

## EXERCICE I : Trois procédés d'obtention du diiode (9 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'inscrivent 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. On notera le diiode en solution  $I_2(aq)$  de couleur brune.

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

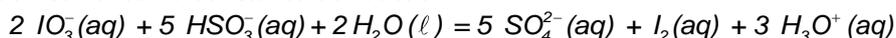
Couples acide/base :  $HI(aq) / I^-(aq)$ ,  $HSO_3^-(aq) / SO_3^{2-}(aq)$ ,  $H_2SO_4(aq) / HSO_4^-(aq)$   
 $HSO_4^-(aq) / SO_4^{2-}(aq)$ ,  $H_2O(l) / HO^-(aq)$ .

Toutes les réactions se font à 25°C. A cette température,  $pK_e = 14$  et le volume molaire sera pris égal à  $V_m = 25 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Remarque** le couple oxydant/réducteur  $H^+(aq)/H_2(g)$  peut également s'écrire  $H_3O^+(aq)/H_2(g)$  ou encore  $H_2O(l)/H_2(g)$

### 1. Première méthode : utilisation des ions iodate

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 de constante de réaction  $K$  :



1.1. La réaction de synthèse du diiode est-elle une réaction acide-base ou d'oxydoréduction ? Justifier en indiquant les demi-équations et les couples correspondants.

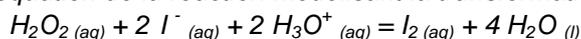
1.2. Le système est considéré à l'équilibre avant qu'on récupère le diiode.

1.2.1 Donner l'expression du quotient de réaction de cette transformation dans cet état en fonction des concentrations des espèces dissoutes puis en fonction de  $K$ .

1.2.2 Indiquer en justifiant si le système reste à l'équilibre ou s'il évolue en indiquant alors le sens d'évolution dans les deux cas où l'on baisse le pH sans variation de volume. Est-ce une bonne initiative pour la production de diiode ?

### 2. Deuxième méthode : action de l'eau oxygénée sur les ions iodure

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  $c_A = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

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

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

#### 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 :  $A = k [I_2]$  avec  $k = 94 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

On mélange  $V_A = 30,0 \text{ mL}$  de la solution  $S_A$  avec  $V_B = 60,0 \text{ mL}$  de la solution  $S_B$ . À l'instant de date  $t = 0 \text{ s}$ , on déclenche le chronomètre et on ajoute  $V_C = 10,0 \text{ mL}$  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 en page 8.**

2.1.1. Compléter le tableau d'évolution du système **DE L'ANNEXE en page 8**. Calculer l'avancement maximal correspondant.

2.1.2. L'état final est atteint à  $t = 1200 \text{ s}$ . A partir notamment de la valeur de l'absorbance  $A_f$  dans cet état déterminée sur la **FIGURE 1 DE L'ANNEXE**, calculer le taux d'avancement final et conclure.

- 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  $V$  du milieu réactionnel 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**.
- 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 cinétique est modifié dans cette expérience par rapport à l'expérience 1 ? Calculer sa nouvelle valeur au début de cette nouvelle expérience.
- 2.2.2. Le réactif limitant a-t-il changé ? Justifier.
- 2.2.3. On souhaite déterminer la valeur de  $A$  attendue grâce à un titrage du diode apparu à la date  $t = 400$ s. Pour cela, on stoppe la réaction lente entre  $H_2O_2$  (aq) et  $I^-$  (aq) ; on prélève à cette date un volume  $V_p = 10,0$ mL du milieu réactionnel que l'on dose avec une solution contenant des ions thiosulfate  $S_2O_3^{2-}$  (aq) de concentration  $c_{\text{titrant}} = 5,00 \cdot 10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup>. La réaction support de titrage et le tableau à l'équivalence sont donnés ci-dessous,  $V_E$  désignant le volume équivalent :

	$I_2$ (aq)	+	$2 S_2O_3^{2-}$ (aq)	=	$2 I^-$ (aq)	+	$S_4O_6^{2-}$ (aq)
EI de l'équivalence	$n_1$		$n_2 = c_{\text{titrant}} V_E$		$n_3$		$n_4$
EF de l'équivalence	$n_1 - x_{fE}$		$n_2 - 2 x_{fE}$		$n_3 + 2 x_{fE}$		$n_4 + x_{fE}$

