

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

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**

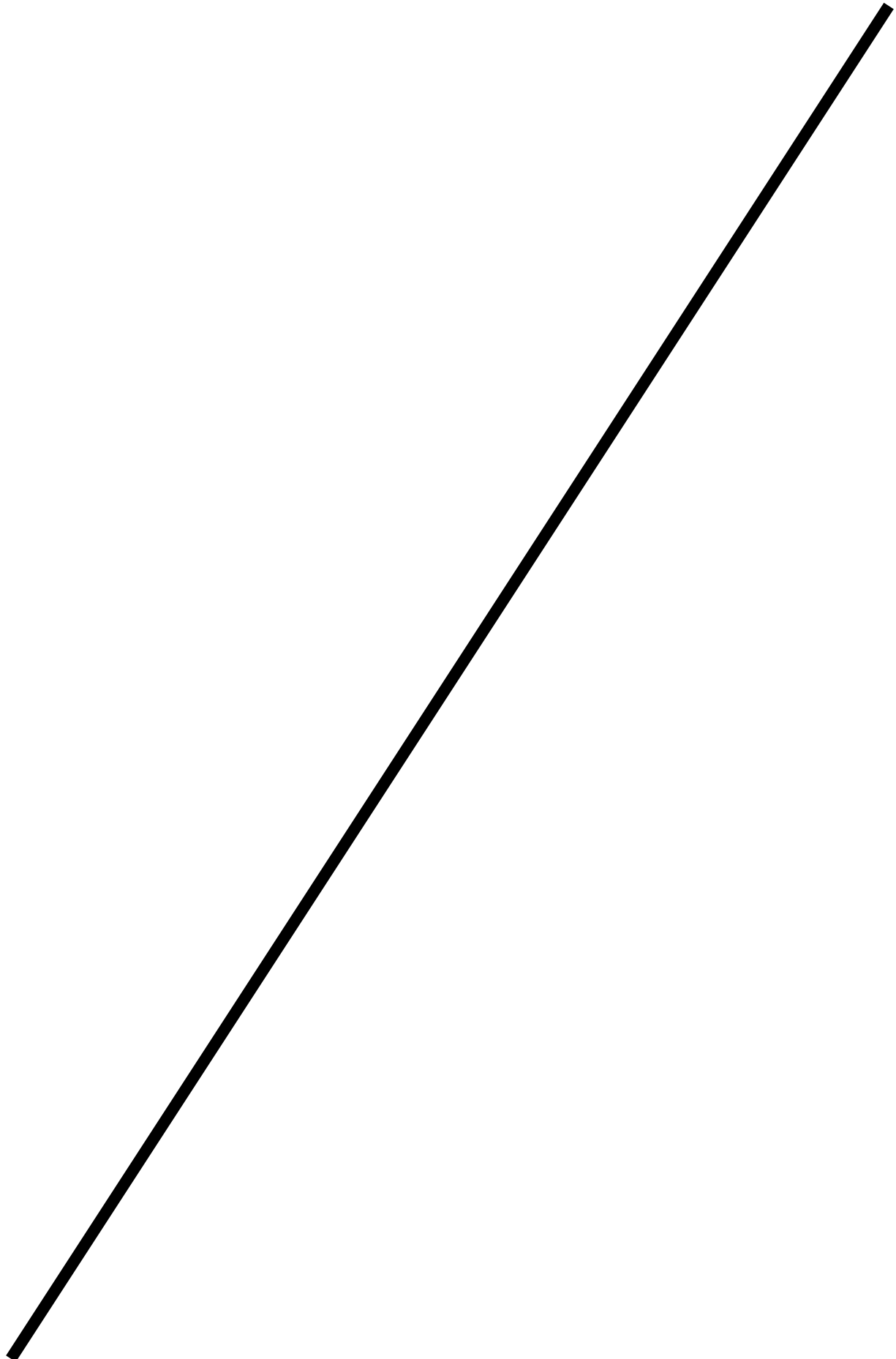
*Les données sont en italique*

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 14 pages numérotées de 1 à 14, y compris celle-ci et les annexes.

**Les feuilles d'annexes (pages 11, 12, 13 et 14) SONT À RENDRE AGRAFÉES À LA COPIE même si elles n'ont pas été complétées.**

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

- I. **L'élément iode d'hier à aujourd'hui (6,5 points)**
- II. **Système d'allumage classique d'un moteur à essence (5,5 points)**
- III. **Petite histoire d'une lentille et de deux miroirs ... (4 points)**



## EXERCICE I. L'ÉLÉMENT IODE D'HIER À AUJOURD'HUI (6,5 points)

En 1811, le salpêtrier Courtais observe des fumées violettes lors de la calcination du goémon en Bretagne. C'est Gay-Lussac, en 1813, qui donnera son nom à ce nouvel élément : iode, du grec *iodos* signifiant violet.

L'élément iode est présent en très faible quantité dans l'eau de mer (environ 50 µg par litre). Pendant longtemps, il fut extrait des algues qui concentrent cet élément dans leurs tissus.

