

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2006

ÉPREUVE : **PHYSIQUE-CHIMIE – Série S**

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

ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

L'USAGE DE LA CALCULATRICE EST AUTORISÉ

Ce sujet comporte trois exercices de **PHYSIQUE-CHIMIE** présentés sur 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11 y compris celle-ci.

Les pages annexes 10/11 et 11/11 sont à rendre avec la copie après avoir été complétées.

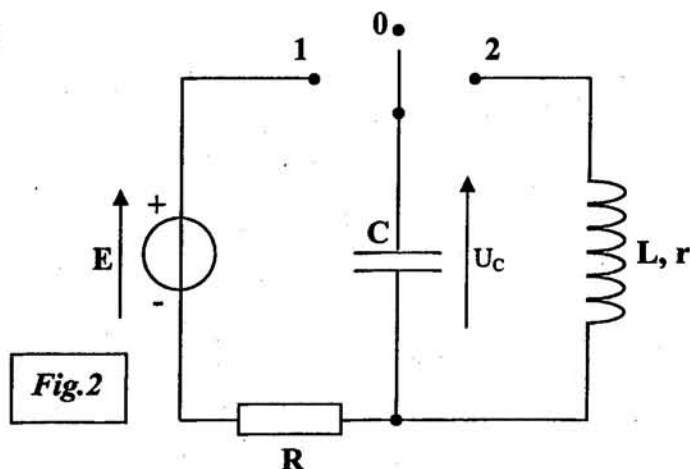
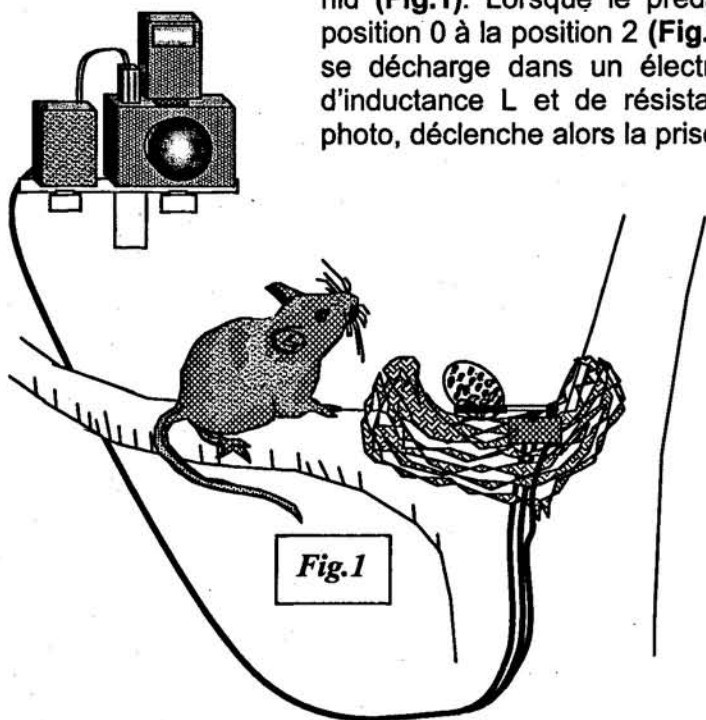
Le candidat doit traiter les trois exercices, qui sont indépendants les uns des autres :

EXERCICE I	:	LE PIEGE PHOTO	5 points
EXERCICE II	:	CONSERVATEUR ET PARFUM	7 points
EXERCICE III	:	LE DIDJERIDOO, INSTRUMENT DE MUSIQUE TRADITIONNEL	4 points

EXERCICE I : LE PIÈGE PHOTO – 5 POINTS

Cet exercice étudie le principe de fonctionnement d'un piège photo réalisé par un ornithologue afin d'identifier le prédateur d'une espèce d'oiseaux en voie de disparition.

Un œuf de caille posé sur un commutateur à bascule sert d'appât dans un vieux nid (Fig.1). Lorsque le prédateur prélève l'œuf, le commutateur bascule de la position 0 à la position 2 (Fig.2), le condensateur du dispositif, initialement chargé, se décharge dans un électroaimant que l'on peut modéliser par une bobine d'inductance L et de résistance interne r . L'électroaimant, placé sur l'appareil photo, déclenche alors la prise de vue.



Le circuit de charge (Fig.2), outre le condensateur de capacité C , est constitué d'un conducteur ohmique de résistance R et d'un générateur idéal de tension de force électromotrice $E = 8,0 \text{ V}$.

I – Armement du dispositif

Le dispositif s'arme en plaçant le commutateur en position 1 pendant la durée nécessaire à la charge du condensateur. Cette opération réalisée, l'œuf est déposé sur le bras du commutateur à bascule qui est ainsi maintenu en position 0.

1. Recopier soigneusement le schéma du circuit de charge du condensateur sur votre copie. Indiquer sur ce schéma le sens réel du courant lors de la charge du condensateur. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge.