- 2.2.3.a Rappeler la définition de l'équivalence d'un titrage.
- 2.2.3.b En déduire une relation liant  $V_p$ ,  $V_E$ ,  $c_{\text{titrant}}$  et  $[I_2](t = 400 \text{ s})$ , valeur de la concentration en diode du milieu réactionnel lors du prélèvement.
- 2.2.3.c En déduire l'expression puis la valeur de  $A$  à cette même date sachant que  $V_E = 31,9$  mL. Placer le point correspondant sur le graphique donné **FIGURE 1 DE L'ANNEXE**. Est-ce cohérent avec les conditions de cette deuxième expérience ? Justifier.

## 3. Troisième méthode : 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'iode d'hydrogène ( $HI$ ) dont les propriétés sont très proches de celles du chlorure d'hydrogène.

### 3.1 Préparation de la solution aqueuse d'iodure d'hydrogène

Dans un laboratoire, on a fabriqué un volume  $V_{\text{sol}} = 1,00$  L 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.

- 3.1.1 Donner l'équation de la réaction acido-basique correspondante.
- 3.1.2 Quel est le pH de la solution ainsi obtenue ? La solution est-elle basique, neutre ou acide ? Justifier.

### 3.2 Electrolyse de la solution d'iodure d'hydrogène

Les concentrations molaires volumiques des ions iodure et oxonium dans la solution  $S_1$  ainsi fabriquée sont  $[H_3O^+]_{(aq)} = [I^-]_{(aq)} = 5,0 \times 10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup>. On utilise la solution  $S_1$  pour faire une électrolyse.

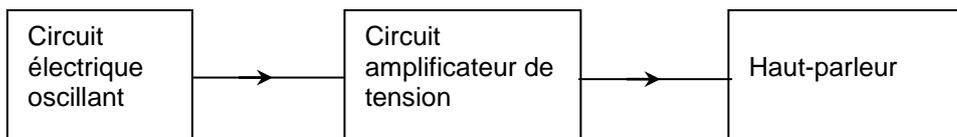
Dans un bécher, on verse 100,0 mL de solution  $S_1$ , puis on plonge deux électrodes inattaquables reliées à un générateur de tension constante.

Donnée supplémentaire : Quantité d'électricité transportée par une mole d'électrons : 1 faraday = 1 F =  $9,65 \times 10^4$  C.mol<sup>-1</sup>

- 3.2.1. Compléter le schéma donné en **FIGURE 2 DE L'ANNEXE en page 8**, en indiquant le sens de déplacement des différents porteurs de charges.
- 3.2.2. Préciser la nature des électrodes sur la **FIGURE 2 DE L'ANNEXE** et écrire les équations électrochimiques modélisant les transformations susceptibles de se produire à chacune d'elles en sens direct.
- 3.2.3. Sachant qu'il n'y a pas de dégagement gazeux à l'anode, donner la nature des produits obtenus à chaque électrode et l'équation chimique de l'électrolyse.
- 3.2.4. On fait circuler un courant d'intensité constante  $I_G = 0,25$  A pendant une durée  $\Delta t = 30$  minutes dans l'électrolyseur.
- 3.2.4.a Calculer la quantité de matière d'électrons correspondante qui a circulé pendant cette durée.
- 3.2.4.b En déduire le volume de gaz recueilli à la cathode. L'utilisation d'un tableau d'avancement est laissée au choix du candidat.

## Exercice II : Production d'une onde sonore (6 points)

Pour produire une onde sonore périodique sinusoïdale de fréquence  $f$ , on réalise au laboratoire une chaîne constituée d'un circuit électrique oscillant, d'un amplificateur de tension et d'un haut-parleur.



**Cet exercice comporte deux parties indépendantes.**

La première partie est consacrée à l'étude du circuit électrique oscillant.

La deuxième partie est consacrée à une mesure expérimentale de la vitesse du son émis par le haut-parleur.

