BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE - CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 h 30 – Coefficient : 6

L'usage de la calculatrice électronique est autorisé

Ce sujet nécessite une feuille de papier millimétré.

OBLIGATOIRE

Ce sujet comporte un exercice de **CHIMIE** et deux exercices de **PHYSIQUE** présentés sur 8 pages numérotées de 1 à 8, y compris celle-ci.

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

I – Quelques propriétés des solutions de nitrate d'argent et d'ammoniac

II – Etude d'un « super condensateur »

III – Oscillateur mécanique horizontal

L'exercice II comporte un enregistrement sur la page 8/8 à rendre avec la copie

La feuille de papier millimétré, utile pour l'exercice III, est à rendre avec la copie.

On attachera une attention particulière à l'expression correcte des résultats numériques er fonction du nombre de chiffres significatifs des données de l'énoncé.

EXERCICE I : Quelques propriétés des solutions de nitrate d'argent et d'ammoniac : (7 points)

L'exercice est consacré à quelques propriétés et utilisations des solutions aqueuses de nitrate d'argent.

Données et rappels :

- Produit ionique de l'eau à 25 °C : $K_e = 1{,}00 \times 10^{-14}$
- Pour le couple ion ammonium/ammoniac, à 25 °C, $pK_A = 9{,}24$
- Constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction d'oxydo-réduction entre le cuivre et les ions argent (I) : $K = 2{,}15 \times 10^{15}$.
- Conductimétrie :
  On rappelle que la conductivité σ d'une solution est fonction des concentrations effectives des espèces ioniques X_i en solution et des conductivités molaires ioniques λ_i de ces espèces :
  $$\sigma = \Sigma_i \ \lambda_i \ [\ X_i\ ]$$
  On donne quelques valeurs :

Conductivités molaires ioniques des ions à 25 °C, en $mS.m^2.mol^{-1}$		
Ion ammonium	Ion hydroxyde	Ion oxonium
$NH_4^+{}_{(aq)}$	$HO^-{}_{(aq)}$	$H_3O^+{}_{(aq)}$
7,4	19,8	35,0

- Masses molaires atomiques : $M(Ag) = 108\ g.mol^{-1}$; $M(Cu) = 63{,}6\ g.mol^{-1}$.
- Valeur de la constante de Faraday : $N_A.e = 9{,}65 \times 10^4\ C.mol^{-1}$. ($N_A$ est la constante d'Avogadro et e la charge élémentaire).

I.1.- Constante d'acidité du couple ion ammonium/ammoniac ($NH_4^+{}_{(aq)}/NH_{3(aq)}$)

On dissout du gaz ammoniac dans de l'eau : on obtient une solution (S).

I.1.1 - Écrire l'équation de la réaction de l'ammoniac sur l'eau.

I.1.2 - Expliquer pourquoi la solution (S) est une solution basique.

I.1.3 - Donner l'expression de la conductivité d'une solution d'ammoniac en fonction des conductivités molaires ioniques des espèces en solution et de leurs concentrations molaires volumiques. On néglige l'influence des ions oxonium sur la conductivité.

I.1.4 - La conductivité d'une solution d'ammoniac de concentration $1{,}00 \times 10^{-2}\ mol.L^{-1}$ vaut 10,9 $mS.m^{-1}$ à 25 °C. Déterminer la concentration molaire effective des ions ammonium et des ions hydroxyde dans la solution (attention à l'unité de volume !).

I.1.5 - Calculer la concentration molaire effective des ions oxonium et des molécules d'ammoniac NH_3.

I.1.6 - Écrire l'expression de la constante d'acidité du couple ion ammonium/ammoniac. Calculer sa valeur numérique puis celle du pK_A. Cette dernière valeur est-elle compatible avec celle donnée au début de l'exercice ?

I.2.- Nitrate d'argent et cuivre.

I.2.1 - Arbre de Diane

On plonge un gros fil de cuivre dans un erlenmeyer contenant une solution de nitrate d'argent (I) $Ag^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$. Progressivement :
- la solution devient bleue, à cause de la formation d'ions cuivre (II) ;
- des filaments d'argent se forment sur le fil de cuivre.

I.2.1.a - Écrire les demi-équations associées aux réactions d'oxydation et de réduction qui se sont produites, en précisant laquelle est une oxydation et laquelle est une réduction.

I.2.1.b - En déduire l'équation de la réaction d'oxydoréduction entre le cuivre et les ions argent(I).

I.2.2 - Pile cuivre-argent

On considère une pile avec le matériel suivant :
- un bécher contenant 20,0 mL de solution de sulfate de cuivre (II) ($Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$) de concentration molaire volumique 1,50 $mol.L^{-1}$;
- un bécher contenant 20,0 mL de solution de nitrate d'argent (I) de concentration molaire volumique $2,64.10^{-8}$ $mol.L^{-1}$;
- un pont salin constitué d'un gel de nitrate d'ammonium ($NH_4^+{}_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$) ;
- une plaque de cuivre rectangulaire de masse 22,0 g ;
- une plaque d'argent rectangulaire de masse 5,5 g .

Les plaques plongent dans les solutions sur la moitié de leur hauteur.

I.2.2.a - Faire un schéma légendé de cette pile puis calculer le quotient de réaction dans l'état initial du système constitué par la pile. En comparant la valeur obtenue à la constante d'équilibre associée à la réaction entre le cuivre et les ions argent, expliquer pourquoi cette pile ne peut pas débiter de courant.

I.2.2.b - La pile est branchée aux bornes d'un générateur, la plaque d'argent étant reliée à la borne positive, et la plaque de cuivre à la borne négative.

1. Représenter le circuit électrique comprenant la pile et le générateur. Préciser le sens du courant.
2. Indiquer quels sont les porteurs de charge à l'intérieur et à l'extérieur de la pile, en précisant le sens de leur déplacement.

I.2.2.c - Justifier, à partir du sens de circulation des électrons, l'équation de la réaction qui modélise la transformation qui se produit dans la pile.

I.2.2.d - Établir le tableau descriptif de l'évolution du système :

1. état initial : on pose [$Ag^+_{(aq)}$]= 2,64.10^{-8} mol.L^{-1} ≈ 0. On admet que le nombre de moles initial d'ions argent est pratiquement nul : $n_i(Ag^+_{(aq)})$ = 0. Donner le détail du calcul des autres quantités de matière) ;
2. état pour un avancement *x* quelconque.

I.2.2.e - Calculer l'avancement de la réaction, après passage pendant une heure d'un courant d'intensité constante I = 150 mA.

I.2.2.f - En déduire la concentration des ions $Ag^+_{(aq)}$ et $Cu^{2+}_{(aq)}$ après passage du courant.

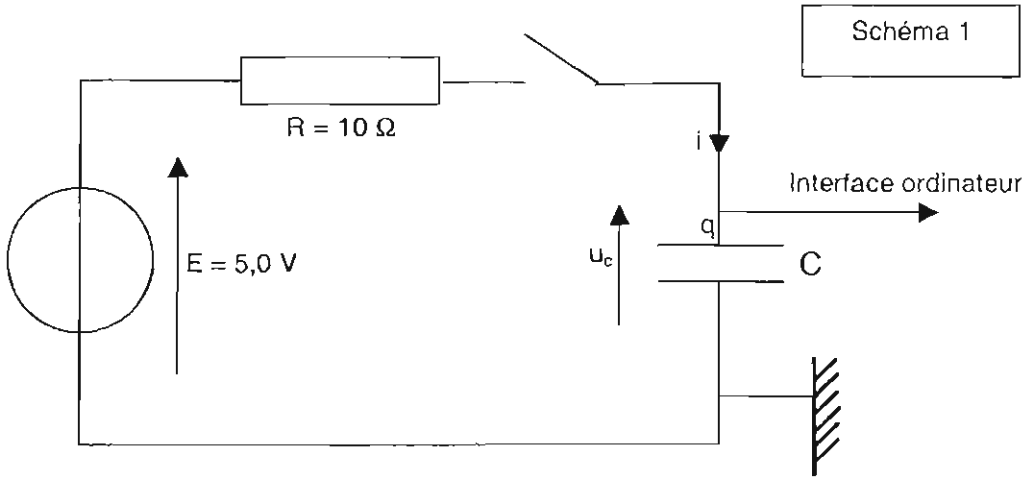
EXERCICE II. Etude d'un « super condensateur » (5 points)

Le but de cet exercice est d'étudier les composants nommés Ultra Caps et en français « super condensateurs » : il s'agit de condensateurs à très forte capacité. Les condensateurs usuels ont en effet une capacité qui se chiffre en micro ou millifarads. Les « super condensateurs » ont une capacité qui peut dépasser le millier de farads ! Il s'agit en fait de composants intermédiaires entre des condensateurs et des accumulateurs électrochimiques.