Vérifier que cette équation différentielle est de la forme $u_c(t) + \tau \frac{du_c(t)}{dt} = E$.

En déduire l'expression de la constante τ en fonction des paramètres du circuit.

2. Montrer par une analyse dimensionnelle que la constante τ est homogène à un temps.
3. Déduire de l'équation différentielle la valeur U_c de $u_c(t)$ en régime permanent.
4. Montrer que l'expression $u_c(t) = A \cdot (1 - e^{-t/\tau})$ est solution de l'équation différentielle à condition que la constante A soit égale à la valeur E de la force électromotrice du générateur.
5. Montrer que pour une durée égale à 5τ on peut considérer que la charge du condensateur est totale.

6. Un enregistrement de la tension $u_c(t)$ a été réalisé (**graphique 1, annexe 1 page 10 à rendre avec la copie**). Évaluer le plus précisément possible la valeur de τ sur cet enregistrement en expliquant la méthode utilisée.

En déduire la durée minimale durant laquelle l'opérateur doit maintenir l'interrupteur en position 1 afin de réaliser la charge du condensateur.

II – Déclenchement du piège

Lorsque l'œuf est prélevé par le prédateur, le commutateur bascule de la position 0 dans laquelle l'opérateur l'avait placé après la charge du condensateur, à la position 2.

Un enregistrement de la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur est réalisé lors de l'étude de ce dispositif (**graphique 2, annexe page 10 à rendre avec la copie**).

1. On admet que la décharge du condensateur dans la bobine de l'électroaimant est apériodique. C'est l'énergie transférée qui provoque le déplacement du barreau de l'électroaimant. Le « temps de réaction » du piège peut être caractérisé par la durée notée $t_{1/2}$ au bout de laquelle la tension du condensateur est réduite de moitié.

Déterminer cette durée caractéristique en exploitant l'enregistrement (**graphique 2, annexe 1 page 10**).

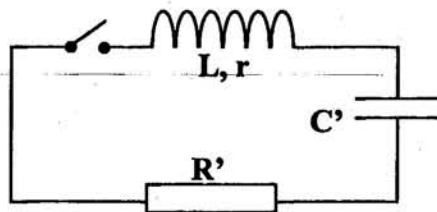
2. Afin que le barreau de l'électroaimant soit éjecté et percute avec la meilleure efficacité le déclencheur de l'appareil photo, l'énergie initialement emmagasinée par le condensateur doit être la plus importante possible.

En justifiant vos choix, indiquer, parmi les paramètres ci-dessous, quels sont ceux sur lesquels on peut agir pour atteindre cet objectif :

- la force électromotrice E du générateur idéal de tension,
- la capacité C du ~~générateur~~ *condensateur*,
- la résistance R .

III – Détermination de l'inductance L de la bobine qui constitue l'électroaimant

Afin de déterminer l'inductance L de la bobine qui constitue l'électroaimant, on place cette bobine en série avec un condensateur de capacité $C' = 10 \text{ nF}$ initialement chargé sous une tension de 6 V et une résistance R' tel que $(R' + r) = 50 \Omega$. Le circuit ainsi constitué est représenté ci-dessous :



L'évolution de la tension aux bornes du condensateur a été enregistrée à la fermeture de l'interrupteur, elle figure sur le **graphique n° 3 de l'annexe page 10**.

1. Comment nomme-t-on le régime correspondant à cette évolution de la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur.
2. Utiliser l'enregistrement pour déterminer l'inductance L de la bobine. Justifier votre démarche.

EXERCICE II : CONSERVATEUR ET PARFUM (7 POINTS)

Les parties I et II sont indépendantes

PARTIE I – PROPRIÉTÉS DE L'ACIDE BENZOÏQUE

Les conservateurs sont des substances qui prolongent la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations dues aux micro-organismes. La présence d'un conservateur dans les aliments et les boissons est repérée par un code européen (E200 à E297)

L'acide benzoïque C_6H_5-COOH (E210) et le benzoate de sodium $C_6H_5-COONa$ (E211) sont utilisés dans l'industrie comme conservateurs alimentaires pour leurs propriétés fongicides et antibactériennes. Ils sont présents en particulier dans de nombreuses boissons « light ».

Données :

- ✓ Propriétés de l'acide benzoïque :
 - solide blanc d'aspect soyeux.
 - Masse molaire : $M(C_6H_5-COOH) = 122 \text{ g.mol}^{-1}$
 - solubilité dans l'eau (masse maximale que l'on peut dissoudre par litre de solution) : $2,4 \text{ g.L}^{-1}$ à 25°C
- ✓ Couples acide-base à 25°C :

$C_6H_5-COOH / C_6H_5-COO^-$	$pK_{A1} = 4,2$
H_2O / HO^-	$pK_{A2} = 14,0$

A – RÉACTION DE L'ACIDE BENZOÏQUE AVEC L'EAU

On introduit une masse m_0 d'acide benzoïque dans de l'eau distillée afin d'obtenir un volume $V_0 = 100 \text{ mL}$ de solution.