### 1. Etude du circuit électrique oscillant

La figure 1 représente le schéma du circuit constitué :

d'une bobine d'inductance  $L = 0,50H$  et de résistance  $r = 12 \Omega$ ,

d'un condensateur de capacité  $C = 1,0 \mu F$ ,

d'un dispositif schématisé par le dipôle  $D$  qui entretient les oscillations électriques.

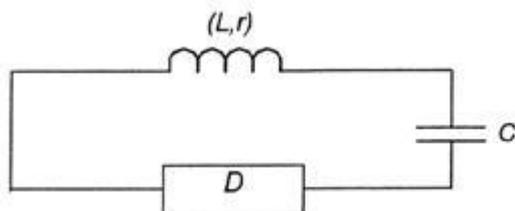
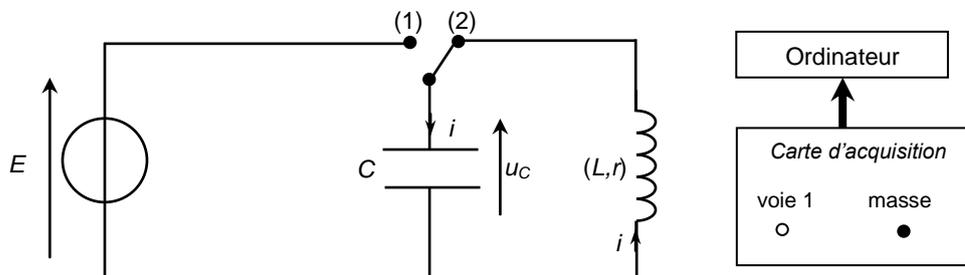


Figure 1

#### 1.1. Obtention des oscillations électriques

Pour obtenir des oscillations électriques de fréquence  $f$  donnée, on réalise dans un premier temps, avec les composants précédents sans le dipôle  $D$ , le montage du circuit schématisé ci-dessous :

Figure 2



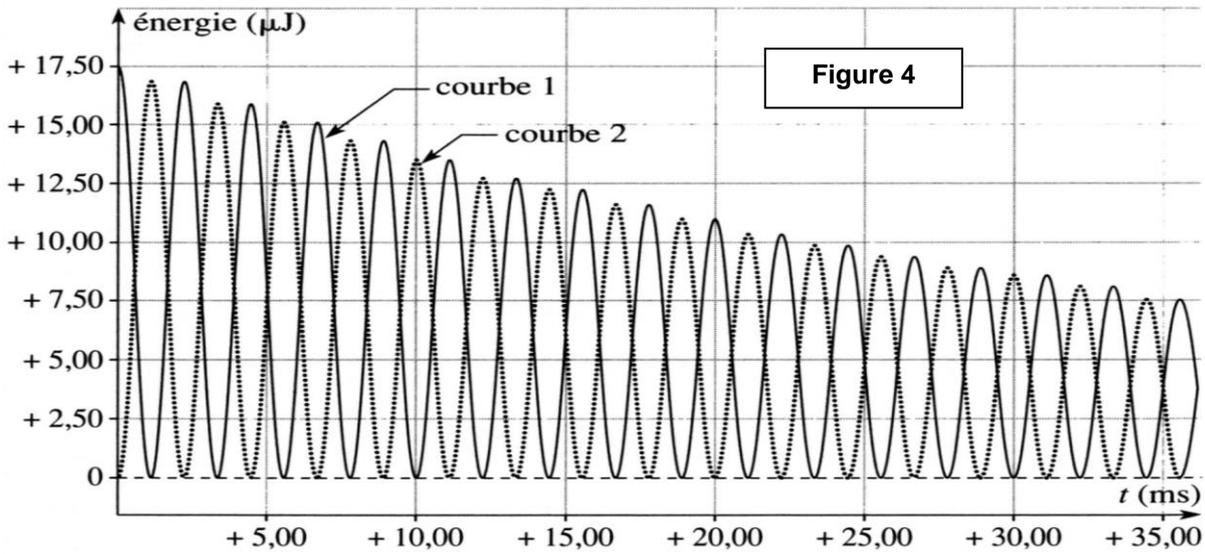
Quand l'interrupteur est en position 1, le condensateur se charge sous la tension constante  $E$ . À la date  $t = 0$ , on commute l'interrupteur en position 2 comme représenté sur la figure 2.