La firme Bombardier (notamment fabricant de tramways), associée à MVV Verkehr AG de Mannheim, a développé le projet Mitrac Energy Saver : il s'agit d'équiper un tramway de « super condensateurs ». Ceux-ci, logés dans le toit du véhicule, sont capables d'emmagasiner une énergie importante, largement récupérée lors des freinages. Ces « super condensateurs » ne sont donc pas qu'une simple curiosité de laboratoire.

II.1.- Charge du condensateur à l'aide d'une source de tension constante.

On dispose d'un condensateur sur lequel le fabricant a indiqué « 1F ». Pour vérifier la valeur de la capacité, on réalise le circuit suivant :



L'ensemble RC est attaqué par un générateur de tension E = 5,0 V.
Le sens positif du courant et les tensions sont indiqués sur le schéma.
On relie le condensateur à une interface de saisie de données.

A l'instant t = 0, on ferme l'interrupteur et on relève la tension aux bornes du condensateur. On obtient la courbe reproduite en annexe : enregistrement 1.

II.1.a - En utilisant la loi d'additivité des tensions, établir la relation qui existe entre $u_C(t)$ et sa dérivée par rapport au temps (équation différentielle vérifiée par u_C).

II.1.b - Vérifier que $u_C(t) = E(1 - e^{-t/\tau})$ est solution de l'équation différentielle précédente et vérifie la condition initiale : $u_C = 0$ à $t = 0$.

Déterminer l'expression de τ en fonction des caractéristiques du circuit.

II.1.c – A partir de l'enregistrement et par une méthode de votre choix (à détailler), déterminer la valeur de la capacité C du condensateur étudié (enregistrement 1 : utiliser la page 10/10 qui est à rendre avec la copie). Comparer avec la valeur donnée par le fabricant.

II.2.- Restitution de l'énergie et décharge à courant constant.

Pour la suite de l'exercice, nous admettrons que la valeur de C est C = 1,0 F.

Le condensateur est incorporé au montage suivant (schéma 2) :

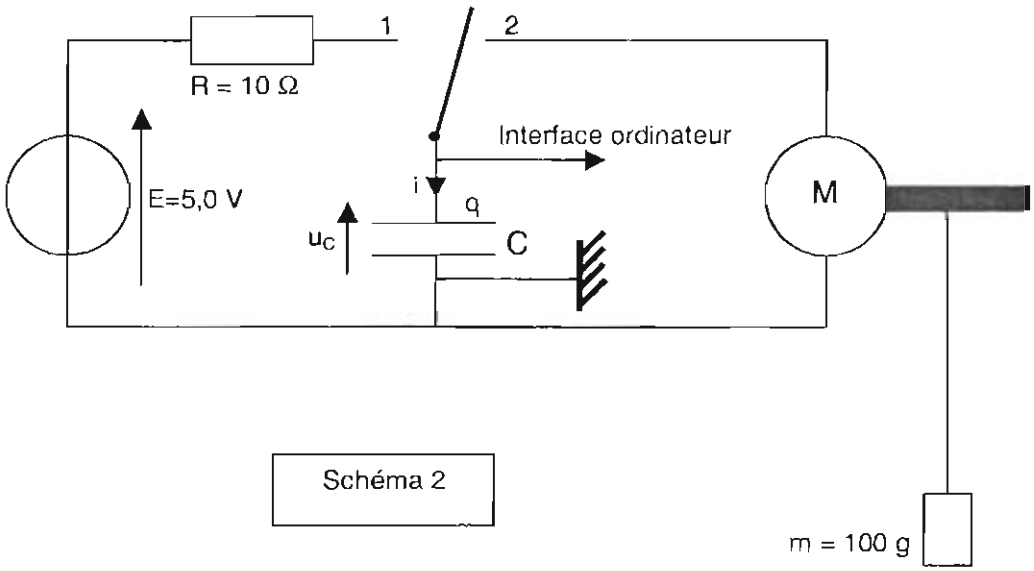


Schéma 2

Le schéma précise le sens positif du courant, la définition des tensions E et u_c et l'armature du condensateur portant la charge q(t).

M est un moteur sur l'axe duquel est enroulée une ficelle soutenant à son extrémité une masse marquée de valeur m = 100 g.

II.2.a – A l'instant t = 0 pris comme nouvelle origine du temps, on bascule l'interrupteur en voie 2.

Le condensateur se décharge et le moteur se met en mouvement entraînant la charge m = 100 g. Celle-ci monte d'une hauteur h = 3,10 m en 18 s.

Les valeurs enregistrées par le logiciel sont les suivantes :

t = 0 (démarrage du moteur) , $u_c(0) = 4,9$ V ; t = 18 s (arrêt du moteur), $u_c(18) = 1,5$ V.

L'enregistrement de $u_C(t)$ par le logiciel donne une courbe qui peut être assimilée à une droite représentée par : $u_C(t) = at + b$, avec $a < 0$, et $b > 0$.

Calculer les valeurs numériques des constantes a et b.

II.2.b – Déterminer l'expression de la charge instantanée q(t) du condensateur en fonction du temps. En déduire la valeur de l'intensité du courant i. Que pensez-vous du signe de i ?

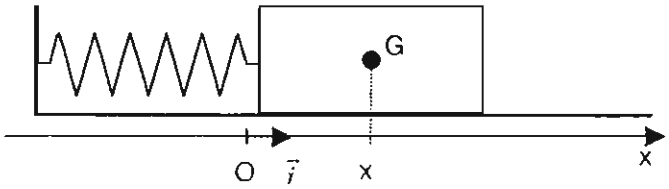
II.2.c – Calculer successivement :

- l'énergie stockée dans le condensateur à t = 0
- l'énergie restant à t = 18 s
- l'énergie cédée par le condensateur
- l'énergie mécanique (potentielle) reçue par la masse marquée, on prendra $g = 9{,}8\ m.s^{-2}$
- le rendement du dispositif (en pourcentage).

EXERCICE III. OSCILLATEUR MÉCANIQUE HORIZONTAL (4 points)

Un pendule élastique est constitué d'un mobile de masse *m = 80 g* pouvant se déplacer sur un banc à coussin d'air horizontal. Ce mobile est attaché à un point fixe par un ressort de masse négligeable à spires non jointives, de raideur *k*. La position du mobile est repérée par l'abscisse x sur l'axe (O, $\vec{i}$). A l'équilibre, la position du centre d'inertie *G* coïncide avec le point *O*, origine des abscisses.

Schéma 3



III.1 Etude de l'oscillateur parfait (non amorti)

Dans cette partie, on considère que le mobile n'est soumis à aucune force de frottement.

III.1.a – Indiquer l'expression vectorielle de la force $\vec{F}$ de rappel du ressort en fonction de l'abscisse *x* du centre d'inertie du mobile et de $\vec{i}$ vecteur unitaire.

III.1.b – Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le mobile. Reproduire le schéma ci-dessus et représenter ces forces.

III.1.c – A l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'équation différentielle du mouvement (relation entre l'abscisse x(t) et ses dérivées par rapport au temps).

III.1.d – Un dispositif d'enregistrement de la position *x* du mobile permet de mesurer la valeur T_0 de la période du mouvement : $T_0 = 0{,}20$ s. Quelle est la valeur numérique de la raideur k du ressort sachant que $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$?

III.2 - Etude de l'oscillateur avec amortissement

Le dispositif est modifié et les frottements deviennent plus importants. L'équation différentielle du mouvement a maintenant l'expression suivante : $a + \alpha.v + \beta.x = 0$

$a = \frac{d^2x}{dt^2}$ est l'accélération de G, $v = \frac{dx}{dt}$ sa vitesse.

III.2. a - A l'aide de l'analyse dimensionnelle, déterminer les unités de α et β dans le système international (S.I.).
On a pu déterminer que $\alpha = 60$ S.I. et $\beta = 1{,}00.10^3$ S.I.