Aujourd'hui cet élément présente un regain d'intérêt. Des recherches sur la production de dihydrogène s'inscrivant dans une stratégie d'économie des énergies fossiles et de limitation de la production de gaz à effet de serre utilisent un procédé dans lequel intervient l'iodure d'hydrogène (HI).

### Données :

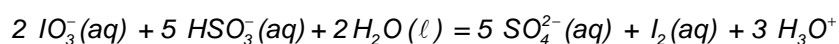
Le diiode ( $I_2$ ) se présente sous la forme d'un solide gris-violet à l'éclat métallique. L'ion iodure ( $I^-$ ) est incolore en solution. Le diiode est très peu soluble dans l'eau. En présence d'ions iodure, il est sous forme d'ions triiodure ( $I_3^-$ ) solubles dans l'eau et de couleur brune. La solution ainsi obtenue est brune. Par souci de simplification, on notera, dans tous les cas, le diiode en solution  $I_2(aq)$ .

Couples oxydant/réducteur :  $IO_3^-(aq) / I_2(aq)$  ,  $I_2(aq) / I^-(aq)$  ,  $SO_4^{2-}(aq) / HSO_3^-(aq)$  ,  
 $HSO_4^-(aq) / SO_2(aq)$  ,  $O_2(g) / H_2O(l)$  ,  $H^+(aq) / H_2(g)$

Couples acide/base :  $HI(aq) / I^-(aq)$  ,  $HSO_3^-(aq) / SO_3^{2-}(aq)$  ,  $H_2SO_4(aq) / HSO_4^-(aq)$   
 $HSO_4^-(aq) / SO_4^{2-}(aq)$  ,  $H_2O(l) / HO^-(aq)$ .

### 1. Une réaction pour obtenir du diiode

Actuellement, le procédé le plus courant de fabrication du diiode se fait à partir du nitrate du Chili. Ce nitrate naturel est utilisé pour obtenir des engrais. Lors de la préparation des engrais, des eaux de rinçage sont recueillies. Ces eaux contiennent des ions iodate  $IO_3^-$  qu'on fait réagir avec les ions hydrogénosulfite  $HSO_3^-$ . La transformation peut être modélisée par l'équation suivante :



1.1. La réaction de synthèse du diiode est-elle une réaction acide-base ou d'oxydoréduction ? Justifier.

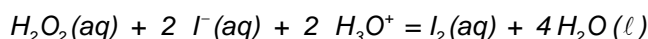
1.2. Donner l'expression de la constante d'équilibre de cette transformation en fonction des concentrations des espèces dissoutes.

1.3. Avant de récupérer le diiode, on peut être amené à ajouter de l'eau dans la cuve où est faite la réaction.

Le pH de l'eau utilisée a-t-il une incidence sur l'évolution de l'équilibre ? Justifier.

### 2. Étude cinétique d'une autre réaction fournissant du diiode.

On désire étudier l'évolution temporelle de la réaction d'oxydation des ions iodure par le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) par suivi spectrophotométrique. L'équation de la réaction modélisant la transformation étudiée est :



On dispose des solutions suivantes :

$S_A$  : solution d'acide sulfurique dont la concentration en ions oxonium est  $c_A = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

$S_B$  : solution d'iodure de potassium dont la concentration en ions iodure est  $c_B = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

$S_C$  : solution de peroxyde d'hydrogène dont la concentration est  $c_C = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

Lors des expériences décrites en 2.1. et 2.2., la seule réaction chimique faisant intervenir les ions iodure est celle écrite ci-dessus.

## 2.1. Première expérience

À l'aide d'une solution témoin, on règle le spectrophotomètre à une longueur d'onde adaptée pour l'étude de l'absorption par le diiode. Seul le diiode absorbe à cette longueur d'onde. On rappelle que d'après la loi de Beer-Lambert, l'absorbance  $A$  est proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante. On mélange  $V_A = 30,0$  mL de la solution  $S_A$  avec  $V_B = 60,0$  mL de la solution  $S_B$ . À l'instant de date  $t = 0$  s, on déclenche le chronomètre et on ajoute  $V_C = 10,0$  mL de solution  $S_C$ . Rapidement on homogénéise et on verse quelques millilitres du mélange dans une cuve qu'on place dans le spectrophotomètre. On obtient la courbe donnée **FIGURE 1 DE L'ANNEXE PAGE 11**. On

rappelle la définition de la vitesse volumique d'une réaction :  $v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$  où  $V$  est le volume total du mélange réactionnel.

2.1.1. Compléter le tableau d'évolution du système **DE L'ANNEXE PAGE 11**. La transformation étant considérée comme totale, calculer l'avancement final  $x$  correspondant.

2.1.2. L'état final est-il atteint à  $t = 1200$  s ? Justifier à partir de la **FIGURE 1 DE L'ANNEXE PAGE 11**.

2.1.3. Montrer que, durant la transformation, le quotient de l'avancement  $x$  par l'absorbance  $A$  est constant.

2.1.4. Calculer ce quotient noté  $r$ .

2.1.5. Établir l'expression de la vitesse de réaction  $v$  en fonction du rapport  $r$ , du volume  $V$  et de la dérivée de l'absorbance par rapport au temps  $\frac{dA}{dt}$ .

