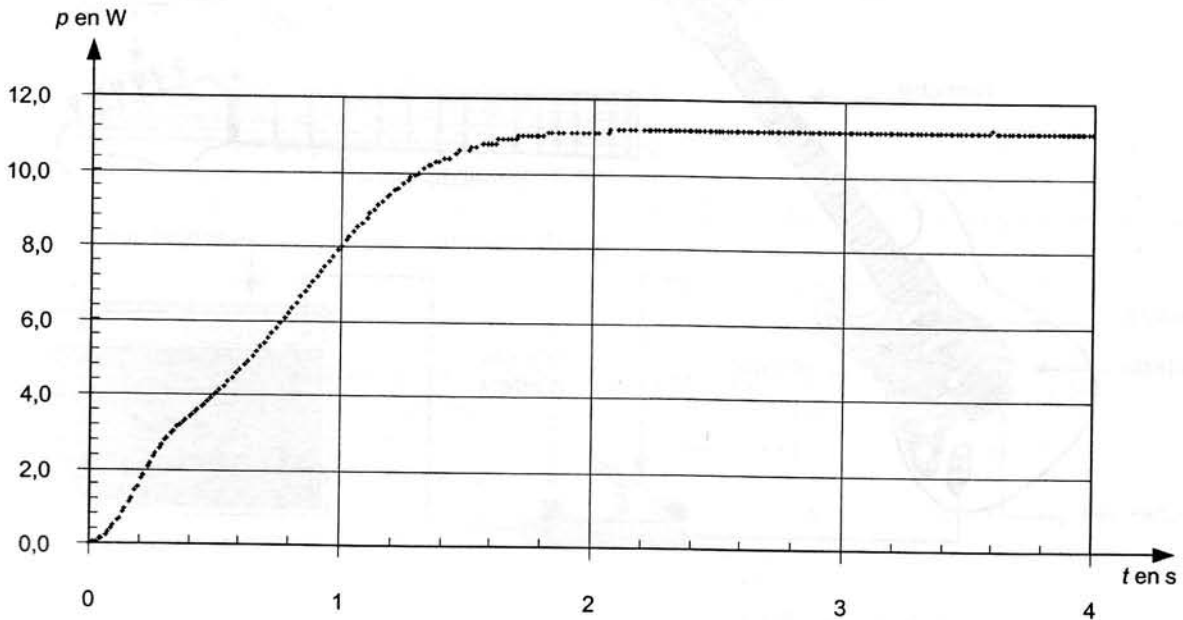
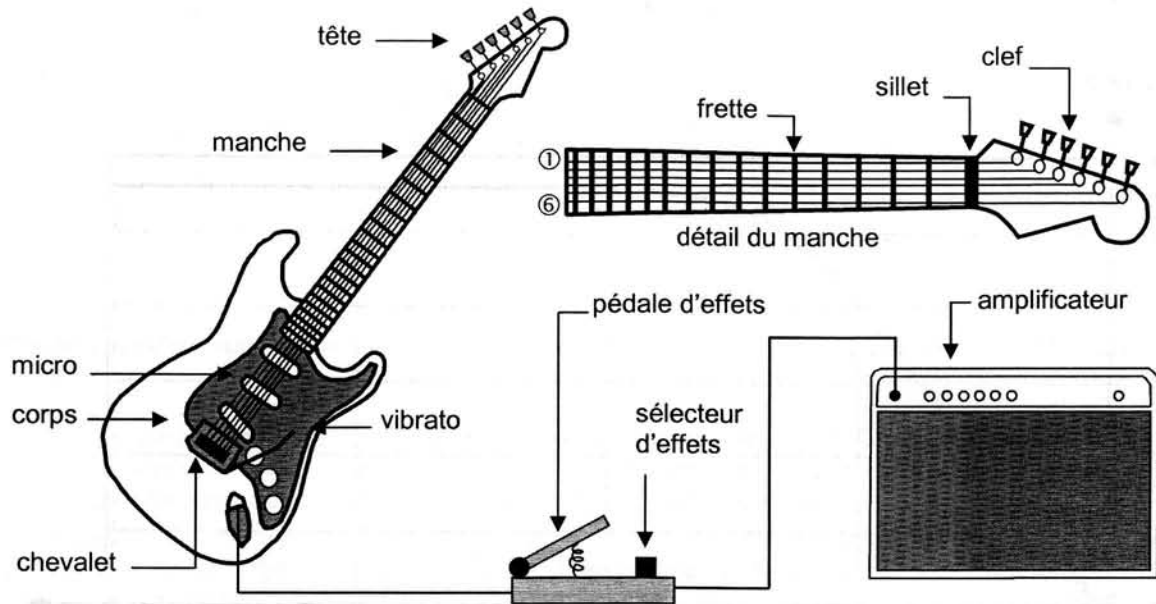