Après dissolution totale, on obtient une solution aqueuse d'acide benzoïque notée S_0 de concentration $C_0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Le pH-mètre indique 3,1 pour le pH de la solution S_0 .

1. Quelle masse m_0 faut-il peser pour préparer la solution S_0 ? La solution est-elle saturée ?
2. Écrire l'équation de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.
3. Tracer le diagramme de prédominance du couple acide benzoïque / ion benzoate. En déduire l'espèce prédominante dans la solution S_0 .
4. Compléter le tableau d'avancement joint en **annexe page 11 à rendre avec la copie** correspondant à cette transformation chimique, en fonction de C_0 , V_0 , et $x_{\text{éq}}$, avancement à l'état d'équilibre.
5. Déterminer l'avancement maximal x_{max} .

Montrer que le taux d'avancement final τ de la réaction s'écrit : $\tau = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}}{C_0}$, puis le calculer.

Ce résultat est-il en accord avec la question 3 ?

6. Donner l'expression du quotient de réaction à l'état d'équilibre $Q_{r,\text{éq}}$ en fonction de $[H_3O^+]_{\text{éq}}$ et C_0 . Calculer $Q_{r,\text{éq}}$.
7. Retrouver la valeur donnée du pK_{A1} du couple acide benzoïque / ion benzoate.

B – RÉACTION DE L'ACIDE BENZOÏQUE AVEC LA SOUDE

On ajoute à la solution S_0 quelques gouttes d'une solution concentrée de soude (hydroxyde de sodium) $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$. Le pH-mètre indique alors 6,2.

1. Indiquer sans calcul, quelle est l'espèce du couple acide benzoïque/ion benzoate qui prédomine alors dans la solution obtenue.
2. Écrire l'équation de la réaction qui se produit entre l'acide benzoïque et les ions hydroxyde.

Exprimer la constante d'équilibre K de cette réaction. Calculer K .

PARTIE II – LA SYNTHÈSE DU BENZOATE DE MÉTHYLE

Les esters font partie de notre vie : le monde des parfums, les arômes en cuisine...

Ils peuvent être extraits de végétaux, mais il est parfois plus facile et moins onéreux de synthétiser ces molécules en laboratoire. Le benzoate de méthyle, ester utilisé en parfumerie, est un des constituants de diverses huiles essentielles (essence de Niobé, d'œillet ou d'Ylang Ylang).

On prépare le benzoate de méthyle par réaction de l'acide benzoïque de formule $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$ avec le méthanol de formule CH_3OH

Pour réaliser cette réaction, on mélange une masse $m_1 = 12,2$ g d'acide benzoïque avec un volume $V_2 = 30$ mL de méthanol, quelques gouttes d'une solution concentrée d'acide sulfurique et quelques grains de pierre ponce.

On chauffe à reflux pendant 60 minutes. Après refroidissement, on verse le contenu du ballon dans une ampoule à décanter contenant de l'eau glacée. On obtient alors deux phases bien distinctes. Après traitement de la phase contenant l'ester, on isole une masse égale à 9,52 g de benzoate de méthyle.

Données :

Composés	Formule	Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Masse volumique ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Solubilité dans l'eau
Acide benzoïque	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$	122	1,3	Faible
Méthanol	CH_3OH	32	0,80	Forte
Benzoate de méthyle		136	1,1	Nulle

A – A PROPOS DU MODE OPÉRATOIRE

1. Déterminer les quantités de matière n_1 d'acide benzoïque et n_2 de méthanol introduites.
2. Au vu du mode opératoire, identifier les facteurs cinétiques sur lesquels on joue pour réaliser le plus rapidement cette synthèse.
3. On a effectué un chauffage à reflux du mélange réactionnel. Quelle en est l'utilité ?

B – ÉTUDE DE LA RÉACTION DE SYNTHÈSE DU BENZOATE DE MÉTHYLE

1. Écrire l'équation de la réaction de synthèse du benzoate de méthyle.
2. Déterminer le réactif limitant.

En déduire la quantité de matière théorique d'ester que l'on pourrait obtenir si la transformation était totale.

3. Définir et calculer le rendement expérimental de cette synthèse.

EXERCICE III : LE DIDJÉRIDOO, INSTRUMENT DE MUSIQUE TRADITIONNEL (4 points)

La Cité de la Musique, à Paris, a consacré au mois de novembre 2005 un cycle à l'Australie, en fait, à une partie septentrionale du pays, le « bout d'en haut », territoire actuel des aborigènes. La vedette en était le didjéridoo, une trompe en bois d'eucalyptus (assez droite), évidée par les termites. Longue de plus d'un mètre, elle est devenue emblématique de ce peuple. Cet instrument de musique, qui pourrait être le plus ancien en activité, est joué en expirant par la bouche et en inspirant par le nez (respiration circulaire). Et il se charge de tout : rythmes et harmonies.