On obtient la courbe  $u_C = f(t)$  ; voir figure 3 sur l'annexe en page 9 :

- 1.1.1. On veut visualiser à l'ordinateur la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur ; représenter sur la **FIGURE 2 DE L'ANNEXE en page 9**, les connexions de la voie 1 et de la masse de la carte d'acquisition.
- 1.1.2. Pourquoi qualifie-t-on le régime de la tension  $u_C$  de pseudo-périodique ?
- 1.1.3. Déterminer graphiquement la pseudo-période  $T$  des oscillations obtenues sur la **FIGURE 3**. Les tracés nécessaires devront figurer sur la figure 3 de l'annexe.  
En déduire la valeur de la fréquence  $f$  de ces oscillations.
- 1.1.4. Dans cette expérience, on compare la pseudo-période  $T$  à la période propre  $T_0$  du dipôle LC étudié.
  - 1.1.4.a. Rappeler l'expression de  $T_0$  et calculer sa valeur.
  - 1.1.4.b. Comparer  $T_0$  à  $T$ .

#### 1.2. Bilan énergétique et rôle du dipôle $D$

À l'aide d'un tableur, on trace l'évolution temporelle des énergies emmagasinées dans le condensateur et dans la bobine, notées  $E_C$  et  $E_L$ . Les courbes sont représentées sur la figure 4 ci-après.



- 1.2.1. Donner l'expression de  $E_C$  en fonction de  $u_C$ .
- 1.2.2. Donner l'expression de  $E_L$  en fonction de l'intensité  $i$  du courant dans le circuit.
- 1.2.3. En vous aidant des conditions initiales, identifier sur la courbe de la figure 4 les courbes  $E_C$  et  $E_L$ . Justifier.
- 1.2.4. Déterminer la valeur de la tension  $E$  aux bornes du générateur en utilisant la figure 4.
- 1.2.5. L'énergie totale  $E_T$  emmagasinée dans le circuit à un instant représente la somme des énergies  $E_C$  et  $E_L$ . Comment évolue-t-elle au cours du temps? Quelle est la cause de cette perte d'énergie ?
- 1.2.6. On s'intéresse au circuit électrique oscillant schématisé figure 1.
  - 1.2.6.a. Expliquer d'un point de vue énergétique, le rôle du dipôle D.
  - 1.2.6.b. Comment évolue alors la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur ?

## 2. Mesure de la vitesse du son émis par le haut-parleur.

Le signal électrique obtenu avec le circuit oscillant précédent est amplifié puis transformé en onde sonore par le haut-parleur.

Pour mesurer la vitesse du son émis par le haut-parleur à la température de la salle, on réalise l'expérience schématisée sur la figure 5 ci-dessous.

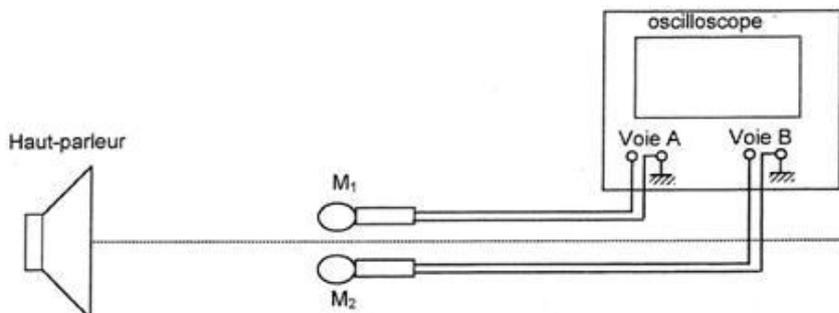


Figure 5

On place côte à côte face au haut-parleur, deux microphones  $M_1$  et  $M_2$  branchés sur les voies A et B d'un oscilloscope.

Les courbes observées sur l'écran de l'oscilloscope sont représentées sur la figure 6 ci-dessous.

