

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2011

## PHYSIQUE - CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 h 30 – Coefficient : 8

# SPÉCIALITÉ

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

**Ce sujet nécessite deux feuilles de papier millimétré.**

Ce sujet comporte un exercice de **CHIMIE** et deux exercices de **PHYSIQUE** présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci.

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

I – Le chrome sous différentes formes

II – Le saut à l'élastique

III – Bon ou mauvais tuyau ?

## EXERCICE 1 : Le chrome sous différentes formes ( 7 points )

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.

L'élément chrome peut présenter divers états d'oxydation, les principaux étant Cr (0), Cr (III) et Cr (VI).

Le chrome métallique (0) est utilisé en métallurgie pour améliorer la résistance à la corrosion et à l'usure des métaux et alliages.

Le chrome (III) est un oligo-élément participant à la métabolisation du glucose.

Le chrome (VI), hautement toxique et cancérigène, est un pigment pour les peintures.

Selon l'état du chrome, il existe différents procédés pour produire, étudier et utiliser celui-ci.

### Données :

Couples oxydant/réducteur mis en jeu :  $H^+_{(aq)} / H_{2(g)}$  et  $CrO_4^{2-}_{(aq)} / Cr_{(s)}$

Charge d'une mole d'électrons (Faraday) :  $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse molaire atomique du chrome:  $M(\text{Cr}) = 52 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

pKa à 25 °C des couples acido-basiques mis en jeu :

$pK_{a1}(HCrO_4^-_{(aq)} / CrO_4^{2-}_{(aq)}) = 6,4$  ;  $pK_{a2}(H_3O^+_{(aq)} / H_2O_{(l)}) = 0$  ;

$pK_{a3}(H_2O_{(l)} / HO^-_{(aq)}) = 14$

### 1. Préparation d'une solution contenant des ions chromate.

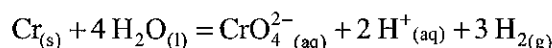
L'ion chromate  $CrO_4^{2-}$  est toxique, mais nécessaire pour le tannage industriel des cuirs par exemple, notamment pour la fabrication des gants de protection. Il peut être synthétisé par la voie électrolytique décrite ci-dessous.

L'une des électrodes utilisées est constituée de chrome métallique, celui-ci est transformé en ion chromate lorsqu'un courant électrique circule dans l'électrolyseur (le bain électrolytique se colore en jaune). L'autre électrode est inerte. Dans son proche voisinage, on observe un dégagement gazeux de dihydrogène obtenu par réduction des ions  $H^+$  contenus dans le bain électrolytique.

**1.1** Écrire les équations des réactions aux électrodes. Indiquer sur quelle électrode a lieu l'oxydation.

**1.2** Faire un schéma légendé du circuit électrique comportant l'électrolyseur et indiquer sur celui-ci : *anode, cathode, sens de déplacement des électrons, sens du courant électrique, générateur idéal de tension, voltmètre, ampèremètre et chrome métallique.*

**1.3** Montrer que l'équation de la réaction modélisant l'électrolyse, s'écrit :



**1.4** Comment identifier expérimentalement le dihydrogène qui se dégage ?

**1.5** Un courant électrique d'intensité  $I = 4,0 \text{ A}$  circule à travers le circuit, pendant une durée  $\Delta t = 2,5$  heures. Calculer la concentration molaire en ions chromate de la solution  $S_1$  ainsi obtenue dans la cellule d'électrolyse sachant que celle-ci a un volume  $V = 500 \text{ mL}$ .

## 2. Détermination de la concentration molaire en ions chromate dans la solution préparée.

À un volume  $V_1 = 10,0$  mL de la solution  $S_1$  préparée par électrolyse, on ajoute un volume  $V_a = 15,0$  mL d'une solution aqueuse  $S_a$  d'acide chlorhydrique de concentration molaire volumique  $c_a = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

2.1 Calculer la quantité de matière  $n_a$  d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  introduits.

2.2 Quelle est la nature de la transformation chimique mise en jeu lors du mélange des solutions  $S_1$  et  $S_a$ ? Ecrire l'équation de la réaction et calculer la valeur de sa constante d'équilibre à  $25^\circ\text{C}$ . Conclure.

2.3 Les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  sont introduits en excès par rapport aux ions chromate. La quantité de matière en excès, notée  $n_a^{\text{ex}}$ , est dosée par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_b = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Écrire l'équation de la réaction support du dosage.

2.4 La courbe de l'annexe n° 1 représente le suivi pH-métrique du titrage. Déterminer le volume de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versé pour atteindre l'équivalence, en faisant apparaître la construction nécessaire.

**L'annexe n° 1 question 2.4 est à rendre avec votre copie.**

En déduire la valeur de  $n_a^{\text{ex}}$ .

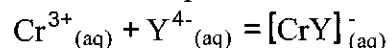
2.5 Si on note  $n_1$  la quantité de matière en ions chromate contenue dans le volume  $V_1$  de la solution  $S_1$ , alors  $n_1 = n_a - n_a^{\text{ex}}$ . Calculer  $n_1$  et en déduire la concentration molaire  $[\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})]$  de la solution  $S_1$  préparée par électrolyse.

2.6 Confronter les valeurs des concentrations molaires en chromate  $[\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})]$  obtenues par le titrage et par le bilan d'électrolyse effectué à la question 1.5. Conclure.