D'après « Le Monde » du 29 novembre 2005.

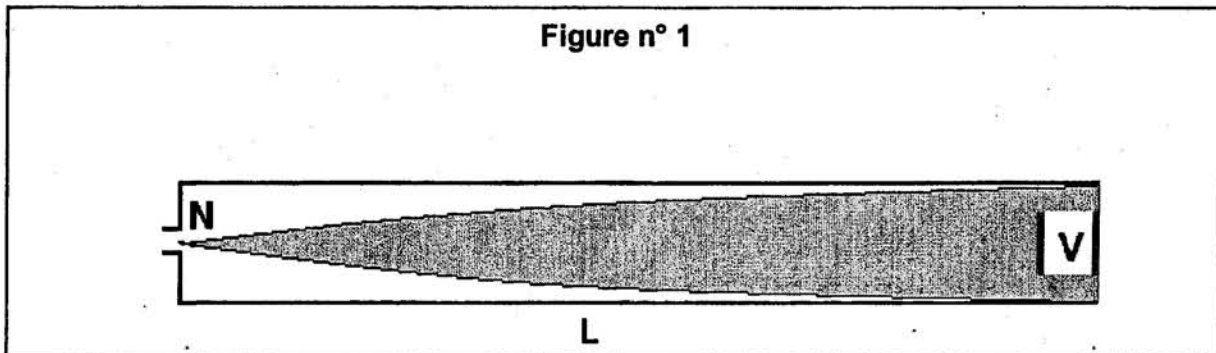
La technique utilisée pour jouer du didjéridoo est unique en comparaison de celle des autres instruments à vent. Il faut souffler dans le tube, les lèvres desserrées, pour créer un son : le bourdon qui est le son de base du didjéridoo. En jouant avec les joues comprimées et la langue à l'avant de la bouche, un grand nombre de didjéridoo donneront un son comportant une variété d'harmoniques subtiles qui ajoute couleur et richesse à l'effet d'ensemble.

PREMIÈRE PARTIE

Lorsqu'une onde stationnaire s'établit dans un tuyau sonore, on observe un nœud (N) de vibration à une extrémité si cette extrémité est fermée, et un ventre (V) de vibration si cette extrémité est ouverte.

En simplifiant, on peut représenter le didjéridoo comme un tuyau sonore de longueur L fermé à une extrémité et ouvert à l'autre.

Pour le mode fondamental de vibration, les positions du ventre et du nœud sont données sur la figure n° 1 ci-dessous, schématisant l'amplitude de la vibration sonore.



Donnée : célérité du son dans l'air : $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

1. Les ondes sonores sont-elles des ondes transversales ou longitudinales ? Justifier.
2. Exprimer la longueur d'onde λ_1 , en fonction de la longueur L du tuyau. Justifier.
3. En déduire que la fréquence f_1 du mode fondamental s'écrit : $f_1 = \frac{v}{4L}$.
4. Un enregistrement du son de base d'un didjéridoo (le bourdon) donne l'oscillogramme représenté sur la figure n° 2a.
 - 4.1 Déterminer à partir de l'oscillogramme la fréquence f_1 du mode fondamental. La hauteur de ce son correspond-elle à un son grave ou à un son aigu ?
 - 4.2 En déduire la longueur L du didjéridoo utilisé.
5. Quelle devrait être la longueur minimale d'un tuyau ouvert aux deux extrémités (type flûte) pour donner une note de même hauteur ?

DEUXIÈME PARTIE

Avec un second didjéridoo de longueur différente L' , on enregistre un son dont l'oscillogramme est représenté sur la figure n° 3a et son spectre sur la figure n° 3b.

1. En utilisant l'enregistrement de la figure n° 3a, déterminer la fréquence f_1 du mode fondamental.
2. Comparer la longueur L' de ce second instrument à la longueur L du premier.
3. En comparant les spectres représentés sur les figures n° 2b et 3b, indiquer la technique utilisée par l'instrumentiste dans chacun des deux cas.
4. Sur le spectre de la figure n° 3b, déterminer le rang n de l'harmonique ayant la plus grande amplitude après le fondamental.
5. a) Sur un schéma analogue à celui de la figure n° 1, représenter les nœuds et les ventres de vibration correspondant à l'harmonique déterminée à la question 4. Exprimer la longueur L en fonction de la longueur d'onde de cet harmonique.
b) Il existe une relation entre la longueur L du didjéridoo et le rang n de l'harmonique. En utilisant les données et les résultats de la première partie, choisir, parmi les relations suivantes, celle qui convient :

$$(1) L = \frac{2n-1}{2} \lambda_n \quad (2) L = \frac{2n-1}{4} \lambda_n \quad (3) L = \frac{2n+1}{4} \lambda_n \quad \text{avec } n \in \mathbb{N}^*$$

TROISIÈME PARTIE

Un « concert » est donné avec les deux didjéridoo. Placés à 2 m des musiciens, on mesure le niveau sonore L_s (en décibel acoustique) produit successivement par chacun des instruments précédents ; on note : $L_{s1} = 72$ dB et $L_{s2} = 75$ dB.