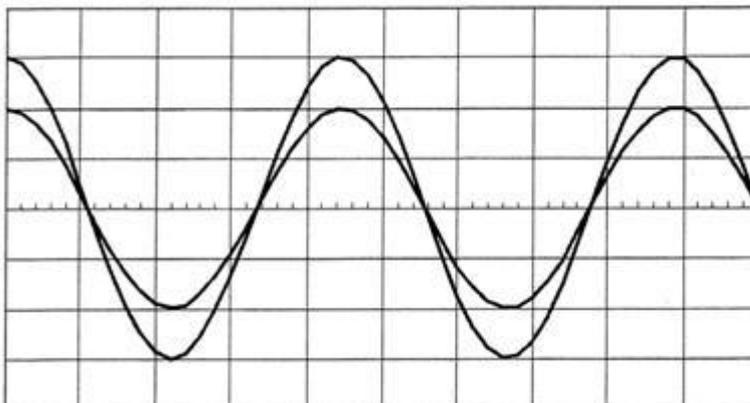


Figure 6

*Les deux voies de l'oscilloscope ne sont pas réglées sur la même sensibilité verticale.*

- 2.1.** Définir une onde mécanique progressive. Une onde sonore est-elle une onde mécanique progressive? Justifier.
- 2.2.** Cette onde sonore est dite longitudinale. Définir une onde longitudinale.
- 2.3.** *Les courbes observées sur l'écran de l'oscilloscope sont en phase. On laisse le microphone  $M_1$  en place et on déplace lentement et parallèlement à l'axe du haut-parleur le microphone  $M_2$  jusqu'à obtenir à nouveau les deux courbes en phase. La distance qui sépare les deux microphones dans cette nouvelle position est  $d = 1,50\text{m}$ .*
  - 2.3.1.** Définir la longueur d'onde d'une onde périodique.
  - 2.3.2.** Que représente alors la distance  $d$  dans cette expérience ?
  - 2.3.3.** Comment peut-on voir que les deux courbes de la figure 6 sont en phase ?
  - 2.3.4.** Déterminer la période  $T$  de l'onde sonore sachant que la base de temps de l'oscilloscope est réglée sur  $1\text{ ms/div}$ .
  - 2.3.5.** En déduire la fréquence  $f$  de l'onde sonore émise par le haut-parleur ; puis calculer la vitesse de propagation  $v$  du son dans l'air.
- 2.4.** *Le dispositif est placé à l'intérieur d'une cuve contenant de l'hélium gazeux dans lequel la célérité du son est  $v' = 1,0 \cdot 10^3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dans les conditions de l'expérience. Aucun réglage n'est modifié.*
  - 2.4.1.** La fréquence du son émis est-elle changée ? Si oui, quelle est sa nouvelle valeur  $f'$  ?
  - 2.4.2.** La longueur d'onde est-elle changée ? Si oui, quelle est sa nouvelle valeur notée  $\lambda'$  ?
  - 2.4.3.** Quelle est la durée  $t_1$  nécessaire au son pour se propager sur la distance  $d = 1,50\text{ m}$  ?
  - 2.4.4.** Comparer cette durée à la période  $T$  de l'onde sonore en calculant le rapport  $t_1 / T$ . Peut-on encore observer 2 courbes en phase, comme sur la figure 6 ?

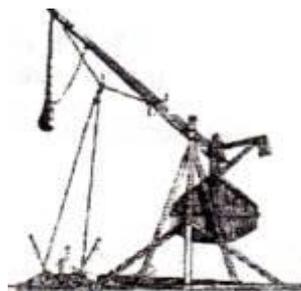
## Exercice III : Le trébuchet (5 points)

Le trébuchet est une machine de guerre utilisée au Moyen Âge au cours des sièges de châteaux forts. Le projectile pouvait faire des brèches dans les murailles des châteaux forts situés à plus de 200 m du trébuchet. Son principe de fonctionnement est le suivant :

Un contrepoids relié à un levier est maintenu à une certaine hauteur par des cordages. Il est brusquement libéré. Au cours de sa chute, il agit sur un levier au bout duquel se trouve une poche en cuir dans laquelle est placé le projectile.

Lors de sa libération, le projectile de la poche se trouve à une hauteur  $H = 10 \text{ m}$  et est projeté avec une vitesse  $\vec{v}_0$  faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale (voir la **figure 1**) et de valeur  $v_0$

Les mouvements du contrepoids et du projectile s'effectuent dans un champ de pesanteur uniforme.