2.1.6. Comparer, sans les calculer, les vitesses volumiques de la réaction aux instants  $t_1 = 200$  s et  $t_2 = 800$  s. Faire apparaître la méthode utilisée sur la **FIGURE 1 DE L'ANNEXE PAGE 11**.

2.1.7. Après avoir donné sa définition, déterminer en justifiant par un tracé, la valeur du temps de demi-réaction.

## 2.2. Deuxième expérience

On refait la même étude en utilisant 30,0 mL de solution  $S_A$ , 30,0 mL de solution  $S_B$ , 10,0 mL de solution  $S_C$  et 30,0 mL d'eau distillée.

2.2.1. Quel paramètre est modifié dans cette expérience par rapport à l'expérience 1 ?

2.2.2. Le réactif limitant a-t-il changé ?

2.2.3. Comparer en justifiant les temps de demi-réaction des deux expériences.

2.2.4. Sur le graphique donné **FIGURE 1 DE L'ANNEXE PAGE 11**, tracer l'allure de la courbe représentant l'évolution de l'absorbance en fonction du temps.

## 3. Électrolyse d'une solution d'acide iodhydrique.

Gay-Lussac étudia les propriétés de l'élément iode et constata de nombreuses analogies avec l'élément chlore. En particulier il synthétisa un gaz, l'iodure d'hydrogène ( $HI$ ) dont les propriétés sont très proches de celles du chlorure d'hydrogène.

Dans un laboratoire, on a fabriqué un litre d'une solution  $S_1$  en dissolvant une quantité de matière  $n_1 = 5,0 \times 10^{-2}$  mol d'iodure d'hydrogène dans l'eau. L'iodure d'hydrogène réagit totalement avec l'eau et on obtient une solution qui contient des ions iodure et des ions oxonium. Les concentrations molaires volumiques des ions iodure et oxonium dans la solution ainsi fabriquée sont  $[H_3O^+]_1 = [I^-(aq)]_1 = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

On utilise la solution  $S_1$  pour faire une électrolyse. Dans un becher on verse 100,0 mL de solution  $S_1$ , puis on plonge deux électrodes inattaquables reliées à un générateur de tension constante.

Données :

Couples oxydant / réducteur :  $I_2(aq) / I^-(aq)$  ;  $O_2(g) / H_2O(\ell)$  ;  $H^+(aq) / H_2(g)$

Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience :  $V_M = 25 \text{ L.mol}^{-1}$

Quantité d'électricité transportée par une mole d'électrons :  $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$

3.1. Compléter le schéma donné en **FIGURE 2 DE L'ANNEXE PAGE 12**, en indiquant le sens de déplacement des différents porteurs de charges.

3.2. Écrire les équations électrochimiques modélisant les transformations susceptibles de se produire à chaque électrode.

3.3. Identifier l'anode et la cathode sur la **FIGURE 2 DE L'ANNEXE PAGE 12**. Sachant qu'il n'y a pas de dégagement gazeux à l'anode, donner la nature des produits obtenus à chaque électrode.

3.4. *On fait circuler un courant d'intensité constante  $I_G = 0,25 \text{ A}$  pendant une durée  $\Delta t = 30 \text{ minutes}$  dans l'électrolyseur.*

3.4.1. Calculer la quantité d'électricité qui a traversé le circuit pendant cette électrolyse. En déduire la quantité de matière d'électrons correspondante.

3.4.2. Calculer le volume de gaz recueilli à la cathode.

## EXERCICE II. SYSTEME D'ALLUMAGE CLASSIQUE DANS UN MOTEUR A ESSENCE (5,5 points)

L'inflammation du mélange air-essence dans le moteur d'une voiture est provoquée par une étincelle qui jaillit entre les bornes d'une bougie d'allumage. Cette étincelle apparaît lorsque la valeur absolue de la tension aux bornes de la bougie est **supérieure à 10 000 volts**.

On peut modéliser le circuit électrique par le schéma figure 3 :

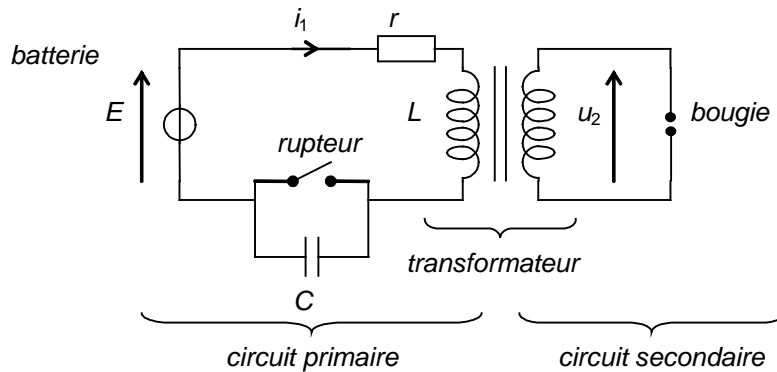


Figure 3

Avec :

$E = 12 \text{ V}$ , tension aux bornes de la batterie, considérée comme un générateur idéal de tension.