## 3. Suivi cinétique de la formation d'un ion complexe de chrome III

L'ion chrome III réagit, en milieu acide, avec l'E.D.T.A (noté dans la suite, pour simplifier l'écriture,  $\text{Y}^{4-}$ , Y représentant un groupe d'atomes) pour former un ion complexe coloré. L'évolution temporelle de cette transformation, nommée complexation, peut donc être réalisée par spectrophotométrie.

L'équation de la réaction associée à cette complexation s'écrit :



Pour réaliser cette transformation, on mélange un volume  $V_1 = 76,0$  mL d'une solution aqueuse d'ions  $\text{Y}^{4-}$  de concentration molaire  $c_1 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  avec un volume  $V_2 = 4,0$  mL d'une solution aqueuse d'ions  $\text{Cr}^{3+}$  de concentration molaire  $c_2 = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On mesure, à différentes dates  $t$ , l'absorbance  $A$  d'un échantillon de la solution préparée. L'absorbance de la solution est mesurée à une longueur d'onde  $\lambda = 540$  nm.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

|          |       |       |       |       |       |       |       |          |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| t en min | 0     | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    | 40    | $\infty$ |
| A        | 0,033 | 0,100 | 0,120 | 0,140 | 0,160 | 0,175 | 0,190 | 0,620    |

- 3.1 Calculer à la date  $t = 0$  min, la quantité de matière  $n_1^0$  d'ions  $Y^{4-}$  et la quantité de matière  $n_2^0$  d'ions  $Cr^{3+}$ , introduites dans le mélange.
- 3.2 Montrer que la quantité de matière  $n_2$  d'ions  $Cr^{3+}$  et l'avancement  $x$  de la réaction sont liés par la relation  $n_2 = n_2^0 - x$ .
- 3.3 Calculer numériquement l'avancement maximal  $x_{\max}$  de la complexation.
- 3.4 On peut montrer et on admet que  $n_2 = n_2^0 \cdot \left( \frac{A_t - A_\infty}{A_0 - A_\infty} \right)$  où  $A_0$ ,  $A_t$  et  $A_\infty$  sont respectivement les absorbances de la solution à la date  $t = 0$  min, à la date  $t$  et à la date  $t = \infty$ . Exprimer l'avancement  $x$  en fonction de  $n_2^0$ ,  $A_0$ ,  $A_t$  et  $A_\infty$ , puis **compléter le tableau fourni en annexe n° 2, à rendre avec votre copie.**
- 3.5 Tracer le graphique  $x = f(t)$  pour  $t \leq 40$  min **sur une feuille de papier millimétré, à rendre avec votre copie.**
- Échelle des abscisses : 1 cm représente 5 min  
Échelle des ordonnées : 1 cm représente 10  $\mu\text{mol}$ .
- 3.6 Rappeler la définition de la vitesse volumique de réaction. Comment évolue-t-elle dans l'intervalle  $0 \text{ min} < t < 30 \text{ min}$  ?

## EXERCICE 2 : Le saut à l'élastique ( 5 points )

« Rite initiatique ancestral pratiqué sur l'île de la Pentecôte, dans l'archipel de Vanuatu au cœur du Pacifique, le saut dans le vide avec les chevilles attachées est devenu un sport extrême. »  
D'après <http://www.saut-elastique.com>

A l'origine, les jeunes gens sautaient du haut d'une tour seulement retenus par une liane. De nos jours, les amateurs de sensations fortes plongent, souvent du haut d'un pont, équipés d'un « élastique » en latex ; un « élastique » est en réalité constitué d'un assemblage de 1000 à 2000 fils ronds en latex extrudé.

L'observation d'un saut peut conduire à se poser quelques questions : Quelle est la vitesse du sauteur quand l'élastique le rappelle la première fois ? Pendant combien de temps, le sauteur oscille-t-il ? etc.

Des mesures expérimentales peuvent, certes, y répondre mais l'utilisation d'un modèle peut aussi permettre de prévoir les réponses. C'est modestement ce que propose cet exercice...

### 1. Première phase du saut à l'élastique. Un peu d'adrénaline...

Considérons la première phase d'un saut à l'élastique, lorsque un sauteur et son équipement, de masse  $m = 84,0 \text{ kg}$ , se laisse tomber sans vitesse initiale d'un pont dont le plateau se trouve à une hauteur  $h = 270 \text{ m}$  du sol.

On peut considérer que le volume du sauteur et de son équipement est :  $V = 0,25 \text{ m}^3$ . Par ailleurs l'ensemble des actions exercées par l'air, outre la poussée d'Archimède, sur le sauteur peut être modélisé par une force de frottement dont la valeur  $f$  est proportionnelle au carré de la vitesse acquise :  $f = \mu \cdot v^2$  où  $\mu = 0,78$  unité SI.

#### Données :

Masse volumique de l'air :  $\rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$   
Accélération de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

- 1.1 Montrer qu'il est légitime de ne pas prendre en compte la poussée d'Archimède, en comparant sa valeur à celle du poids du système S, constitué par le sauteur et son équipement. **On négligera donc cette poussée dans tout ce qui suit.**
- 1.2 A partir d'une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité avec laquelle s'exprime la constante  $\mu$ , dans le Système International.
- 1.3 Écrire, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, la seconde loi de Newton appliquée au système S.
- 1.4 Que devient cette relation vectorielle projetée sur un axe vertical Ox orienté vers le bas ?
- 1.5 En déduire l'équation différentielle vérifiée par la vitesse  $v_x(t)$  au cours de cette première chute et vérifier qu'elle est de la forme :  $\frac{dv_x(t)}{dt} + B \cdot v_x^2(t) = A$  où A et B sont deux constantes.
- 1.6 Avec quelles unités s'expriment A et B ? Déterminer A et B en fonction des données et vérifier que  $B = 9,3 \cdot 10^{-3}$  unité SI.