III.2. b - La méthode numérique itérative d'Euler permet de résoudre cette équation différentielle. Un extrait de feuille de calcul pour cette résolution est représenté ci-après :

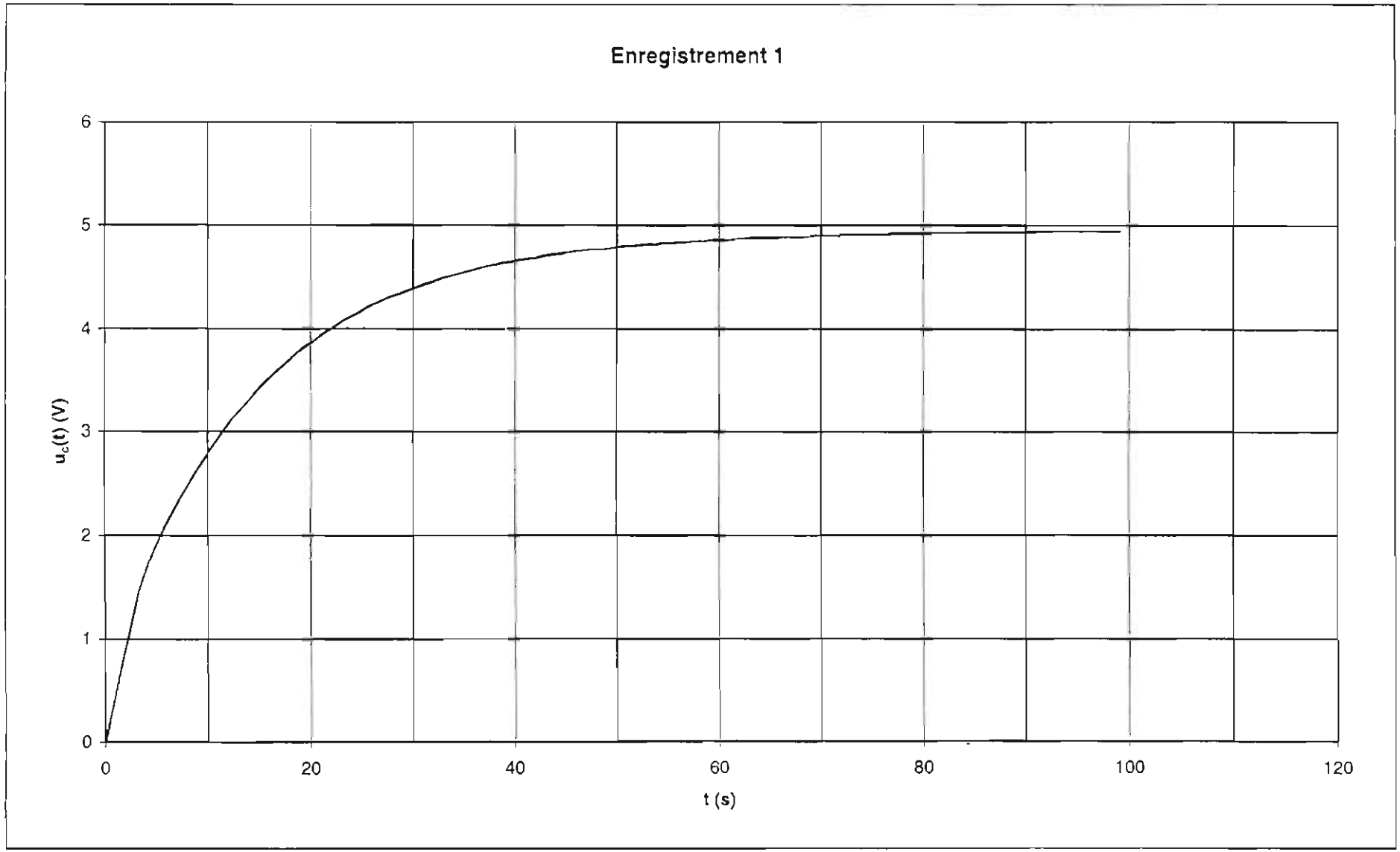
Indice t, a, v, x	*Instant t (s)*	*Accélération* a *(m.s^{-2})*	*Vitesse* v *(m.s^{-1})*	*Abscisse x (m)*
0	*0,00*	*-30,0*	*0,00*	*0,030*
1	*0,01*	*-9,0*	*-0,30*	*0,027*
2	*0,02*	*0,3*	*-0,39*	*0,023*
3	*0,03*	*4,0*	*-0,39*	*0,019*
4	*0,04*	*5,1*	*-0,35*	*0,016*
5	*0,05*	*5,0*	*-0,30*	*0,013*
6	*0,06*	*4,5*	*-0,25*	*0,010*
7	*0,07*	a_7	*-0,20*	*0,008*
8	*0,08*		v_8	x_8

Calculer la valeur numérique de l'accélération a_7 à l'instant $t_7 = 0{,}07$ *s* à l'aide de l'équation différentielle.

III.2. c - Calculer les valeurs de la vitesse v_8 et de l'abscisse x_8 à l'instant $t_8 = 0{,}08$ *s* en utilisant la méthode d'Euler.

III.2. d - Tracer la courbe donnant l'abscisse *x* en fonction du temps sur le papier millimétré à rendre avec la copie.
Echelles : 1 cm pour t = 0,01 s et 1 cm pour x = 0,002 m.

III.2. e - Quels sont les noms des deux régimes possibles d'un oscillateur ?
La courbe précédente permet-elle d'affirmer dans quel régime se trouve l'oscillateur étudié ?


Enregistrement 1
6
5
4
3
2
1
0
$u_c(t)$ (V)
0
20
40
60
80
100
120
t (s)

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE - CHIMIE

Série S

ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 6

L'usage des calculatrices EST autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci et les annexes.

Les pages 11/12 et 12/12 sont à rendre agrafées dans la copie.

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

Exercice 1 : Détermination de la teneur en élément azote d'un engrais (6,5 points)
Exercice 2 : Comment déterminer le relief du fond marin avec un sondeur (5,5 points)
Exercice 3 : Détermination de la concentration en dioxyde de soufre de l'air d'une grande agglomération (4 points)

Exercice 1 : Détermination de la teneur en élément azote d'un engrais (6,5 points)

L'ammonitrate est un engrais azoté solide, bon marché, très utilisé dans l'agriculture. Il est vendu par sac de 500 kg et contient du nitrate d'ammonium ($NH_4NO_{3\,(s)}$). Sur le sac, on peut lire *« pourcentage en masse de l'élément azote N 34,4% »*.
Afin de vérifier l'indication du fabricant, on dose les ions ammonium NH_4^+ présents dans l'engrais à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$).

Données :

Couples acide/base : $NH_4^+{}_{(aq)} / NH_{3(aq)}$

$H_2O_{(l)} / HO^-_{(aq)}$

Produit ionique de l'eau : $K_e = 1{,}0\times10^{-14}$ *dans les conditions de l'expérience.*

Masse molaire en g.mol^{-1} : Azote N : 14 ; Oxygène O : 16 ; Hydrogène H : 1

Le nitrate d'ammonium est très soluble dans l'eau, sa dissolution dans l'eau est totale selon la réaction :

$$NH_4NO_{3\,(s)} = NH_4^+{}_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$$

1. Étude de la réaction de titrage

L'équation support du titrage est :

$$\mathbf{NH_4^+{}_{(aq)} + HO^-_{(aq)} = NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}}$$

1.1 L'ion ammonium $NH_4^+{}_{(aq)}$ est-il un acide ou une base selon Brönsted ? Justifier la réponse.

1.2 On introduit dans un bécher un volume v = 20,0 mL d'une solution contenant des ions ammonium à la concentration molaire apportée C = 0,15 mol.L^{-1} et un volume v_1 = 10,0 mL de solution d'hydroxyde de sodium à la concentration molaire apportée C_1 = 0,15 mol.L^{-1} . Le pH de la solution obtenue est 9,2.

1.2.1 Compléter, sans valeur numérique, le tableau d'avancement se trouvant **en annexe, page 11, à rendre avec la copie.**

1.2.2 Calculer les quantités de matière des réactifs initialement introduites dans le bécher.

1.2.3 À partir de la mesure du pH, déterminer la quantité en ions hydroxyde à l'état final. Montrer que l'avancement final de la réaction x_f vaut $1{,}5\times10^{-3}$ mol.