La bobine du circuit primaire est modélisée par une inductance pure  $L$  en série avec une résistance  $r = 6,0 \Omega$ .

Le rupteur est un interrupteur commandé par le mouvement mécanique du moteur.

Le rôle du transformateur est d'obtenir une tension de sortie  $u_2$  aux bornes de la bougie très élevée.

Les propriétés du transformateur sont telles que les grandeurs  $u_2$  et  $i_1$  sont liées par la relation :

$u_2 = \alpha \frac{di_1}{dt}$ , où  $i_1$  est l'intensité du courant dans le circuit primaire et  $\alpha$  une constante indépendante

du temps, positive. Aucune autre connaissance concernant le fonctionnement du transformateur n'est nécessaire pour résoudre l'exercice.

L'objectif de l'exercice est de montrer que des étincelles se produisent aux bornes de la bougie lorsque le rupteur est ouvert.

### 1. Étude du circuit primaire sans condensateur.

#### 1.1. Rupteur fermé

Le circuit primaire peut être alors modélisé selon le schéma figure 4 :

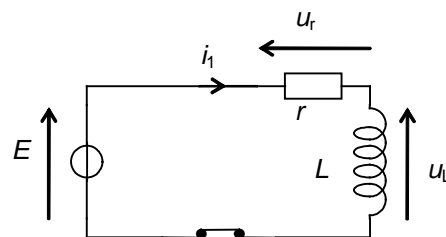


Figure 4

1.1.1. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par l'intensité  $i_1$  s'écrit :  $\frac{di_1}{dt} + \frac{r}{L}i_1 = \frac{E}{L}$

1.1.2. Que devient cette équation différentielle en régime permanent ?

1.1.3. En déduire la valeur de l'intensité  $i_1$  du courant dans le circuit primaire en régime permanent.

1.1.4. Peut-il y avoir une étincelle aux bornes de la bougie en régime permanent ? Justifier.

## 1.2. Rupteur ouvert

Lorsque le rupteur s'ouvre (à une date choisie pour origine des dates), il se produit une étincelle à ses bornes. L'air devient alors conducteur et le rupteur se comporte comme un conducteur ohmique de résistance de plusieurs mégaohms. Le circuit primaire peut alors être modélisé selon le schéma figure 5 :

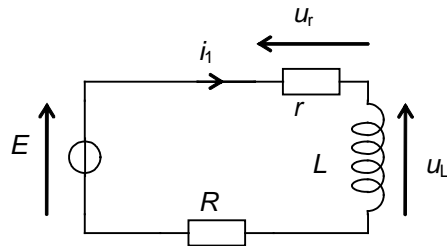


Figure 5

1.2.1. Quelle est l'effet de la bobine sur la rupture du courant ?

1.2.2. On donne l'expression temporelle de l'intensité  $i_1(t)$  pour  $t \geq 0$  :

$$i_1(t) = \frac{E}{R+r} + \left( I_1 - \frac{E}{R+r} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{avec } \tau = \frac{L}{R+r}$$

Les trois courbes ci-dessous, représentent des allures possibles de l'évolution de l'intensité  $i_1$  du courant en fonction du temps.

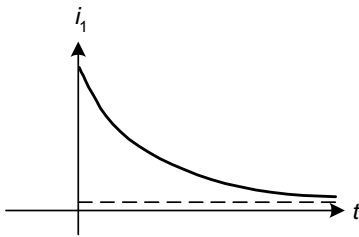


Figure 6.a

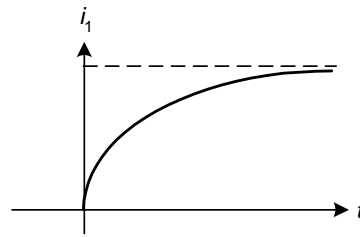


Figure 6.b

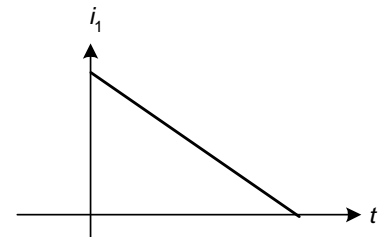


Figure 6.c

En justifiant, choisir la seule compatible avec l'expression de  $i_1(t)$ .

1.2.3. On donne en **FIGURE 7 DE L'ANNEXE PAGE 12** l'allure de l'évolution de la valeur absolue de la tension  $u_2(t)$  définie dans l'introduction.

À partir de cette courbe, déterminer la valeur de la constante de temps  $\tau$ .

1.2.4. À partir de quelle date peut-on considérer qu'il n'y a plus d'étincelle aux bornes de la bougie ?