On rappelle que le niveau sonore L_s est donné par la relation : $L_s = 10 \log \frac{I}{I_0}$ où I_0 représente l'intensité sonore de référence égale à $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$.

1. Déterminer les intensités sonores I_1 et I_2 émises respectivement par chacun des instruments à la distance $d = 2$ m.
2. On admet que lorsque les deux sons sont émis simultanément, l'intensité sonore résultante I est la somme des deux intensités sonores. En déduire le niveau sonore L_s perçu à 2 m dans ce cas.

Figure n° 2a

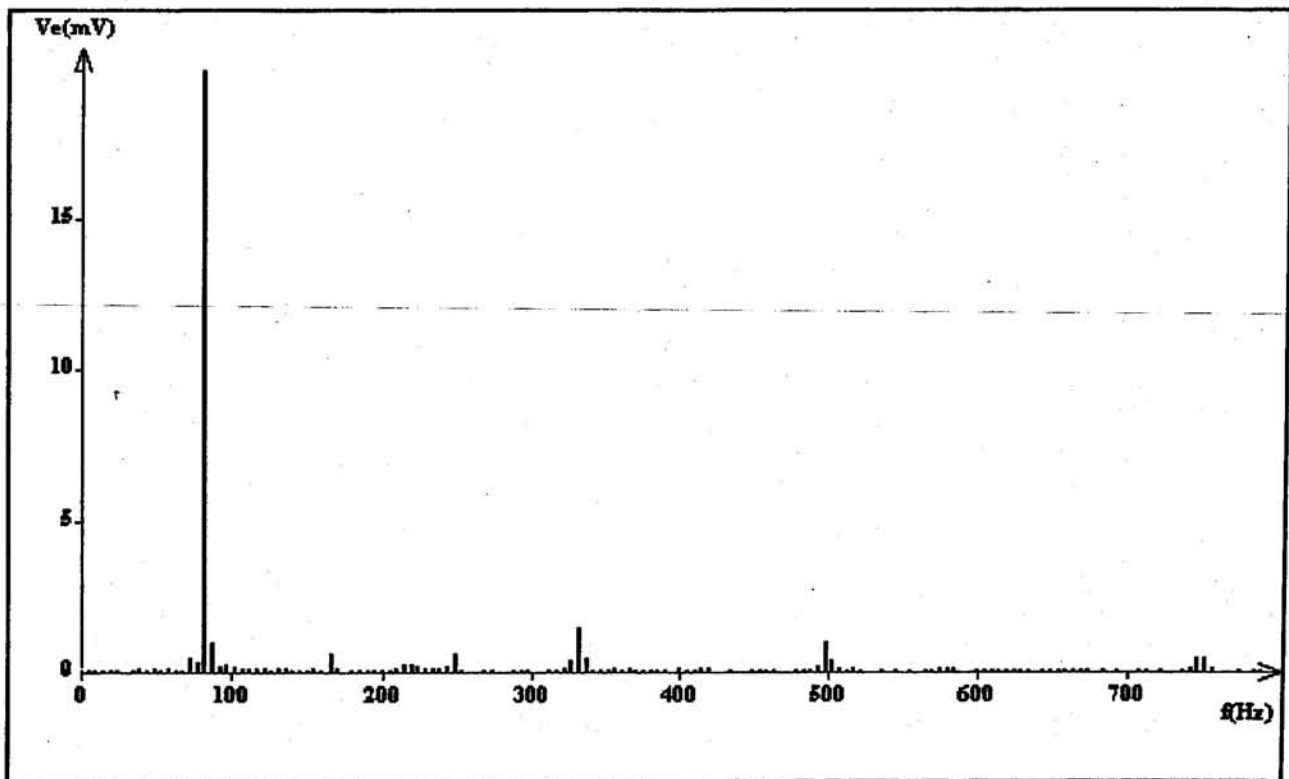
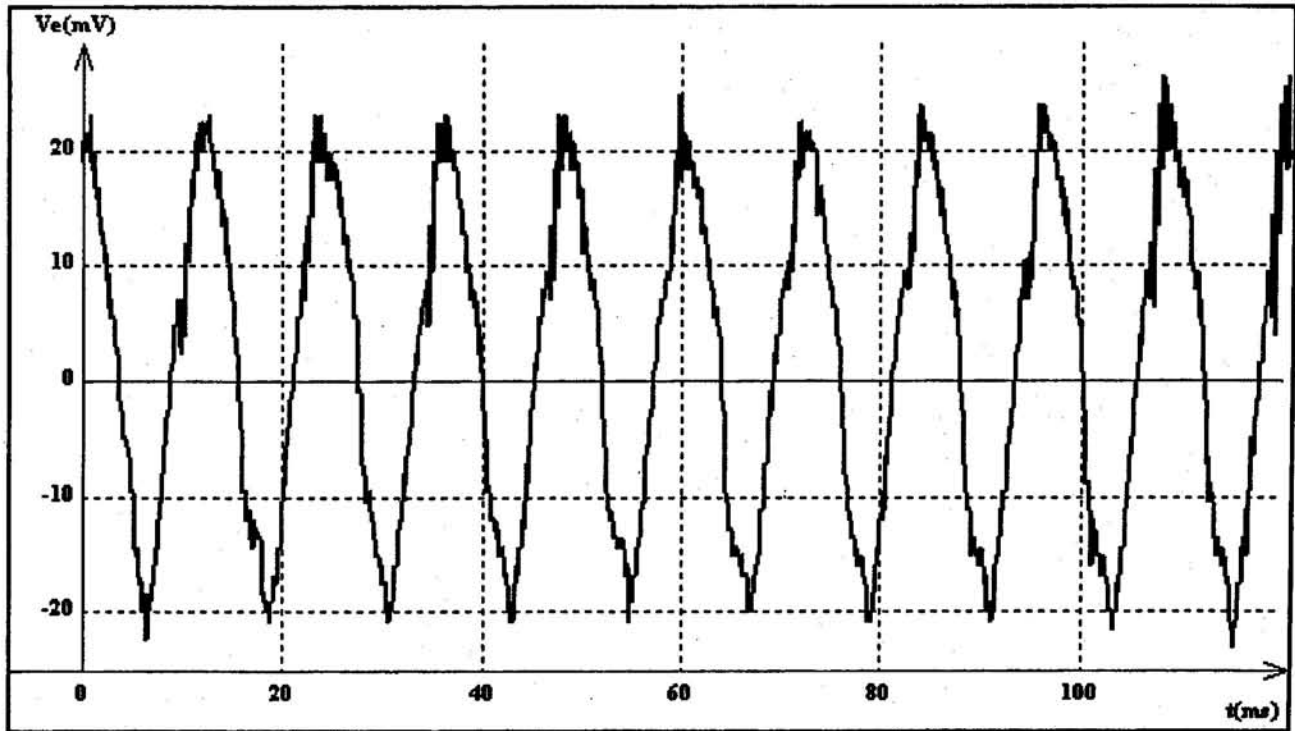