1.2.4 Calculer la valeur de l'avancement maximal de la réaction x_{max}.

1.2.5 Que peut-on dire de la transformation ?

2. Titrage pH-métrique

Une solution d'engrais S est obtenue en dissolvant m = 6,0 g d'engrais dans une fiole jaugée de volume V = 250 mL. On prépare ensuite les deux béchers B_1 et B_2 suivants :

Bécher	***B_1***	***B_2***
Volume de S (mL)	*10*	*10*
Volume d'eau déminéralisée (mL)	*0*	*290*
Volume total de la solution (mL)	*10*	*300*

Les solutions contenues dans ces béchers sont titrées par une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)}$ + $HO^-_{(aq)}$) à la concentration molaire apportée C_B = 0,20 mol.L^{-1}. On obtient les courbes pH = f(V_B) se trouvant ***en annexe à rendre avec la copie****.*

2.1 Schématiser et légender le montage permettant de réaliser un titrage pH-métrique.

2.2. Détermination du point équivalent.

2.2.1 Parmi les deux courbes se trouvant en annexe, quelle est celle qui permet de déterminer les coordonnées du point d'équivalence avec le plus de précision ? Justifier le choix de la courbe.

2.2.2 Déterminer graphiquement les coordonnées du point équivalent sur la courbe choisie.

2.2.3 L'ajout d'eau déminéralisée a-t-il une influence sur le volume versé à l'équivalence ? Expliquer.

2.3 Quelle autre méthode, plus précise, peut-on utiliser pour déterminer le point d'équivalence ?

3. Détermination du pourcentage massique en élément azote dans l'engrais.

3.1 Définir l'équivalence d'un dosage.

3.2 Quelles sont les espèces chimiques présentes dans le mélange réactionnel à l'équivalence ? Justifier le pH basique de la solution en ce point.

3.3 En vous aidant, éventuellement, d'un tableau descriptif de l'évolution de la réaction, déterminer la relation entre la quantité de matière d'ions ammonium dosés $n_0(NH_4^+)$ et la quantité d'ions hydroxyde versés à l'équivalence $n_e(HO^-)$.

3.4 En déduire la valeur de $n_0(NH_4^+)$.

3.5 Quelle quantité de matière d'ions ammonium $n(NH_4^+)$ a-t-on dans la fiole jaugée de 250 mL ? En déduire la quantité de nitrate d'ammonium présente dans cette fiole.

3.6 Quelle masse d'azote y a-t-il dans une mole de nitrate d'ammonium ? En déduire la masse d'azote présente dans l'échantillon.

3.7 Le pourcentage massique en élément azote est le rapport entre la masse d'azote présente dans l'échantillon et la masse de l'échantillon.
Calculer le pourcentage massique en azote de l'échantillon. Le comparer à celui fourni par le fabricant et conclure.

Exercice 2 : Comment déterminer le relief du fond marin avec un sondeur ? (5,5 points)

Les trois parties de l'exercice sont indépendantes

1. Étude de l'onde ultrasonore dans l'eau de mer.

1.1 Définir une onde mécanique progressive.

1.2 L'onde ultrasonore est-elle une onde longitudinale ou transversale ? Justifier la réponse.

1.3 La lumière est une onde progressive périodique mais elle n'est pas mécanique.

1.3.1 Citer un fait expérimental qui permet de décrire la lumière comme une onde.

1.3.2 Quelle observation permet de montrer que la lumière n'est pas une onde mécanique ?

2. Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau.

La célérité des ultrasons dans l'air v_{air} = 340 m.s^{-1} est plus faible que la célérité des ultrasons dans l'eau de mer v_{eau}.

Un émetteur produit simultanément des salves d'ondes ultrasonores dans un tube rempli d'eau de mer et dans l'air (voir figure 1). À une distance d de l'émetteur d'ondes ultrasonores,sont placés deux récepteurs, l'un dans l'air et l'autre dans l'eau de mer.
Le récepteur A est relié à l'entrée A du système d'acquisition d'un ordinateur et le récepteur B à l'entrée B. L'acquisition commence lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B du système.

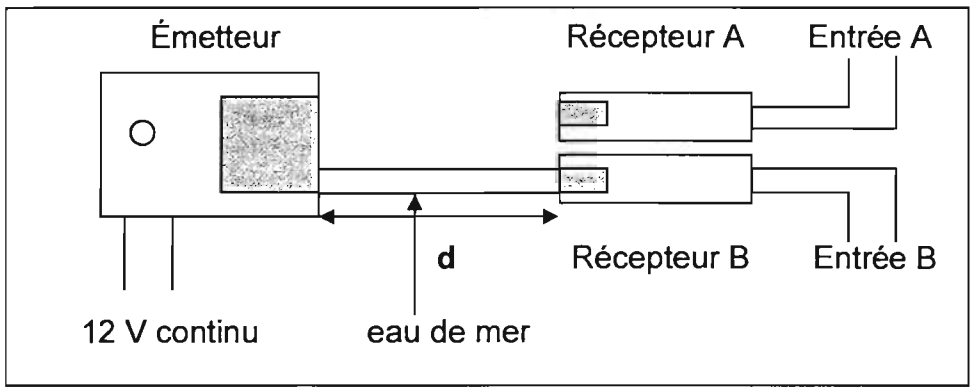
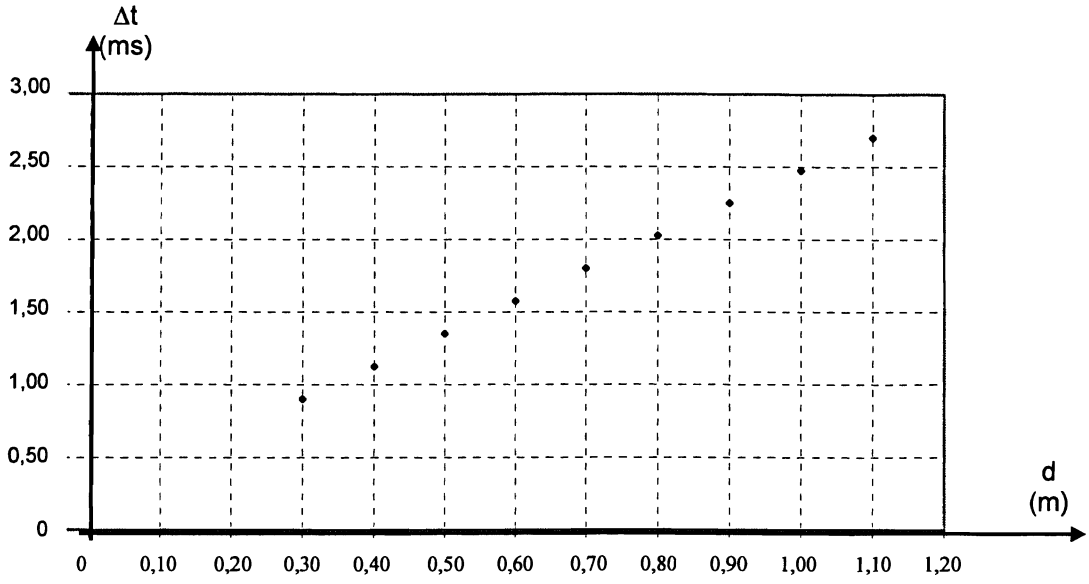


Figure 1

2.1 Pourquoi est-il nécessaire de déclencher l'acquisition lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B ?

2.2 Donner l'expression du retard Δt entre la réception des ultrasons par les deux récepteurs en fonction de t_A et t_B, durées que mettent les ultrasons pour parcourir respectivement la distance d dans l'air et dans l'eau de mer.

2.3 On détermine Δt pour différentes distances d entre l'émetteur et les récepteurs. On traite les données avec un tableur et on obtient le graphe $\Delta t = f(d)$ ci-dessous.



$\Delta t = f(d)$

2.3.1 Donner l'expression de Δt en fonction de d, v_{air}, v_{eau}.

2.3.2 Justifier l'allure de la courbe obtenue.

2.3.3 Déterminer graphiquement le coefficient directeur de la droite $\Delta t = f(d)$. En déduire la valeur de la célérité v_{eau} des ultrasons dans l'eau de mer en prenant $v_{air} = 340\ m.s^{-1}$.

3. Détermination du relief des fonds marins

Dans cette partie on prendra $v_{eau} = 1{,}50 \times 10^3\ m.s^{-1}$.