## 2. Étude du circuit primaire avec condensateur et rupteur ouvert.

Pour que l'étincelle n'endommage pas le rupteur au moment de son ouverture, un condensateur est branché en dérivation aux bornes du rupteur. Lorsque le rupteur s'ouvre, le circuit primaire peut alors être modélisé selon le schéma de la figure 8 :

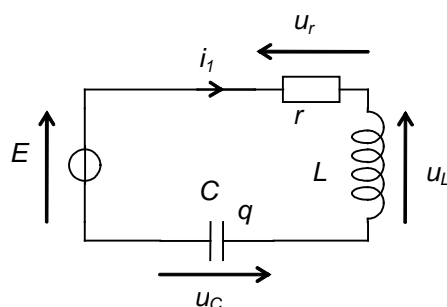


Figure 8

L'équation différentielle vérifiée par la charge  $q$  du condensateur est :  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{r}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = \frac{E}{L}$  (1)

2.1. Cas où  $r = 0$

On considère le cas d'une bobine idéale. L'équation différentielle correspondante est alors

$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{LC} = \frac{E}{L}$  (2). On propose l'expression temporelle de la charge :  $q(t) = Q_0 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma} t\right) + C \cdot E$ .

On prendra comme origine des dates, l'instant  $t = 0$  s pour lequel  $q(t = 0) = Q_0 + C \cdot E$  avec  $Q_0 > 0$ .

2.1.1. Donner l'expression littérale de l'intensité  $i_1 = \frac{dq(t)}{dt}$ .

2.1.2. Donner l'expression littérale de  $\frac{d^2q(t)}{dt^2}$ .

2.1.3. En remplaçant dans l'équation (2)  $\frac{d^2q(t)}{dt^2}$  et  $q(t)$ , montrer que la fonction  $q(t)$  proposée est une solution de l'équation différentielle (2) si et seulement si  $\gamma = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$ .

2.1.4. Que représente  $\gamma$  pour ce circuit ?

2.1.5. En utilisant la réponse à la question 2.1.2., montrer que  $u_2(t) = -A \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma} t\right)$  où  $A$  est une constante positive.

2.1.6. Tracer l'allure de la variation de la tension  $u_2(t)$  en fonction du temps et qualifier le régime observé.

2.2. Cas où  $r \neq 0$

L'allure de la variation temporelle de la tension  $u_2(t)$  réellement observée est représentée sur la figure 9 ci-dessous :

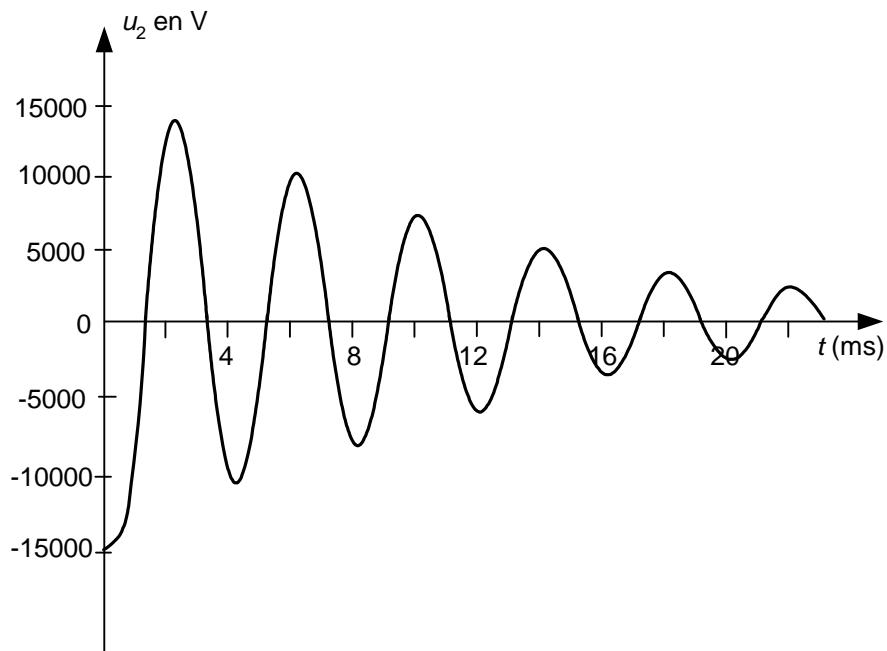


Figure 9

2.2.1. Qualifier le régime observé et expliquer pourquoi l'amplitude de la tension  $u_2(t)$  décroît au cours du temps.

2.2.2. Expliquer, grâce à la courbe précédente, pourquoi en présence du condensateur il y a un « train d'étincelles » aux bornes de la bougie plutôt qu'une étincelle unique.

**EXERCICE III. PETITE HISTOIRE D'UNE LENTILLE ET DE DEUX MIROIRS...  
(4 points)**

*En feuilletant un magazine scientifique, Clémentine, passionnée d'astronomie, lit la petite annonce suivante : " À VENDRE, télescope de Newton, état neuf, pas de notice... ". Bien décidée à observer la prochaine éclipse de Lune, Clémentine répond à la petite annonce et achète ce télescope. Privée de notice, elle fait appel à ses connaissances en optique pour le faire fonctionner au mieux. Après avoir démonté son télescope avec grand soin, Clémentine récupère une lentille (notée L) et deux miroirs (notés  $M_1$  et  $M_2$ ).*

*Le but de cet exercice est de suivre la démarche qui va permettre à Clémentine de retrouver les caractéristiques de chaque élément constituant ce télescope puis d'en étudier son fonctionnement au cours de l'observation d'une éclipse de Lune.*

**1. Étude des miroirs du télescope**

1.1. *En se regardant dans chacun des miroirs, Clémentine constate que le premier (noté miroir  $M_1$ ) donne une image plus grande de son visage que celui-ci alors que le second (noté miroir  $M_2$ ) en donne une image de même taille.*

Sans souci d'échelle, compléter **LES FIGURES 10 ET 11 DE L'ANNEXE EN PAGE 13** en déterminant l'image A'B' du visage AB de Clémentine servant d'objet respectivement pour un miroir plan et pour un miroir sphérique.