Figure 8

### EXERCICE III . VOUS AVEZ DIT « WHA-WHA » ? (4 points)

La guitare électrique est pourvue d'un corps le plus souvent plein, autorisant les luthiers à lui conférer des formes originales. Elle produit des sons grâce à des micros captant et transformant les vibrations des cordes en signal électrique. Ce signal peut ensuite être modifié électroniquement par divers accessoires comme des pédales d'effets, puis amplifié (voir figure ci-dessous).



La guitare électrique est composée de six cordes métalliques de longueur utile entre le sillet et le chevalet 63,0 cm. L'accord traditionnel à vide est, de la note la plus grave à la plus aiguë :  $mi_1$   $la_1$   $ré_2$   $sol_2$   $si_2$   $mi_3$ , le chiffre en indice indiquant le numéro de l'octave. Une corde est dite « à vide » lorsqu'elle vibre sur toute sa longueur. Les fréquences des notes produites à vide par les cordes pincées de la guitare sont données dans le tableau suivant :

n° de corde	1	2	3	4	5	6
note	$mi_1$	$la_1$	$ré_2$	$sol_2$	$si_2$	$mi_3$
fréquence (Hz)	82,4	110,0	146,8	196,0	246,9	329,6

Une guitare basse électrique fonctionne sur le même principe avec des notes plus graves. La diversité des effets possibles avec une guitare électrique en fait un instrument polyvalent et riche musicalement. Parmi la multitude d'effets accessibles grâce à une pédale d'effets on peut citer l'effet « wha-wha » popularisé par le célèbre guitariste Jimi Hendrix.

Aucune connaissance musicale préalable n'est nécessaire pour traiter cet exercice.

## 1. Analyse temporelle d'une note de musique.

Un système d'acquisition informatisé permet l'enregistrement et la visualisation des tensions électriques associées aux différentes notes que peut produire une guitare électrique. Les figures 9 et 10 se trouvant à la page 12 présentent les signaux enregistrés pour la même note de musique jouée par une guitare électrique (figure 9) et par une guitare basse (figure 10).

- 1.1 Quelle est la qualité physiologique commune des deux sons enregistrés ? Nommer la grandeur physique associée à cette qualité physiologique.
- 1.2 Mesurer cette grandeur physique en précisant la méthode utilisée. En tenant compte de l'imprécision de la mesure, en déduire la note de musique jouée par les deux instruments.
- 1.3 Quelle qualité physiologique permet de distinguer ces deux sons ?

## 2. Modes propres de vibration de la corde 6.

L'analyse spectrale est un précieux outil pour les ingénieurs du son. Elle permet après une acquisition informatisée et un traitement numérique de révéler la « signature acoustique » d'un son en faisant apparaître les composantes de basses fréquences (80 Hz - 900 Hz) et de fréquences élevées (900 Hz - 16 kHz) qui le caractérisent.

La figure 11 de la page 13 correspond au spectre en fréquence du son produit par la corde n° 6 d'une guitare électrique jouée à vide.

- 2.1. Déterminer la valeur approchée de la fréquence notée  $f_1$  du fondamental de ce son à partir de la figure 11. Vérifier que cette valeur est cohérente avec la donnée du texte.
- 2.2. Déterminer les valeurs approchées des fréquences, notées  $f_2$  et  $f_3$ , des harmoniques immédiatement supérieurs au fondamental.
- 2.3. Le sillet et le chevalet de la guitare sont séparés par une distance  $L = 63,0$  cm. La condition entre  $\lambda$  et  $L$  traduisant la condition d'existence d'une onde stationnaire entre ces deux points fixes est :