1.7 En déduire l'expression de la vitesse limite  $v_{\text{lim}}$  (en fonction de  $m$ ,  $g$  et  $\mu$ ), puis calculer sa valeur .

1.8 La résolution de l'équation différentielle établie précédemment est obtenue par la méthode numérique itérative d'Euler. Un extrait de la feuille de calcul est représenté ci-dessous.

|  |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Date t (s)                                       | 0,00 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | ... |
| Vitesse $v_x$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 0,00 | 1,96 | 3,92 | 5,85 |      | 9,60 | 11,4 | ... |

1.8.1 Quel est le pas  $\Delta t$  utilisé pour effectuer les calculs de  $v_x(t)$  ?

1.8.2 La méthode d'Euler permet de prévoir, par le calcul, l'évolution de la composante  $v_x$  de la vitesse du système S au cours du temps. La détermination de  $v_x(t_{i+1})$  est possible si celle de  $v_x(t_i)$  est connue en appliquant la relation

$$v_x(t_{i+1}) = v_x(t_i) + \left[ \frac{dv_x(t)}{dt} \right]_{t=t_i} \cdot \Delta t$$

Déterminer par le calcul, la vitesse  $v_x(t = 0,80 \text{ s})$  absente du tableau.

## 2. Deuxième phase du saut à l'élastique.

A partir de la date  $t = 5,0 \text{ s}$ , le sauteur remonte sous l'action de l'élastique puis oscille verticalement pendant 40 s, effectuant 4 allers et retours.

2.1 Comment qualifie-t-on de telles oscillations ? Justifier. Calculer le temps caractéristique  $T$  associé aux oscillations et le nommer.

2.2 Si on assimile l'élastique à un ressort de raideur  $k$  relié à une masse  $m$ , quelle est l'expression de la période propre  $T_0$  des oscillations libres ?

2.3 Calculer la valeur de  $T_0$  et interpréter la différence observée entre les valeurs de  $T$  et  $T_0$ .

**Donnée** :  $k = 38,0 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ .

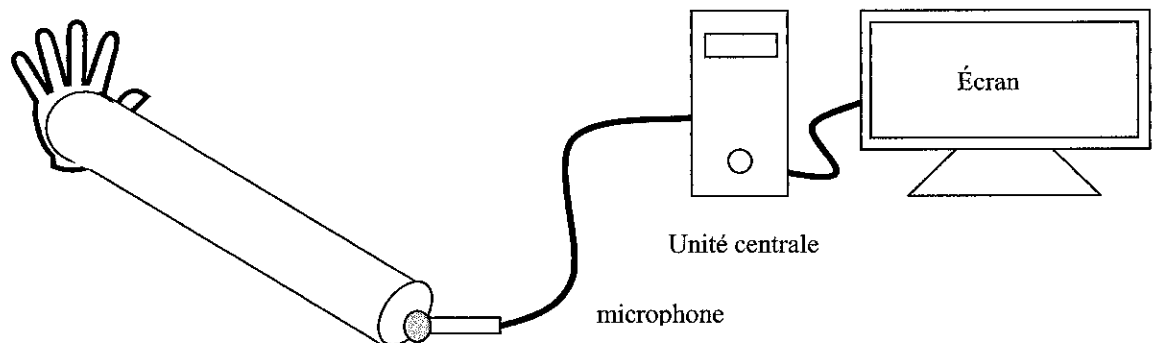
### EXERCICE 3 : Bon ou mauvais tuyau ? ( 4 points )

Le plomb est un métal mou, malléable, peu oxydable, et utilisé très tôt pour de nombreuses applications, telles que les conduites d'eau.

On connaît à présent sa toxicité et tout particulièrement son effet inhibiteur de certaines enzymes qui provoque des troubles cérébraux chez les jeunes enfants.

L'eau de boisson dans les habitations vétustes où *la tuyauterie* est en plomb implique un niveau d'exposition dangereux.

- 3.1 Nommer un autre métal très toxique, autrefois utilisé dans les thermomètres et interdit désormais à la vente.
- 3.2 Si le tuyau est placé à proximité d'une conduite mal isolée de chauffage central, une forte augmentation des teneurs en plomb peut être observée. Quel facteur influant sur la solubilité d'une espèce chimique est ici mis en évidence ?
- 3.3 Le propriétaire d'une maison ancienne a décidé de remplacer les tuyaux en plomb de son installation par des tuyaux en PVC. Il ne résiste pas néanmoins au plaisir de faire quelques expériences d'acoustique avec quatre tuyaux en plomb cylindriques de même diamètre et de longueurs différentes. A l'aide de la carte son d'un ordinateur et d'un microphone, il enregistre le son émis par chacun d'eux lorsqu'il tape avec la main à l'une des extrémités du tuyau, l'autre extrémité étant ouverte.