À l'aide de son observation et des schémas précédents, déduire, parmi les miroirs  $M_1$  et  $M_2$ , lequel est sphérique.

1.2. *Clémentine veut à présent déterminer la distance focale du miroir sphérique. Elle allume alors une lampe de poche recouverte d'un papier opaque possédant une petite ouverture en forme de flèche verticale (de 2,0 cm de hauteur) puis pose le miroir sphérique plusieurs mètres à droite de celle-ci. Elle utilise un demi écran qui permet à la fois de laisser passer une partie de la lumière incidente et d'observer la totalité de l'image inversée. En déplaçant cet écran entre la lampe et le miroir, elle cherche une image nette G'H' de la flèche lumineuse GH qui sert d'objet. Elle l'obtient quand la distance entre l'écran et le miroir est égale à 90 cm.*

Pourquoi Clémentine ne choisit elle pas un écran entier pour observer les images ?

Déduire de son expérience la distance focale du miroir sphérique. Justifier.

**2. Étude de la lentille du télescope**

*Clémentine utilise à nouveau le dispositif de la question 1.2. pour déterminer cette fois la distance focale de la lentille L. Elle remplace donc le miroir sphérique par cette lentille de centre O et de diamètre 5,0 cm. Elle pose cette lentille 6,0 cm à droite de la flèche lumineuse GH (de 2,0 cm de hauteur) qui sert d'objet. Elle obtient une image nette G"H" en plaçant l'écran 3,0 cm à droite de la lentille.*

2.1. Placer, à l'échelle, sur **LA FIGURE 12 DE L'ANNEXE EN PAGE 14**, la lentille L et l'écran afin d'illustrer l'expérience de Clémentine. En déduire par construction, à l'échelle, sur **LA FIGURE 12 DE L'ANNEXE EN PAGE 14**, la position des foyers F et F' de la lentille L.

2.2. Déterminer l'expression littérale de la distance focale image  $\overline{OF'}$  de la lentille L puis calculer sa valeur numérique.

**3. Observation d'une éclipse de Lune avec le télescope**

3.1. *Clémentine remonte son télescope en plaçant ses différents éléments (la lentille L et les miroirs  $M_1$  et  $M_2$ ) tels qu'elle les a trouvés au moment de son achat.*

Dans son télescope, parmi les trois éléments précédents, lequel joue le rôle de l'objectif ?

Lequel joue le rôle de l'oculaire ?

Quel est le rôle du troisième élément ?

3.2. Dans cette question, on suppose que le télescope de Clémentine est afocal et qu'elle observe, au début de l'éclipse, la Lune KN supposée à l'infini dans la direction représentée sur la figure 5 de l'annexe. Un système est dit afocal lorsqu'il donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.

3.2.1. Sans souci d'échelle, compléter **LA FIGURE 13 DE L'ANNEXE EN PAGE 14** en construisant l'image  $K_1N_1$  de la Lune KN donnée par le miroir  $M_1$ .

3.2.2. Sans souci d'échelle, compléter **LA FIGURE 13 DE L'ANNEXE EN PAGE 14** en plaçant l'image  $K_2N_2$  de  $K_1N_1$  donnée par le miroir  $M_2$ .

3.2.3. Clémentine a-t-elle correctement placé la lentille L dans son télescope pour qu'il soit effectivement afocal ?

3.2.4. Sans souci d'échelle, compléter **LA FIGURE 13 DE L'ANNEXE EN PAGE 14** en construisant l'image définitive  $K_3N_3$  de  $K_2N_2$  qui sert d'objet pour la lentille L.

3.3. À cause du phénomène de diffraction, l'image d'un point donnée par un instrument d'optique n'est pas un point mais une tache circulaire d'autant plus grande que le diamètre de l'objectif est petit. Si le grossissement de l'instrument est trop élevé, ces taches deviennent visibles et l'image est floue. Le grossissement maximal utilisable est égal à 2,5 fois le diamètre de l'objectif exprimé en mm. Clémentine mesure le diamètre de l'objectif et trouve 12 cm.

Donnée : Grossissement d'un télescope  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$  ;  $\alpha$  et  $\alpha'$  correspondent respectivement au diamètre apparent de la Lune et celui de son image définitive.

3.3.1. Compléter **LA FIGURE 13 DE L'ANNEXE EN PAGE 14** en plaçant les diamètres apparents  $\alpha$  et  $\alpha'$ .

Démontrer que le grossissement du télescope  $G = \frac{f_{\text{objectif}}}{f_{\text{oculaire}}}$ .