Figure n° 2b

Figure n° 3a

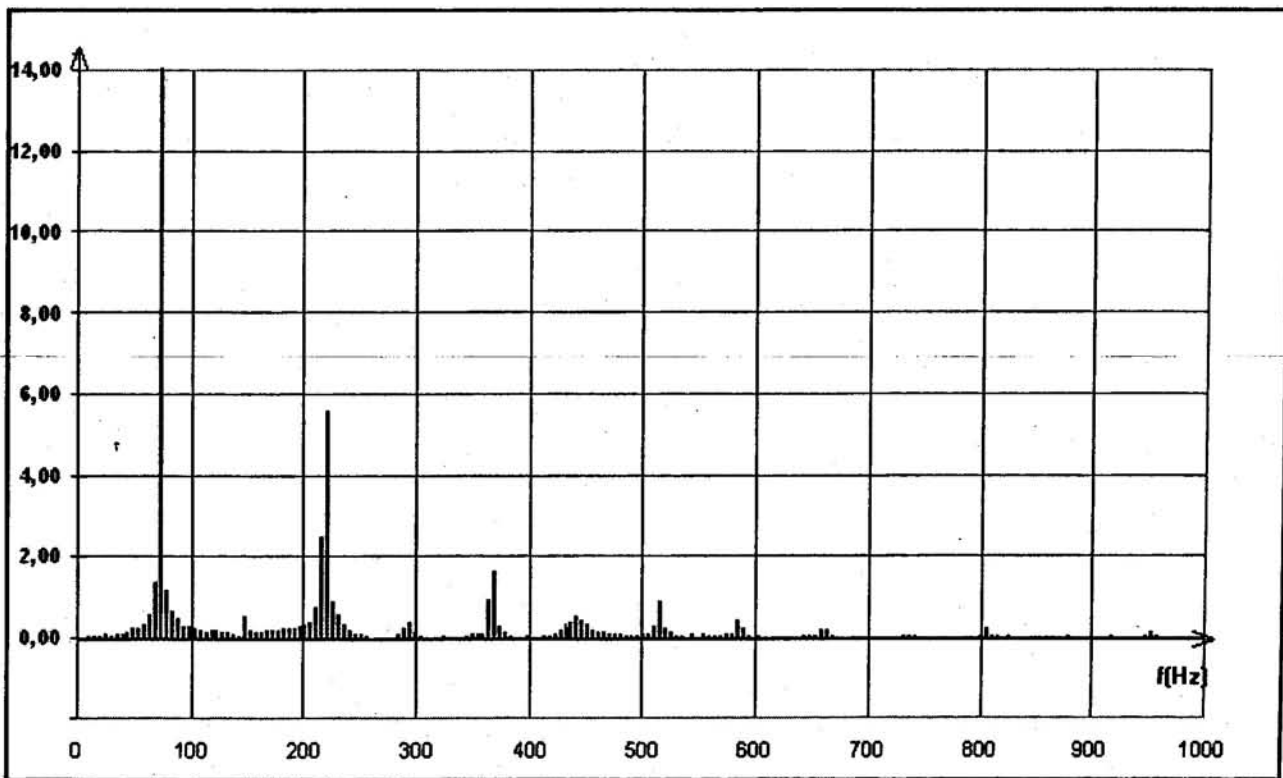
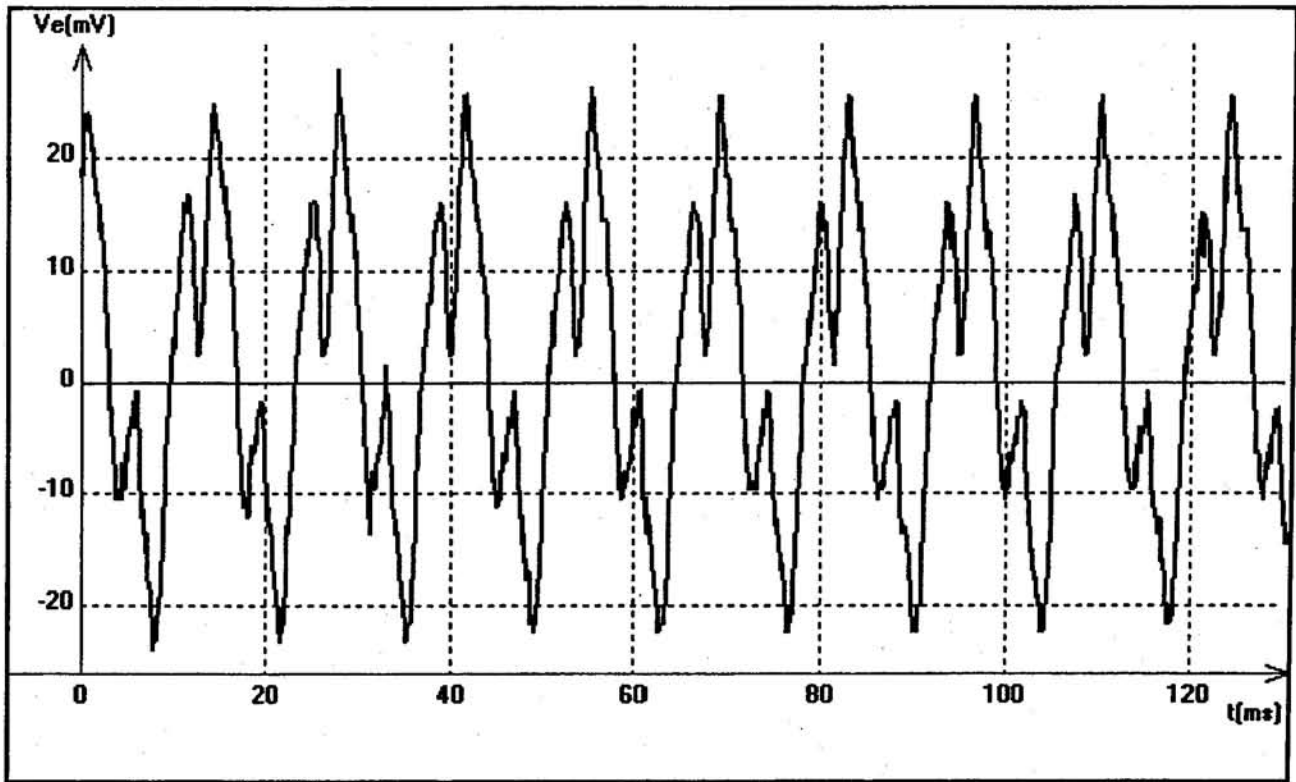