$$2L = k \lambda \quad \text{où } k \text{ est un entier positif}$$

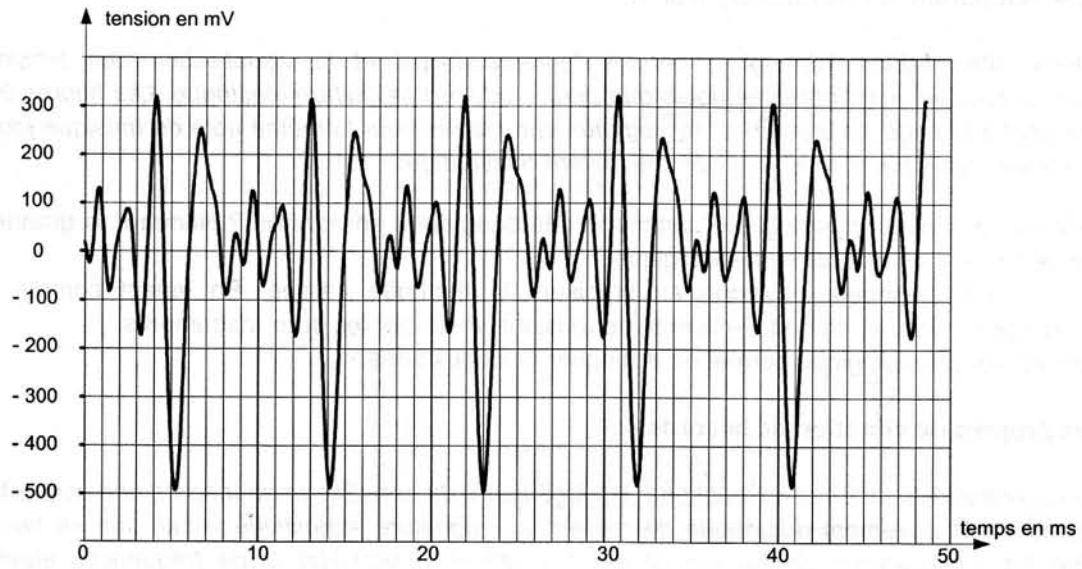
En déduire l'expression de la longueur d'onde  $\lambda$  du mode fondamental. Calculer cette longueur d'onde.

- 2.4. Écrire la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la célérité  $v$  et la fréquence  $f$  d'une onde sinusoïdale.
  - 2.5. En déduire la célérité des ondes dans cette corde.
  - 2.6. En jouant, le guitariste bloque la corde sur l'une des barrettes placées sur le manche, appelées frettes, afin d'obtenir la note désirée. Quel est l'effet produit sur le son ? Justifier.
- On admet que la célérité des ondes le long de la corde est constante.

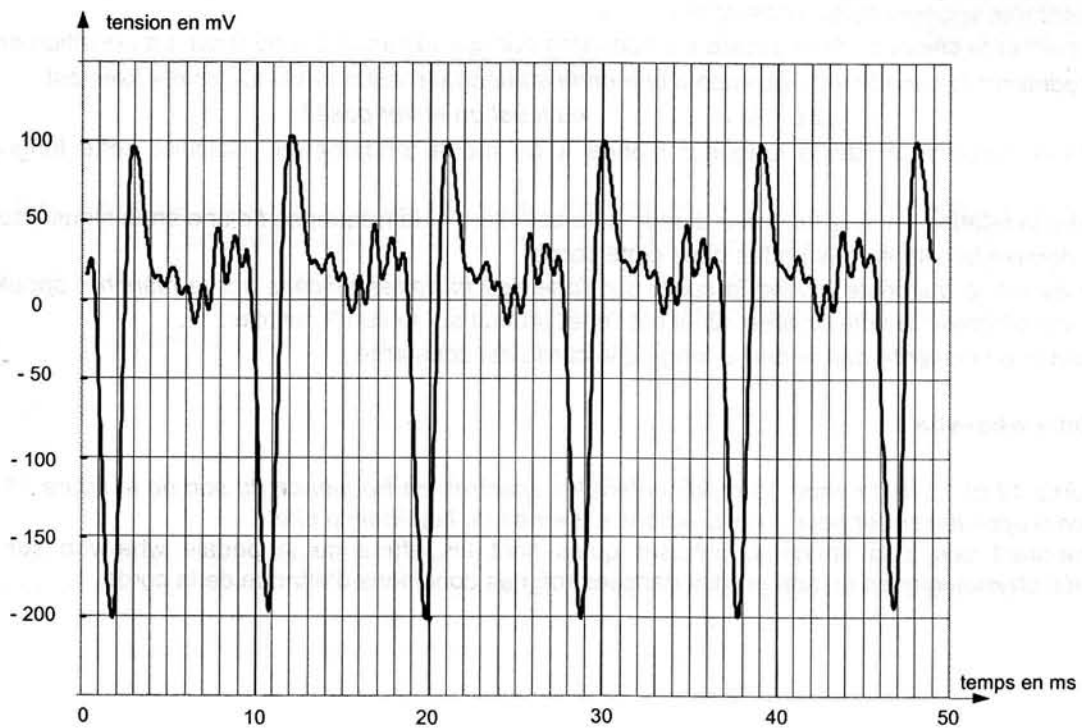
## 3. L'effet « wha-wha ».