3.3.2. Calculer la valeur numérique du grossissement du télescope de Clémentine. L'image définitive de la Lune observée par Clémentine est-elle nette ?

# ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

## ANNEXE DE L'EXERCICE I

### Question 2.1. Première expérience

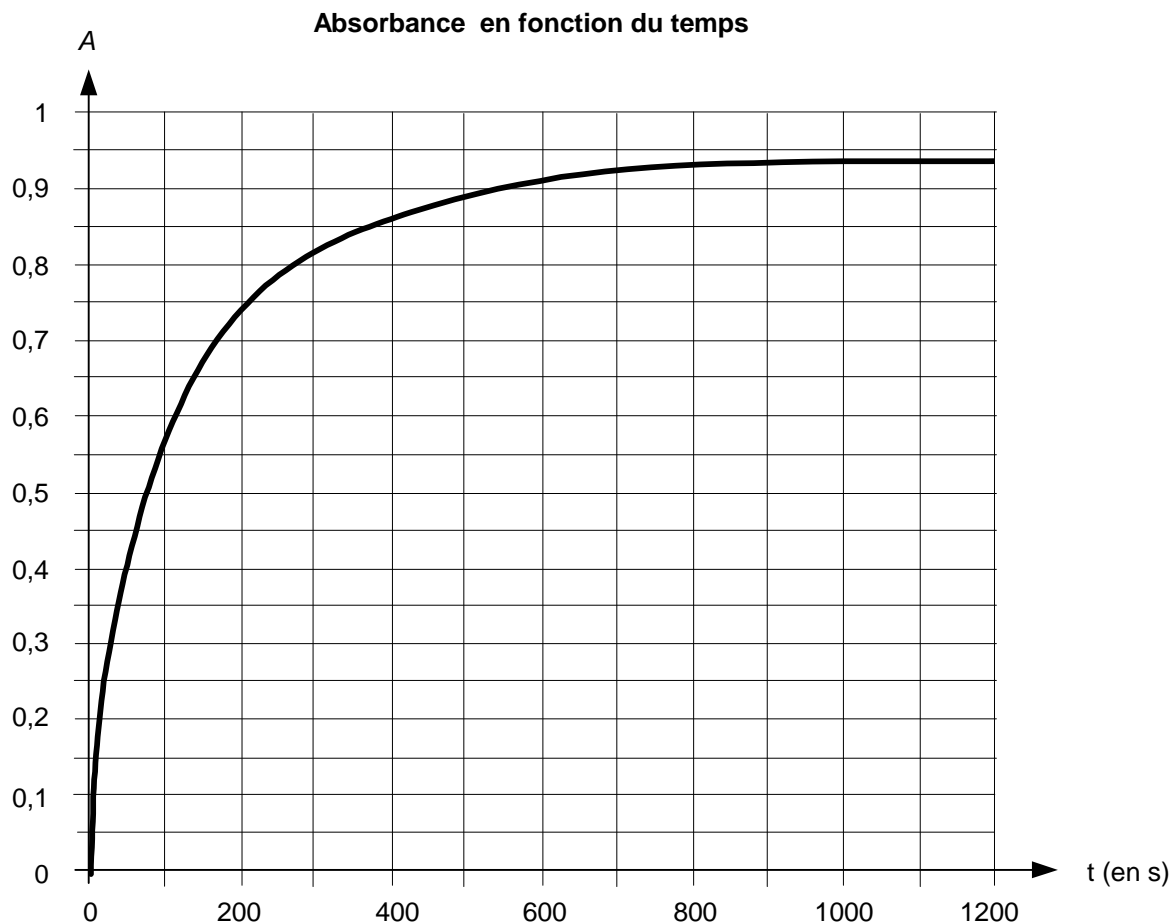


Figure 1

### Question 2.1.1. Tableau d'évolution du système

Equation		$H_2O_2(aq) + 2 I^-(aq) + 2 H^+ = I_2(aq) + 2 H_2O(l)$				
Etat du système	avancement en mol	Quantités de matières en mol				
initial	$x = 0$					
intermédiaire	$x$					
final	$x_f$					

Question 3.1. Schéma de l'électrolyse

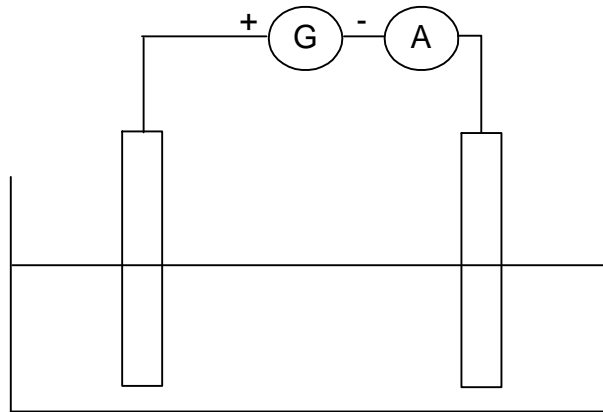


Figure 2

ANNEXE DE L'EXERCICE II

Question 1.2.3.