Parmi les propositions suivantes, cocher celles qui sont exactes ?

- Dans l'expérience menée, la colonne d'air :
  - A) vibre librement.
  - B) est soumise à une excitation forcée.
- Au cours de cette expérience :
  - C) différents modes propres sont excités simultanément.
  - D) seul le mode fondamental est excité.
- L'onde sonore se propageant dans l'air est :
  - E) transversale.
  - F) longitudinale.
- Pour chacun des quatre tuyaux, la hauteur de la note est :
  - G) différente.
  - H) identique.

**3.4** Le propriétaire poursuit ses investigations en utilisant cette fois quatre tuyaux en P.V.C, de diamètre identique mais de longueurs différentes. Il renouvelle l'expérience menée à la question 3.3.

A partir des oscillogrammes et des spectres du document « résultats expérimentaux » (pages 9/12, 10/12, 11/12) indiquer en justifiant, la hauteur des notes émises par les tuyaux 1, 2, 3 et 4.

Reporter vos réponses dans le tableau : **annexe n° 3 à rendre avec votre copie.**

**3.5** Le propriétaire se propose alors de retrouver la célérité  $v$  des ondes sonores à la température et à la pression de son habitation ; il se souvient d'un résultat remarquable :

Pour **le premier harmonique** repéré dans le spectre après le fondamental, la longueur d'onde  $\lambda$  est liée à la longueur  $L$  du tuyau par la relation :  $\lambda = \frac{4}{3} \cdot L$

**3.5.1** Rappeler la relation liant  $v$ ,  $\lambda$  et  $F$  où  $F$  est la fréquence du premier harmonique.

**3.5.2** A partir de l'étude du spectre du tuyau 3 (document « résultats expérimentaux »), donner la relation liant la fréquence  $F$  du premier harmonique à celle  $F_0$  du fondamental.

**3.5.3** Sachant que cette dernière relation est vérifiée pour chaque tube, en déduire la relation liant  $L$  et  $F_0$ .

Représenter  $L$  en fonction de  $\frac{1}{F_0}$  **sur une feuille de papier millimétré, à rendre avec votre copie.**

**Choix des échelles :**

Echelle des abscisses : 1cm représente  $1,0 \cdot 10^{-3}$  s

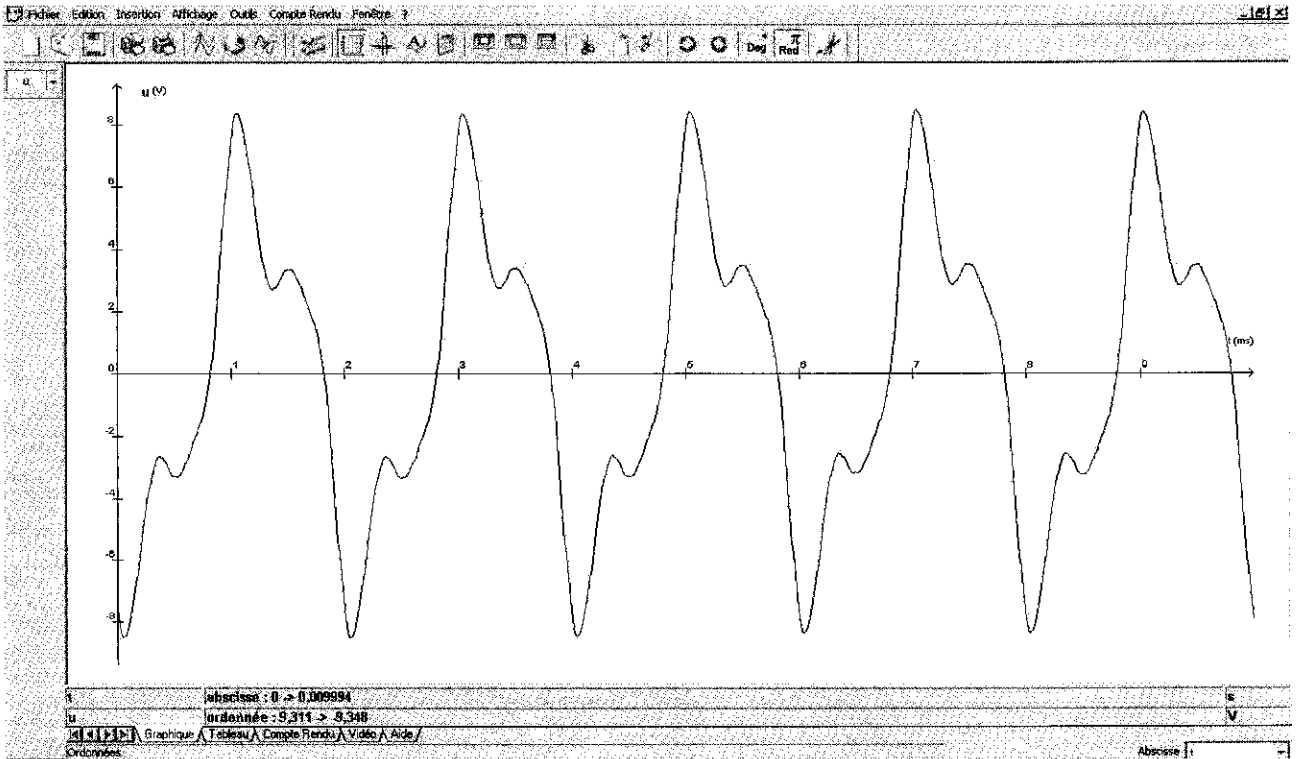
Echelle des ordonnées : 1cm représente 0,10 m

**3.5.4** Exploiter le graphique obtenu pour déterminer la valeur numérique de la célérité  $v$  des ondes sonores à la température et la pression de son habitation.