### Données :

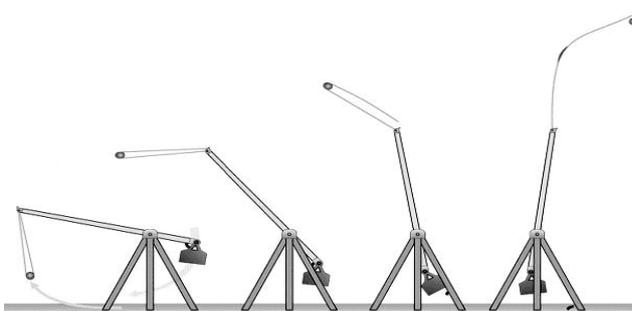
Masse du projectile  $m = 130 \text{ kg}$ .

Intensité du champ de pesanteur  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .

Masse volumique de l'air  $\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Volume du projectile  $V = 50 \text{ L}$

Hauteur du projectile au moment du lancer :  $H = 10 \text{ m}$ .



Étude du mouvement du projectile après libération :

Le système étudié est le projectile. Les frottements de l'air sur le projectile seront négligés dans cette étude. Le champ de pesanteur  $\vec{g}$  est parallèle à l'axe Oz. La situation est représentée sur la **figure 1** avec  $\vec{u}_x$  et  $\vec{u}_z$  les vecteurs unitaires des axes (Ox) et (Oz).

1. Donner les expressions du poids  $\vec{P}$  et de la poussée d'Archimède  $\vec{P}_A$  qui s'exercent sur le projectile.
2. Est-il judicieux de négliger par la suite la poussée d'Archimède ?
3. En appliquant la 2<sup>nde</sup> loi de Newton dans le cadre de la chute libre, déterminer les coordonnées  $a_x$  et  $a_z$  du vecteur accélération du centre d'inertie du projectile dans le repère indiqué.
4. Donner l'expression des coordonnées du vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$ , notées  $v_{0x}$  et  $v_{0z}$ , en fonction de  $v_0$  et  $\alpha$ .
5. On appelle  $v_x(t)$  la composante horizontale du vecteur vitesse  $\vec{v}$  du centre d'inertie du projectile dans le repère indiqué et  $v_z(t)$  sa composante verticale.

Déterminer les expressions de  $v_x(t)$  et  $v_z(t)$  au cours du mouvement.

6. Déterminer l'expression des équations horaires du mouvement du projectile :  $x(t)$  et  $z(t)$ .
7. Déterminer l'équation de la trajectoire du projectile.
8. Quelle est la nature de la trajectoire du projectile ? Représenter qualitativement l'allure de la trajectoire sur la **figure 1**.
9. **Étude d'un cas particulier**
  - 9.1. Dans le cas où le projectile est lancé avec une vitesse initiale horizontale, donner l'expression littérale de l'abscisse de son point de chute.
  - 9.2. Avec quelle vitesse initiale  $v_0$  horizontale, le projectile doit-il être lancé pour atteindre la base du mur du château situé à une distance  $x = 100 \text{ m}$  ?



# ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

## Exercice I

COLLE

NOM :  
**Prénom :**

Classe :