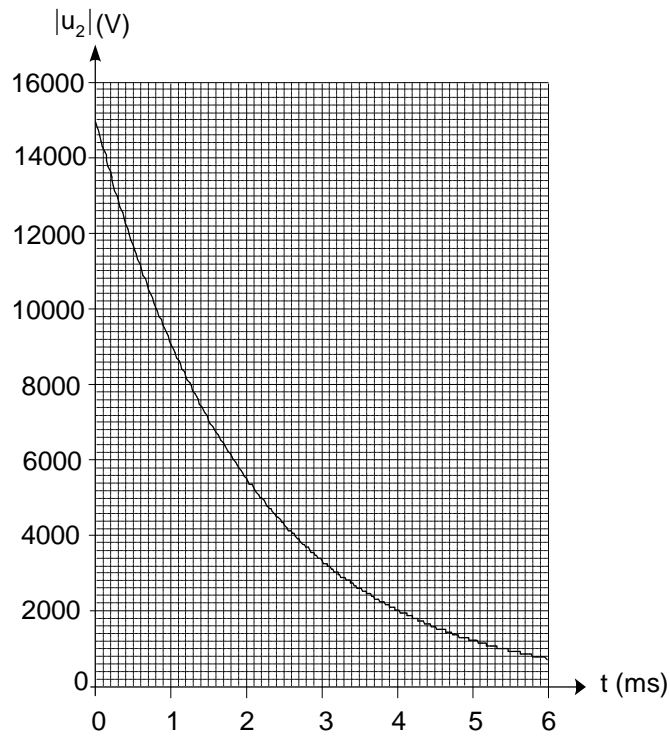


Figure 7

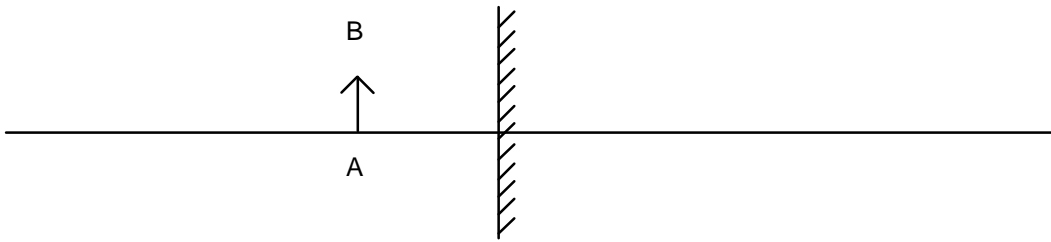
# ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

## ANNEXE EXERCICE III

Question 1.1.

Figure 10 (le schéma n'est pas à l'échelle)  
miroir plan

Sens de propagation  
de la lumière  
→

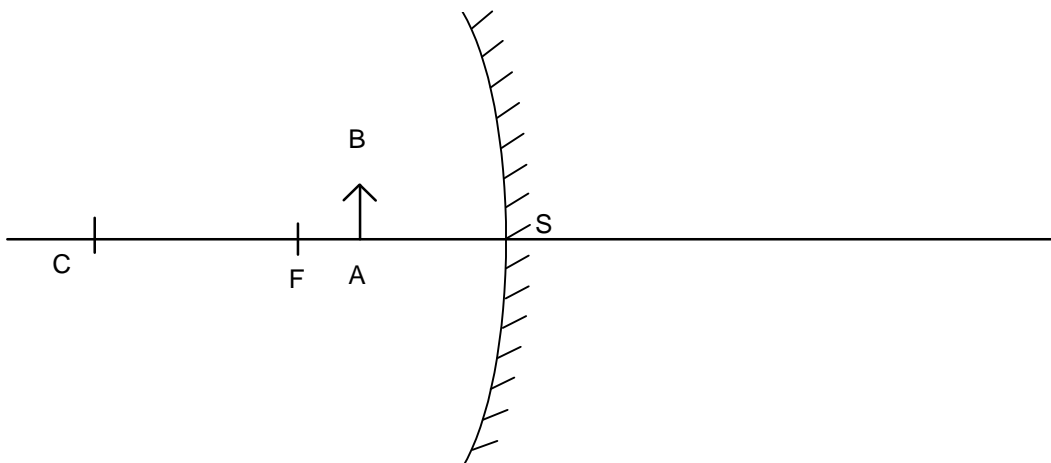


Question 1.1.

Figure 11 (le schéma n'est pas à l'échelle)  
miroir sphérique

Données :  
*F* : foyer du miroir  
*S* : sommet du miroir  
*C* : centre du miroir

Sens de propagation  
de la lumière  
→



## ANNEXE EXERCICE III

### Question 2.1.

Figure 12 (le schéma est à l'échelle)

Sens de propagation  
de la lumière

→



Questions 3.2.1., 3.2.2., 3.2.4. et 3.3.1. Figure 13 (le schéma n'est pas à l'échelle)

Données :

$F_1$  : foyer du miroir  $M_1$

$F$  et  $F'$  : foyers objet et image de la lentille  $L$

Sens de propagation  
de la lumière

→