Un sondeur acoustique classique est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence f = 200 kHz et d'un boîtier de contrôle ayant un écran qui visualise le relief des fonds sous-marins.
La sonde envoie des salves d'ultrasons verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers ; cette onde ultrasonore se déplace dans l'eau à une vitesse constante v_{eau}. Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfléchie et renvoyée vers la source. La détermination du retard entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la profondeur p.
Un bateau se déplace en ligne droite suivant un axe x'x en explorant le fond depuis le point A $x_A = 0$ m jusqu'au point B $x_B = 50$ m (figure 2).
Le sondeur émet des salves d'ultrasons à intervalles de temps égaux, on mesure à l'aide d'un oscilloscope la durée Δt séparant l'émission de la salve de la réception de son écho.

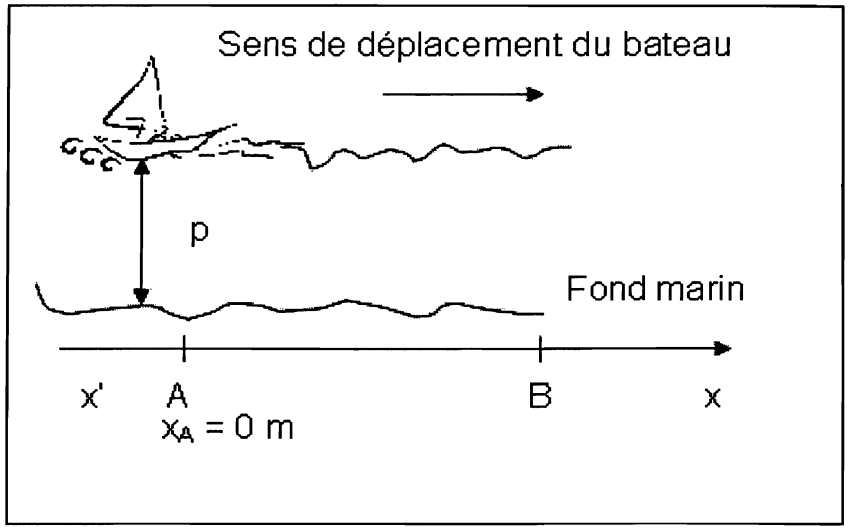
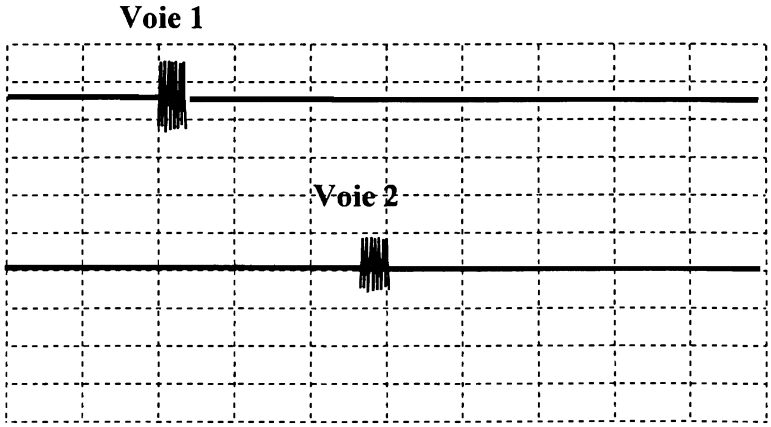


Figure 2

3.1 L'oscillogramme ci-dessous montre l'écran de l'oscilloscope lorsque le bateau se trouve en A (x_A = 0 m). L'une des voies représente le signal émis, l'autre le signal reçu par le récepteur.
Sur l'oscillogramme, on a décalé la voie 2 vers le bas pour distinguer nettement les deux signaux.

Sensibilité Horizontale :
10 ms / div



Oscillogramme

La figure 3 **se trouvant sur l'annexe à rendre avec la copie** représente $\Delta t = f(x)$ lorsque le bateau se déplace de A vers B.

3.1.1 Identifier les signaux observés sur chaque voie, en justifiant.

3.1.2 À partir de l'oscillogramme, déterminer la durée Δt entre l'émission de la salve et la réception de son écho.

3.1.3 En déduire la graduation de l'axe des ordonnées de la figure 3 **se trouvant sur l'annexe, page 12, à rendre avec la copie** représentant la durée Δt en fonction de la position x du bateau.

3.2 Déterminer la relation permettant de calculer la profondeur p en fonction de Δt et v_{eau}.

3.3 Tracer sur la figure 4 **se trouvant sur l'annexe à rendre avec la copie**, l'allure du fond marin exploré en précisant la profondeur p en mètres en fonction de la position x du bateau.

3.4 Le sondeur envoie des salves d'ultrasons à intervalles de temps réguliers T. Pour une bonne réception, le signal émis et son écho ne doivent pas se chevaucher. Le sondeur est utilisable jusqu'à une profondeur de 360 m.
Déterminer la période minimale T_m des salves d'ultrasons permettant ce fonctionnement.

Exercice 3 : Détermination de la concentration en dioxyde de soufre de l'air d'une grande agglomération (4 points)

On se propose d'étudier dans cet exercice une des méthodes permettant de déterminer la concentration en dioxyde de soufre dans l'air : la fluorescence ultraviolet (UV).

Principe de la méthode

Dans l'air ambiant, les molécules de dioxyde de soufre SO_2 sont dans un état d'énergie « fondamental » stable E_0. L'air ambiant est aspiré par un analyseur, filtré pour éliminer les éléments « parasites » pour la mesure, puis envoyé dans une chambre de réaction dans laquelle il est soumis à un rayonnement ultraviolet dont la longueur d'onde est λ_1 = 214 nm et provenant d'une lampe à vapeur de zinc (figure 1). Les molécules de dioxyde de soufre de l'air sont ainsi portées dans un état d'énergie E_1. Cet état étant instable, le dioxyde de soufre se désexcite alors très rapidement et arrive dans un état d'énergie E_2 différent de E_0 en émettant un rayonnement UV de longueur d'onde λ_2 supérieure à celle du rayonnement d'excitation. Le rayonnement UV est reçu par un photomultiplicateur qui donne alors une tension de sortie U_S proportionnelle à la concentration en dioxyde de soufre présent dans la chambre de réaction.

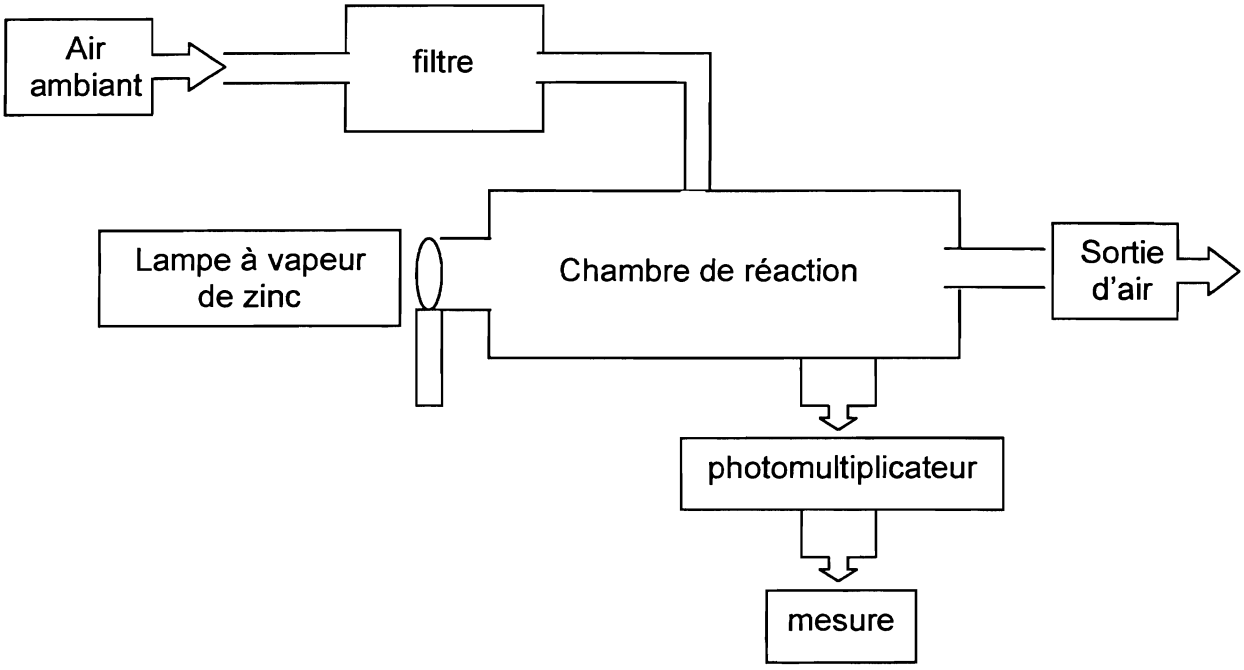


Figure 1 : schéma simplifié d'un analyseur de fluorescence ultraviolet

Données :

- $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J.s
- $c = 3{,}00\times10^{8}$ m.s^{-1}
- 1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$ J
- 1 ppbv (partie par milliard en volume) = 2,66 µg.m^{-3} pour le dioxyde de soufre

1. Étude du diagramme simplifié des niveaux d'énergie.