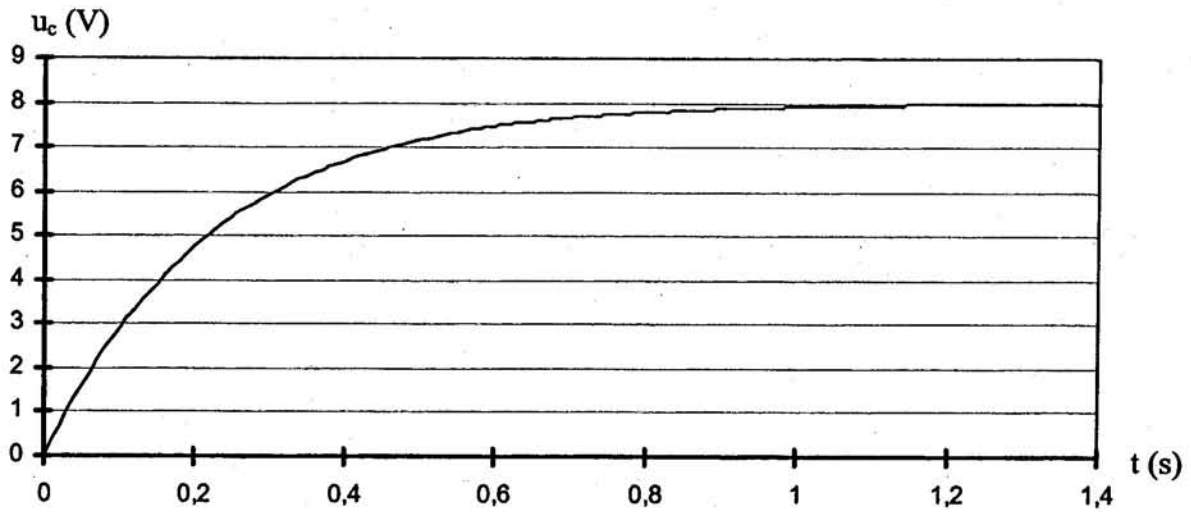
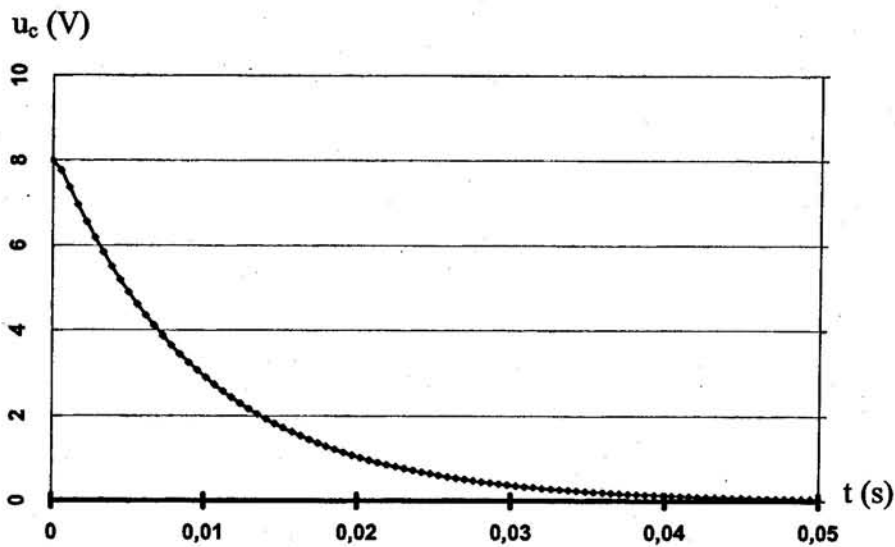