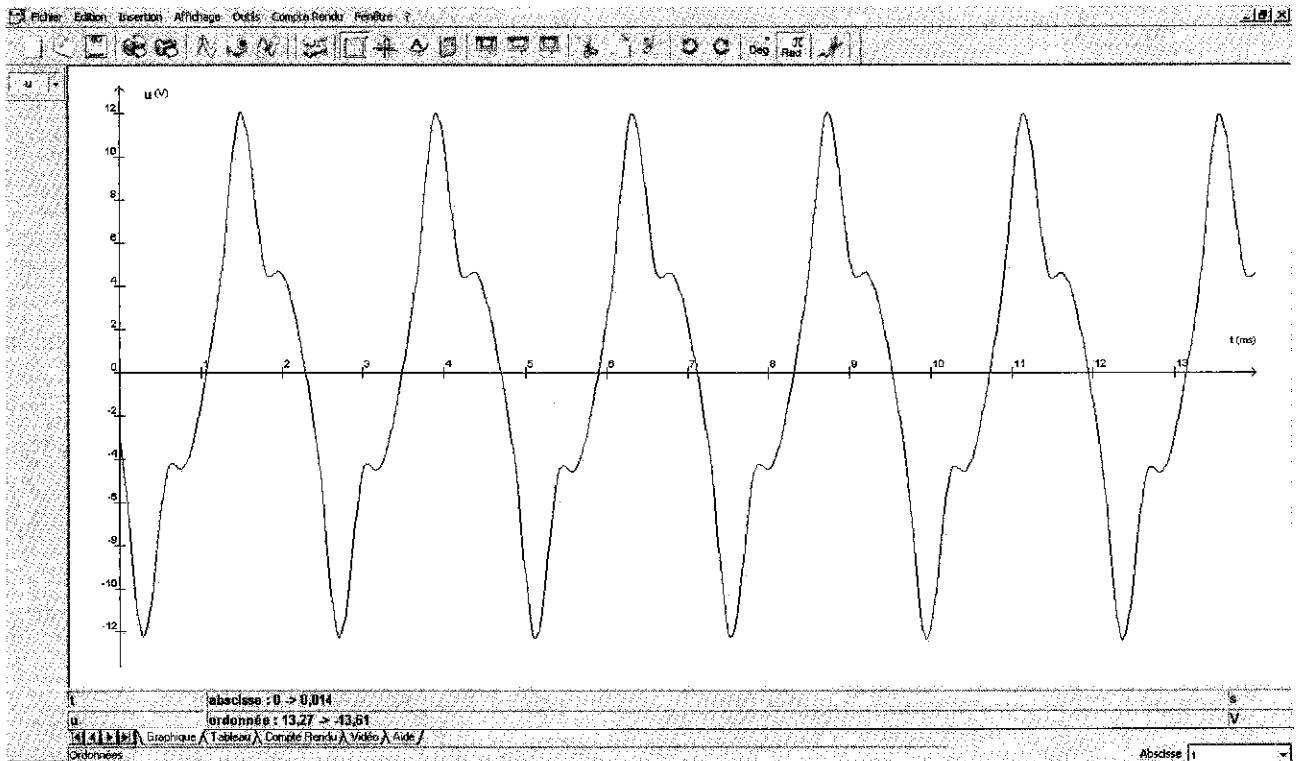
Justifier la méthode utilisée.