1.1 Comment appelle-t-on l'état d'énergie E_1 de la molécule de dioxyde de soufre ?

1.2 En vous aidant du texte, placer sur le diagramme **en annexe, page 12, à rendre avec la copie**, les états d'énergie E_0, E_1 et E_2, en justifiant la démarche.

2. Étude de la transition entre les états d'énergie E_0 et E_1.

2.1 Cette transition correspond-elle à une émission ou une absorption de lumière ? Justifier la réponse.

2.2 Représenter sur le diagramme cette transition par une flèche notée 1.

2.3 Donner l'expression littérale de l'énergie ΔE_1 correspondant à la transition en fonction des données. La calculer en eV.

3. Étude de la transition entre les états d'énergie E_1 et E_2.

Au cours de cette transition les molécules échangent avec l'extérieur une quantité d'énergie ΔE_2 = 3,65 eV.

3.1 Représenter sur le diagramme cette transition par une flèche notée 2.

3.2 Déterminer, en nm, la longueur d'onde de la radiation émise λ_2. Cette radiation est-elle bien dans le domaine de l'ultraviolet ? Justifier la réponse.

4. Détermination de la concentration en dioxyde de soufre dans l'air de la grande agglomération.

4.1 L'appareil est étalonné à l'aide d'un échantillon de concentration en dioxyde de soufre de 100 ppbv (partie par milliard en volume). La tension à la sortie du photomultiplicateur est U_0 = 0,50 V. On effectue une mesure pour l'air d'une grande agglomération, on trouve U_1 = 0,15 V.
Déterminer la concentration $[SO_2]_1$ en dioxyde de soufre pour l'air de la grande agglomération en ppbv.

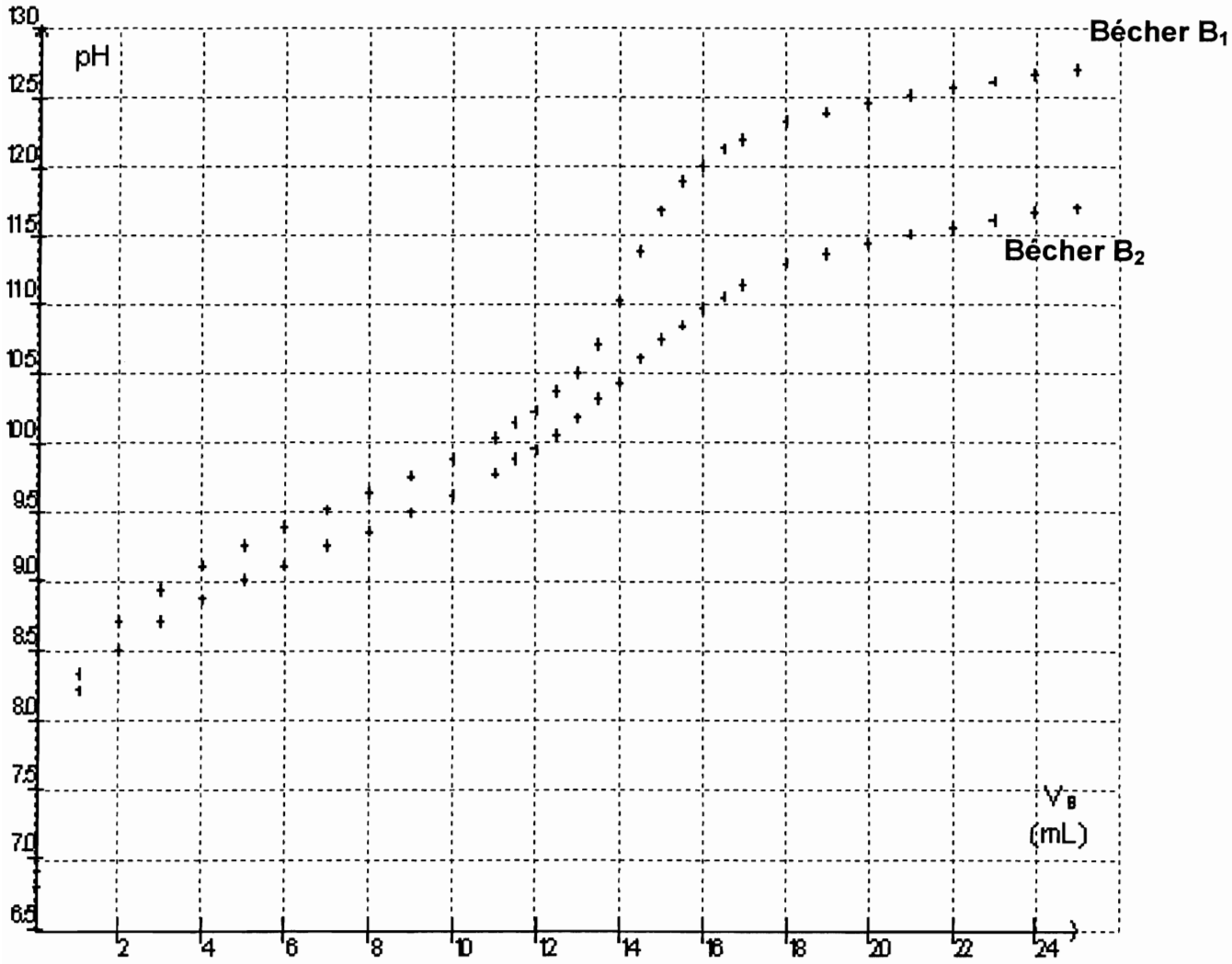
4.2 La limite admise pour une personne étant de 50 $\mu g.m^{-3}$ de gaz, l'air de la grande agglomération est-il respirable sans danger ?

Exercice I : Annexe à rendre avec la copie

Question 1.2.1

Équation chimique		$NH_4^+{}_{(aq)}$ + $HO^-{}_{(aq)}$	= $NH_{3(aq)}$	+ $H_2O_{(l)}$	
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0				
État au cours de la transformation	x				
État final si la transformation est totale	x_{max}				
État final réel	x_f				

Question 2.3 pH = f(V_B)