COLLE

### Question 2.1.2. Première expérience

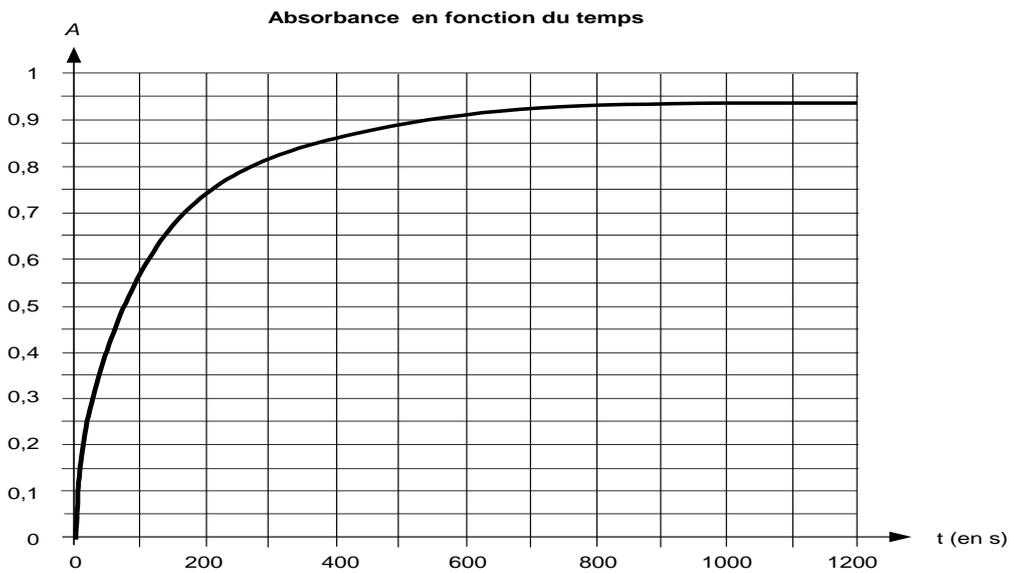


FIGURE 1

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

Equation		$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{I}^-_{(\text{aq})} + 2 \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} = \text{I}_{2(\text{aq})} + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$				
Etat du système	avancement en mol	Quantités de matières en mol				
initial	$x = 0$					
intermédiaire	$x$					
final réel	$x_f$					
final si réaction totale	$x_{max}$					

### Question 3.1. Schéma de l'électrolyse

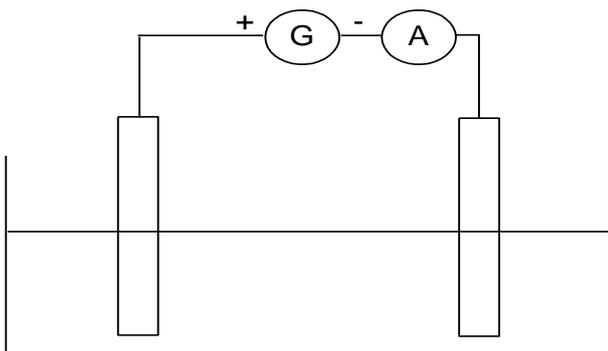


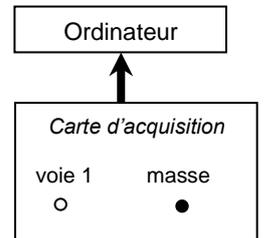
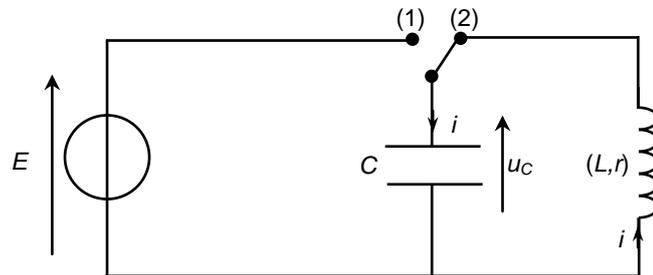
FIGURE 2

# ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

## Exercice II

### Question 1.1.

Figure 2



### Question 1.3.

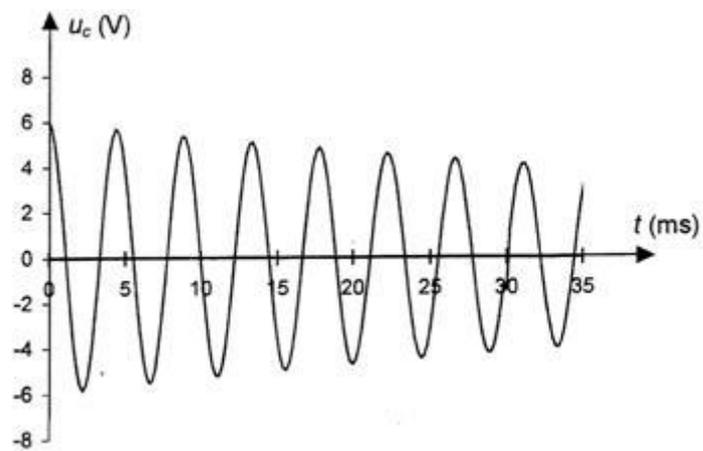


Figure 3

## Exercice III