**DOCUMENT : Résultats expérimentaux – Exercice 3**

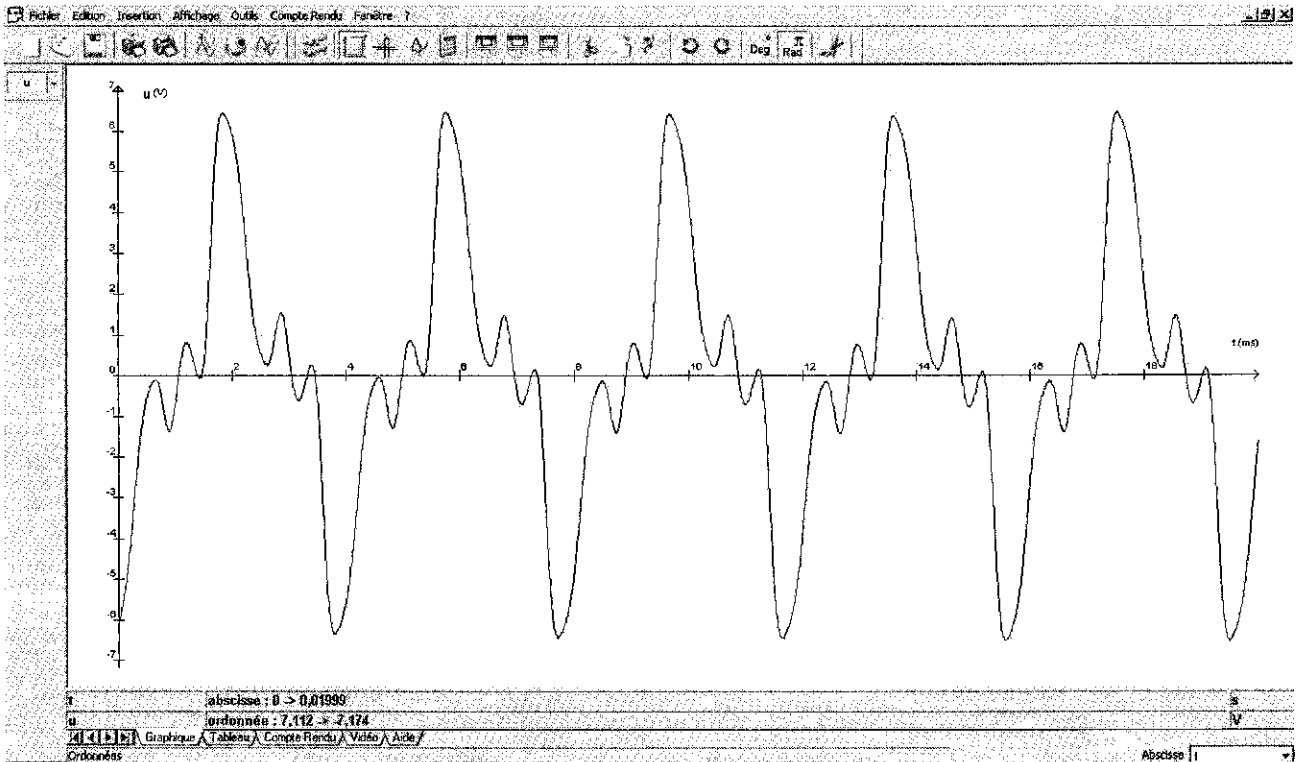


**TUYAU 1** oscillogramme (les graduations portées sur l'axe des abscisses sont séparées par 1 ms)

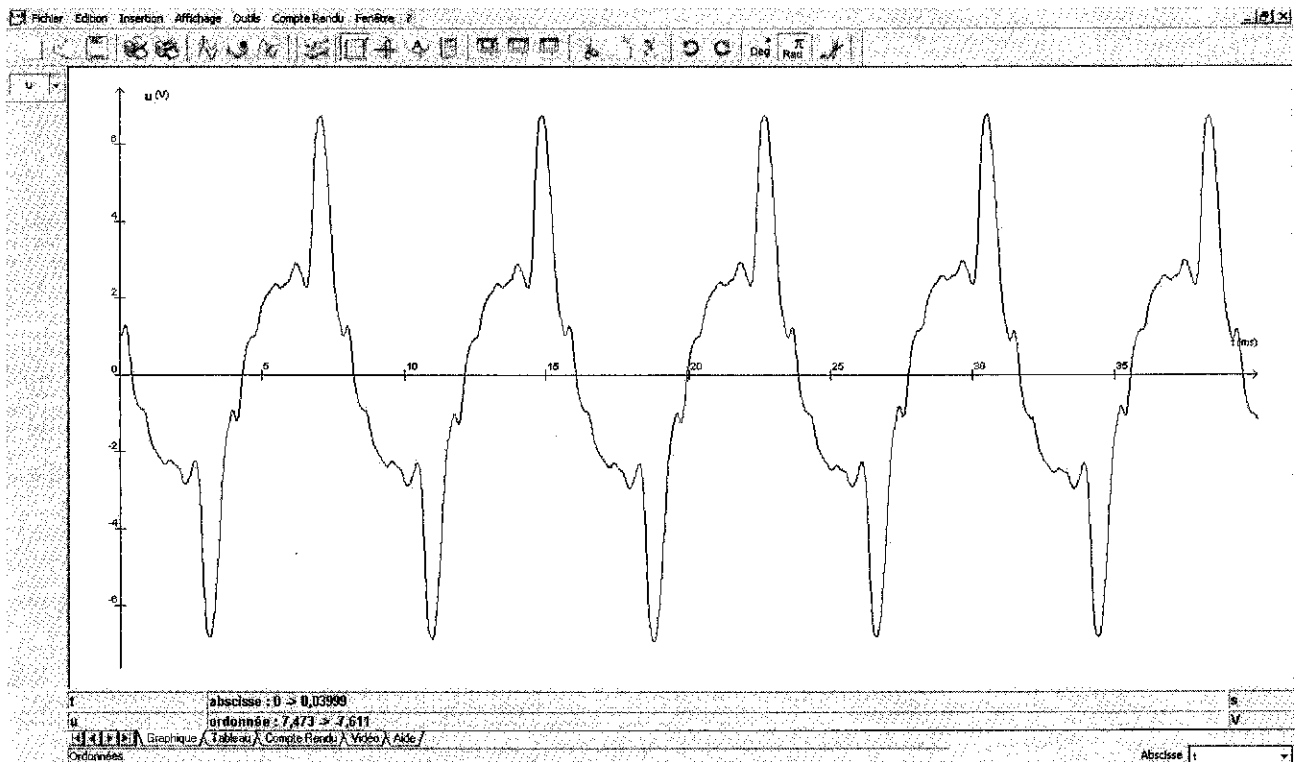


**TUYAU 2** oscillogramme (les graduations portées sur l'axe des abscisses sont séparées par 1 ms)

### DOCUMENT : Résultats expérimentaux – Exercice 3

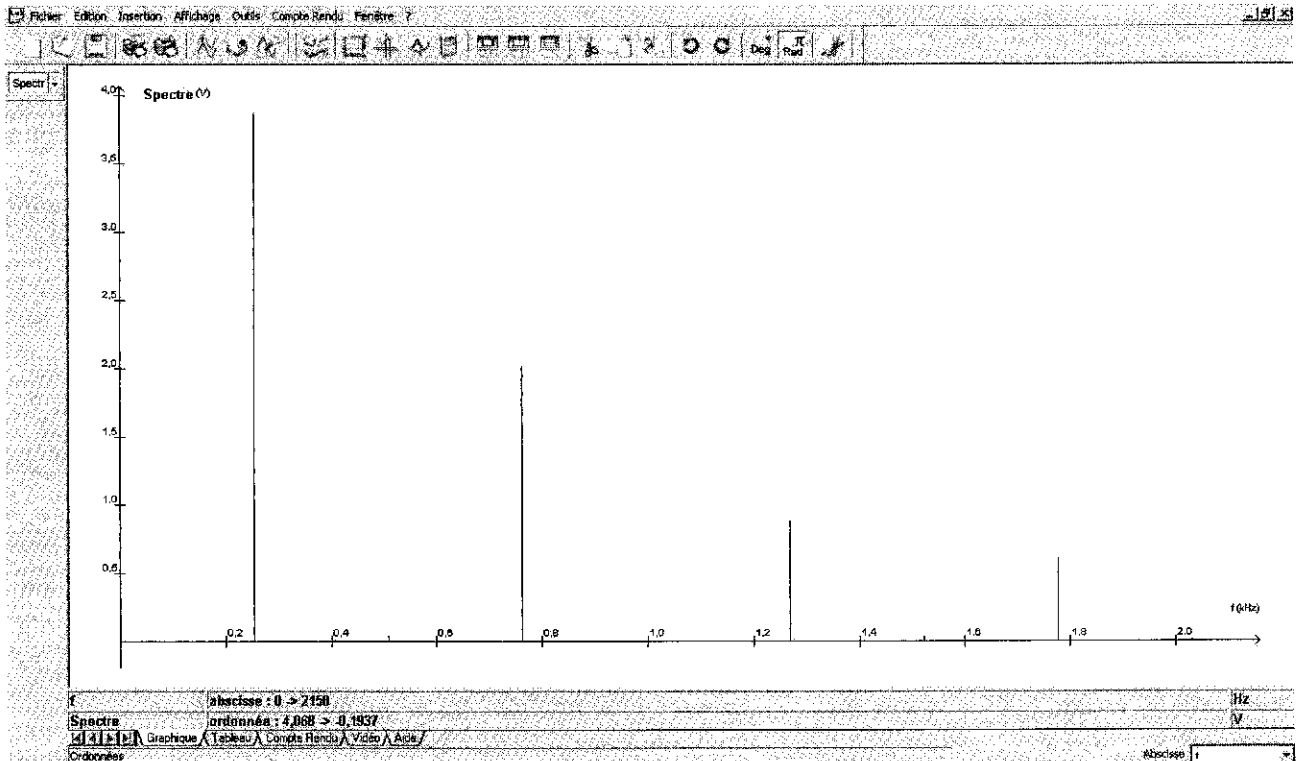


**TUYAU 3** oscillogramme (les graduations portées sur l'axe des abscisses sont séparées par 2 ms)

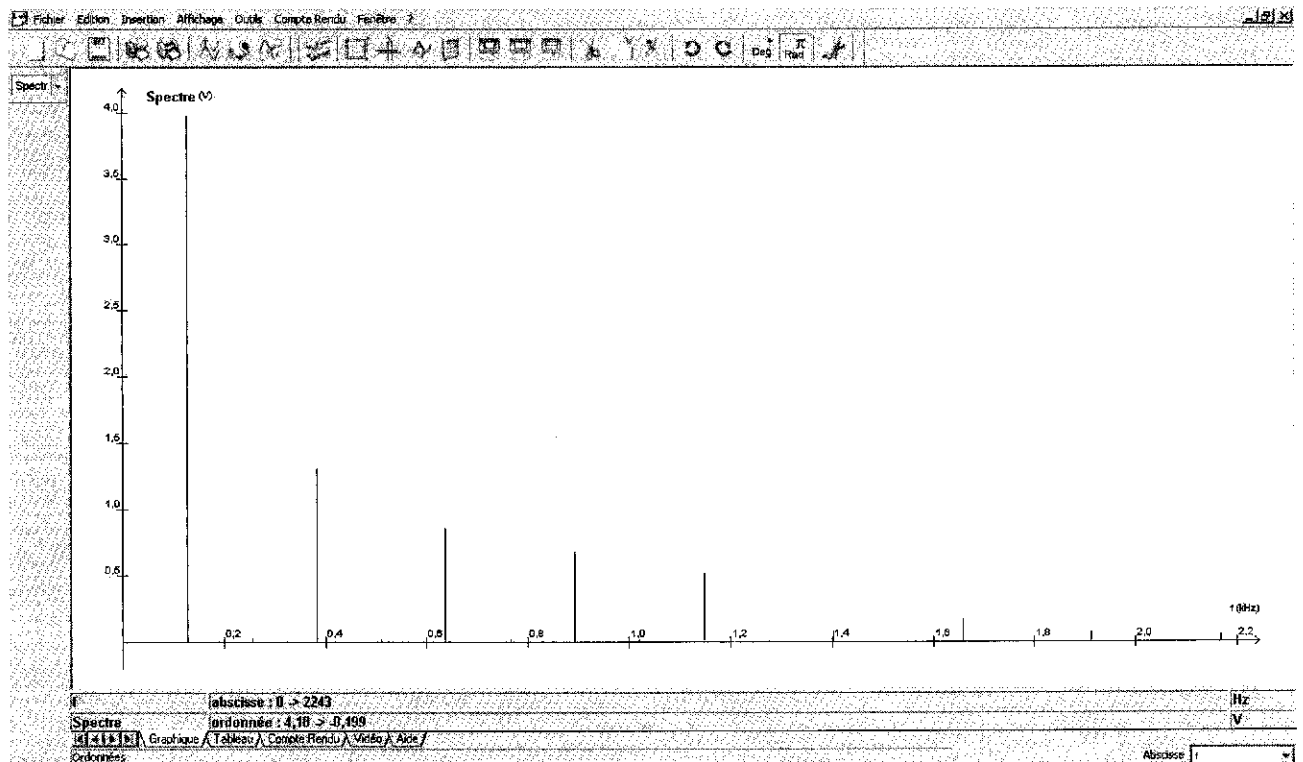