Exercice II : Annexe à rendre avec la copie

Question 3.1.3 et 3.3

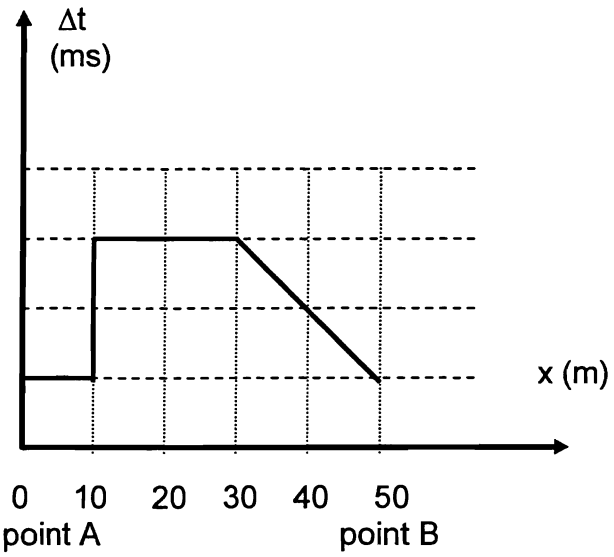


figure 3

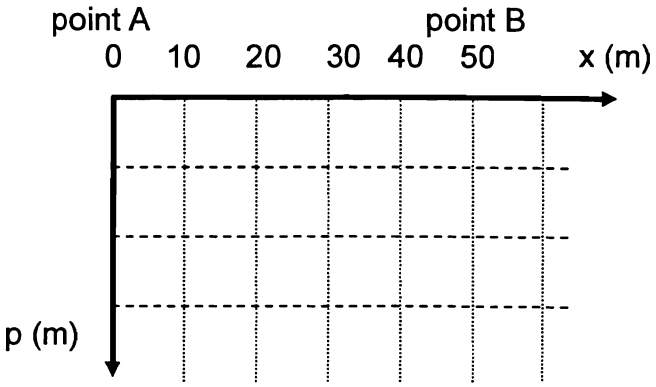
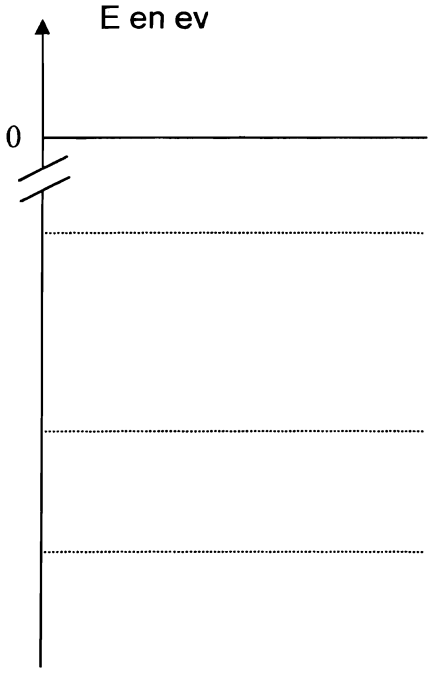


figure 4

Exercice III : Annexe à rendre avec la copie

Diagramme simplifié des niveaux d'énergie de la molécule de dioxyde de soufre sans considération d'échelle

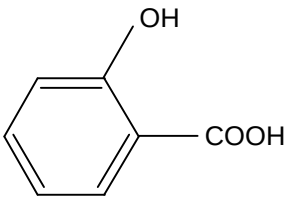
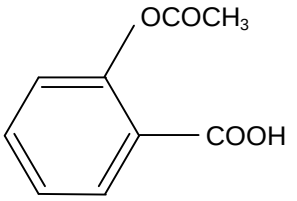


Exercice n°1 : De la reine des prés à l'aspirine (6,5 points)

Calculatrice interdite

Les parties I et II sont indépendantes.

Données utiles pour les deux parties :

	Acide salicylique	Acide acétylsalicylique ou aspirine
Formule semi développée		
Masse molaire ($g.mol^{-1}$)	138	180
pK_A	3,0	3,5

- Produit ionique de l'eau à 25°C : $K_e = 10^{-14}$

I. Étude de l'acide salicylique

La reine des prés (Filipendula Ulmaria ou spirée) est une plante vivace des zones humides. Sa tige, haute de 50 cm à 1,50 m, est surmontée d'une grappe de fleurs, de couleur crème, au parfum doux. Les fleurs contiennent de l'acide salicylique ou acide spirique (acide 2-hydroxybenzoïque) connu pour ses propriétés inflammatoires et son action apaisante lors de douleurs articulaires.

On prépare un volume V d'une solution aqueuse d'acide salicylique de concentration molaire en soluté apporté $C = 1,0 \times 10^{-2}$ $mol.L^{-1}$. On mesure le pH de la solution à 25°C : pH = 2,5.

Aide au calcul :
- log (2,5) = 0,4 ; log (1,3) = 0,1
- $10^{2,5} = 3 \times 10^{2}$; $10^{-2,5} = 3 \times 10^{-3}$; $\frac{9}{7} = 1,3 \sim 1$

1. Définir un acide au sens de Brönsted.

2. Écrire l'équation chimique de la réaction de l'acide salicylique avec l'eau en utilisant les formules semi développées.

3. Compléter le tableau d'évolution fourni en annexe 1. On pourra utiliser la notation $HA_{(aq)}$ pour l'acide salicylique.

4. Définir puis calculer le taux d'avancement final τ de cette réaction. Conclure.

5. Définir le quotient de réaction à l'équilibre $Q_{r,éq}$ de cette réaction et montrer que sa valeur est $Q_{r,éq} \sim 10^{-3}$.

6. Comment nomme-t-on ce quotient de réaction à l'équilibre ? Sa valeur dépend-elle des conditions initiales ?

7. On désire vérifier par titrage la composition d'une solution d'acide salicylique achetée en pharmacie aux propriétés verrucides par application locale. L'étiquette indique : 10 g d'acide salicylique pour 100 mL de solution.
On dilue 10 fois la solution pharmaceutique puis on prélève 20,0 mL de cette solution diluée que l'on dose par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)}$ + $HO^-_{(aq)}$) de concentration molaire en soluté apporté C_b = 0,10 mol.L^{-1}. On note le pH du mélange réactionnel après chaque ajout de solution d'hydroxyde de sodium, ce qui permet de tracer la courbe pH = f(V_b) et d'en déduire la courbe dérivée $\frac{dpH}{dV_b}$ = f(V_B) (courbes en annexe 2).

7.1. Écrire l'équation chimique de la réaction entre la solution d'acide salicylique, noté $HA_{(aq)}$, et la solution d'hydroxyde de sodium. *On supposera la réaction totale.*

7.2. Utiliser les courbes de l'annexe n°2 pour déterminer l'équivalence acido-basique.

7.3. Définir l'équivalence acido-basique et en déduire la concentration molaire en acide salicylique de la solution diluée puis de la solution pharmaceutique.

7.4. Le titrage peut être réalisé plus rapidement en utilisant un indicateur coloré. Choisir, dans la liste proposée ci-dessous, un indicateur convenable, en justifiant la réponse.

Indicateur	Zone de virage
Hélianthine	3,1 – 4,4
Rouge de bromophénol	4,8 – 6,4
Bleu de bromothymol	6,0 – 7,6
Rouge de crésol	7,2 – 8,8
Phénolphtaléine	8,2 – 10,0

II. De l'acide salicylique à l'aspirine

En 1853, le français Charles-Frédéric Gerhardt réalisa l'acétylation de l'acide salicylique en créant l'acide acétylsalicylique plus connu sous le nom commercial aspirine, mais ses travaux tombèrent dans l'oubli.
Commercialisée en 1899 par les laboratoires allemands Bayer, à la suite de la découverte par l'allemand Félix Hoffman des propriétés du composé, l'aspirine a depuis de nombreuses indications. Environ 40 000 tonnes de comprimés, cachets, gélules, suppositoires sont consommés chaque année.

1. Recopier la formule de l'acide acétylsalicylique, entourer et nommer les groupes caractéristiques présents dans cette molécule.

2. Écrire l'équation chimique de la réaction de synthèse de l'acide acétylsalicylique à partir de l'acide salicylique et de l'acide carboxylique convenable. Nommer l'acide carboxylique utilisé.
On rappelle que le groupe hydroxyle –OH de l'acide salicylique constitue une fonction phénol mais réagit comme un alcool.
De quel type de réaction s'agit-il ? Préciser ses caractéristiques.

3. Les différents protocoles expérimentaux proposent de chauffer pendant une durée adaptée un mélange non stœchiométrique de réactifs en présence d'ions oxonium H_3O^+.

3.1. Quel est le rôle des ions oxonium ? Donner la définition d'une telle espèce.

3.2. Quel est l’intérêt d’utiliser un réactif en excès ?

4. Cette synthèse peut être réalisée de façon plus efficace en remplaçant l’acide carboxylique par l’un de ses dérivés.
Écrire l’équation de la réaction en précisant la famille chimique et le nom du dérivé de l’acide carboxylique utilisé. Quel est l’intérêt de ce changement ?