Figure n° 3b

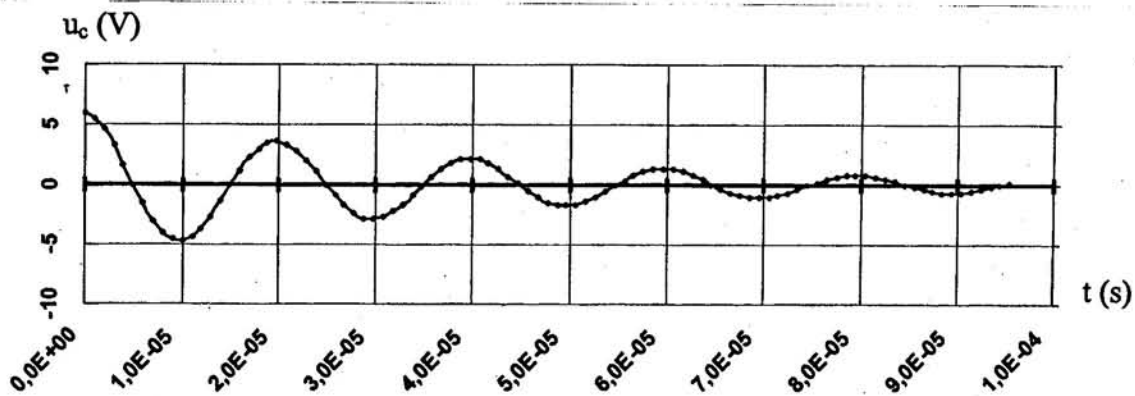
EXERCICE I : ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE



Graphique 1 : Évolution de la tension u_c aux bornes du condensateur lors de sa charge.



Graphique 2 : Évolution apériodique de la tension u_c aux bornes du condensateur lors de sa décharge dans la bobine de l'électroaimant.



Graphique 3 : Évolution de la tension u_c aux bornes du condensateur.

EXERCICE II : ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Tableau d'avancement

Équation de la Réaction					
État du système	Avancement en mol	Quantités de matière en mol			
État initial	0				
État final (à l'équilibre)	$x_{\text{éq}}$				