Les figures 12 et 13 de la page 13 représentent les spectres en fréquence du son de la figure 11 sur lequel on a appliqué l'effet pour deux positions extrêmes de la pédale d'effets.

En comparant ces trois spectres, préciser quels sont les effets de la pédale wha-wha sur les propriétés physiologiques du son produit dans les mêmes conditions d'attaque de la corde.



**Figure 9 : oscillogramme du son émis par la guitare électrique**



**Figure 10 : oscillogramme du son émis par la guitare basse**

## Spectres en fréquence du son à vide de la corde 6

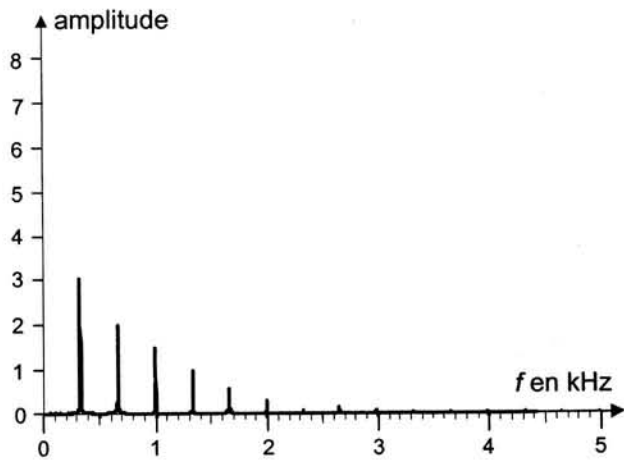


Figure 11 : sans effet « wha-wha »

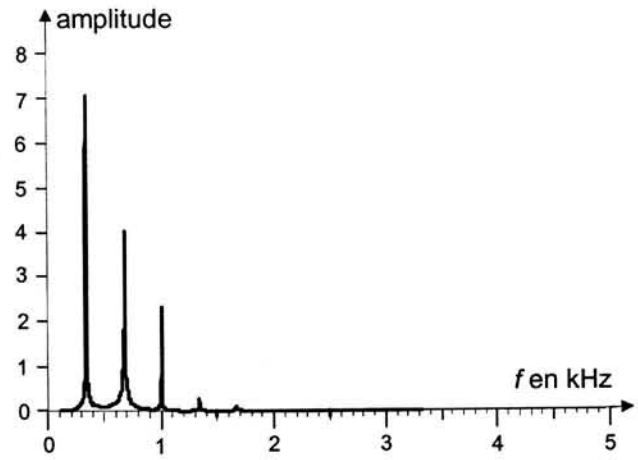


Figure 12 : avec l'effet « wha-wha » activé  
(pédale en position 1)

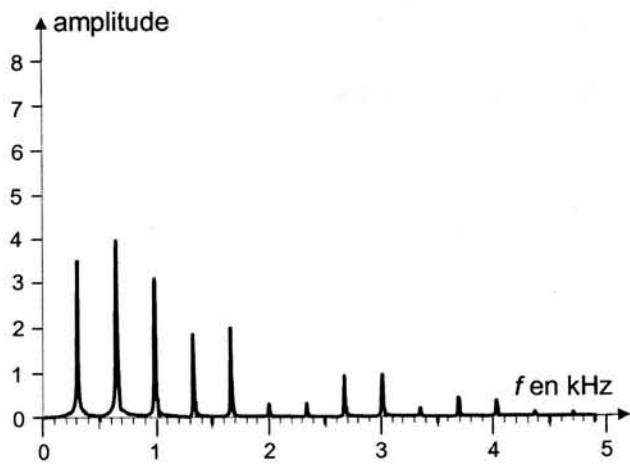


Figure 13 : avec l'effet « wha-wha » activé  
(pédale en position 2)