**TUYAU 4** oscillogramme (les graduations portées sur l'axe des abscisses sont séparées par 5 ms)

### DOCUMENT : Résultats expérimentaux – Exercice 3



**TUYAU 3** spectre (les graduations portées sur l'axe des abscisses sont séparées par 0,2 kHz)

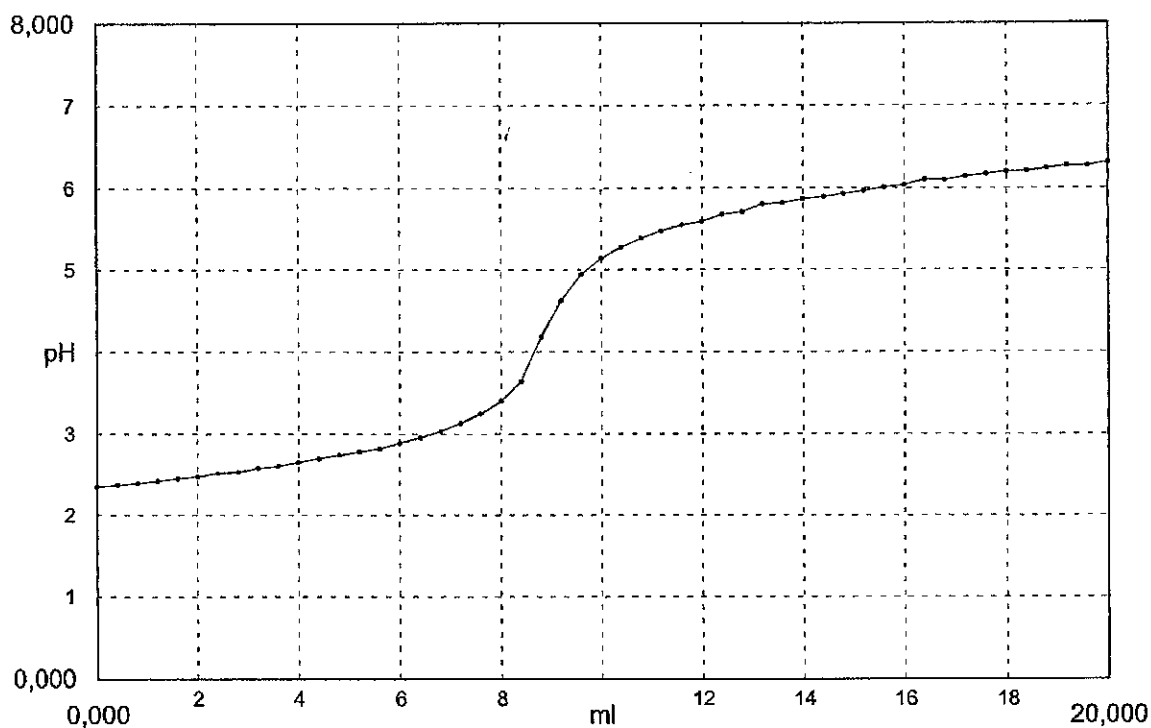


**TUYAU 4** spectre (les graduations portées sur l'axe des abscisses sont séparées par 0,2 kHz)

## Document réponse à rendre avec votre copie

### EXERCICE 1 : Le chrome sous différentes formes

#### Annexe n°1 : Question 2.4



#### Annexe n°2 : Question 3.4 et Question 3.5

|           |   |    |    |    |    |    |    |   |
|-----------|---|----|----|----|----|----|----|---|
| t en min  | 0 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | ∞ |
| x en μmol |   |    |    |    |    |    |    |   |

### EXERCICE 3 : Bon ou mauvais tuyau ?

#### Annexe n° 3 : Question 3.4

|                           | Tube 1 | Tube 2 | Tube 3 | Tube 4 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| L (cm)                    | 16,6   | 22,1   | 33,2   | 66,4   |
| $T_0 = \frac{1}{F_0}$ (s) |        |        |        |        |
| $F_0$ (Hz)                |        |        |        |        |