Exercice n°2 : La station spatiale internationale à l'heure atomique Pharao (5,5 points)

Calculatrice interdite

La station spatiale internationale (Internationale Space station, ISS) est le résultat d'une coopération internationale sans précédent qui va permettre, pendant plus de 10 ans, d'effectuer des expériences dans de nombreux domaines scientifiques.
Lorsqu'elle sera achevée, l'ISS sera la plus grande structure jamais réalisée par l'homme dans l'espace. La surface de cet immense complexe de plus de 100 m de long sera équivalente à celle d'un grand stade de football comprenant des laboratoires, un module d'habitation…
Le lancement du 1er élément de l'ISS, le module russe Zarya, a eu lieu en 1998 et, depuis novembre 2000, deux ou trois spationautes occupent en permanence la station.
Sa construction se poursuit au fur et à mesure des vols de la navette spatiale américaine.
L'horloge atomique Pharao (projet d'horloge atomique par refroidissement d'atomes en orbites), sera embarquée à l'horizon 2010 à bord de l'ISS. À la clé, de nouveaux tests en physique fondamentale. Cet instrument unique doit mesurer le temps avec une exactitude et une stabilité inégalées : l'horloge ne perdra qu'une petite seconde toutes les 300 millions d'années.

D'après le site du CNES (mars 2006)

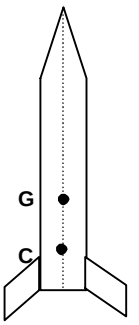
I. Décollage de la navette spatiale (shuttle en anglais)

Au décollage, la navette comporte trois éléments : le gros réservoir extérieur, les deux fusées d'appoint (boosters) et la navette proprement dite (ou orbiter) avec ses ailes delta et ses trois moteurs SSME. L'ensemble a une masse au décollage voisine de $M_N = 2{,}0 \times 10^3$ tonnes.
Après une longue préparation, à $t_0 = 0$ s, les boosters sont mis à feu et le véhicule est libéré de ses attaches. Pendant les quinze premières secondes du vol, la trajectoire est verticale par rapport au référentiel terrestre. À $t_3 = 3{,}0$s, la navette a une vitesse d'environ 50 $km.h^{-1}$ soit 14 $m.s^{-1}$ et à $t_5 = 5{,}0$ s, sa vitesse vaut environ 92 $km.h^{-1}$ soit 25 $m.s^{-1}$.
Après huit minutes et différentes manœuvres, elle atteindra son orbite stable.

<u>*Données*</u> *:*
- Accélération de la pesanteur terrestre : $g = 10\ m.s^{-2}$.
- La durée d'étude étant très courte, on considère que la masse de la navette ne change pas réalité, elle perd 1 % de sa masse).

1. Définir puis déterminer l'accélération de la navette à la date $t_4 = 4{,}0$ s.

2. Durant cette phase on peut négliger l'action de l'atmosphère (de l'air) et on supposera que la force de poussée due à l'éjection des gaz par les fusées est constante. Cette force s'applique au centre de poussée noté C sur le schéma ci-contre et situé sous le centre de gravité G.



2.1. Représenter les forces qui s'exercent sur la navette à la date $t_4 = 4{,}0$ s. On utilisera le schéma simplifié ci-contre à reproduire sur la copie.
2.2. Calculer la valeur de la poussée.

II. Étude du mouvement de la station spatiale

Par rapport au référentiel géocentrique, la station S effectue seize révolutions par jour sur une orbite circulaire, inclinée de 51,6° par rapport à l'équateur et située à une altitude z (environ 400 km).

Données :

- M_T : masse de la Terre
- R_T : rayon de la Terre
- M_S : masse de la station
- G : constante de gravitation universelle
- Z : altitude de la station
- La Terre a une répartition de masse à symétrie sphérique et la station a des dimensions faibles par rapport à la distance qui la sépare de la Terre.

1. Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle que la Terre exerce sur la station en fonction des données. Faire un schéma où seront représentées la Terre, la station et la force.

2. Étude de la vitesse

2.1. En supposant que seule la force gravitationnelle s'exerce sur la station, montrer que le mouvement de la station est uniforme et établir l'expression de sa vitesse en fonction des données.

2.2. La masse M_S de la station croît au fur et à mesure de sa construction : elle valait 195 tonnes en septembre 2006 et vaudra 435 tonnes en 2010, date prévue pour la fin de sa construction. La vitesse de la station sur son orbite sera-t-elle modifiée ?

2.3. Quelle est la loi de Kepler qui prévoit que le mouvement circulaire d'un satellite est uniforme. L'énoncer.

3. Définir puis établir l'expression de la période de révolution de la station en fonction des données.

4. Satellite géostationnaire

4.1. Définir un satellite géostationnaire.

4.2. La station est-elle géostationnaire ? Justifier la réponse.

III. L'horloge atomique à jet de césium

Depuis 1967, c'est l'horloge atomique au césium qui sert à définir la seconde. Cet appareil utilise les principes de la mécanique quantique : dans un atome, les niveaux d'énergie sont quantifiés.

Cette horloge comprend un oscillateur à quartz. Le signal électrique oscillant est utilisé pour générer une onde électromagnétique de fréquence ν = 9 192 631 770 Hz dans la cavité où on fait passer des atomes de césium 133.

Si le quartz oscille à la bonne fréquence, les atomes absorbent le rayonnement et passent d'un niveau d'énergie E_A au niveau d'énergie E_B.

Si le quartz se dérègle, ce n'est plus le cas et un système électronique agit sur la fréquence d'oscillation du quartz jusqu'à ce que les atomes absorbent à nouveau le rayonnement.

<u>Données</u> : utiliser les valeurs arrondies ci-dessous pour les calculs.

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ~ 7×10^{34} J.s
- Célérité de la lumière dans le vide et dans l'air : $c = 299\ 792\ 458$ m.s^{-1} ~ 3×10^{8} m.s^{-1}
- $\nu = 9\ 192\ 631\ 770$ Hz ~ 9×10^{9} Hz

1. Expliquer la phrase : *« dans un atome les niveaux d'énergie sont quantifiés »*.

2. Calculer la longueur d'onde de l'onde électromagnétique émise.

3. Calculer la différence d'énergie entre les niveaux A et B de l'atome de césium 133.

4. Sur un diagramme, placer les niveaux d'énergie E_A et E_B puis représenter la transition effectuée par les atomes de césium qui absorbent l'onde.

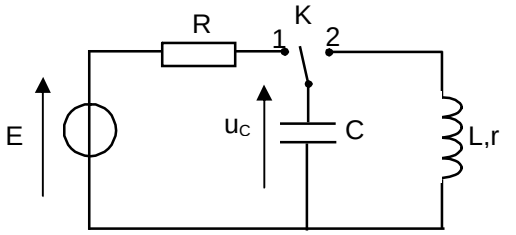
Exercice n°3 : Filtre pour enceinte (4 points)

Calculatrice interdite

Une enceinte pour chaîne hi-fi est composée de plusieurs haut-parleurs : le plus petit émet les sons les plus aigus et le plus gros émet les sons les plus graves. Il est donc nécessaire de ne pas les alimenter de la même manière ce qui est réalisé à l'aide d'un montage électrique constitué de condensateurs et de bobines et appelé filtre.

Condensateurs et bobines sont des composants incontournables en électricité. Nous allons voir comment déterminer leurs caractéristiques à partir du montage ci-dessous comprenant :

- un générateur de tension constante continue E = 12 V ;
- une résistance R = 100 Ω ;
- un interrupteur K à trois points ;
- un condensateur de capacité C ;
- une bobine d'inductance L et de résistance r.



Aide au calcul : 0,37 × 12 ~ 4,4 ; 0,63 × 12 ~ 7,6 ; π = 3,14 ~ 3 ; π^2 ~ 10

I- Charge du condensateur

Le condensateur étant déchargé, on place à t = 0, l'interrupteur K en position 1. Un système d'acquisition permet d'enregistrer les graphes des tensions E et u_c en fonction du temps. On obtient les courbes I, fournies en **annexe à rendre avec la copie.**

1. Indiquer sur le schéma du montage **fourni en annexe à rendre avec la copie,** les branchements du système d'acquisition (analogue à un oscilloscope à mémoire) pour visualiser, sur la voie A, la tension E aux bornes du générateur et, sur la voie B, la tension u_C aux bornes du condensateur.

2. L'expression en fonction du temps de la tension u_C aux bornes du condensateur est :
   $u_C = U\,[1 - \exp(-t/\tau)]$ où U et τ sont des constantes non nulles.
   2.1. Déterminer graphiquement U.
   2.2. Que représente τ pour la charge d'un condensateur ? Nommer τ.
   2.3. Déterminer graphiquement la valeur de τ. La méthode utilisée doit être visible sur les courbes I.

3. Évolution de u_c
   3.1. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension u_c aux bornes du condensateur lors de sa charge.
   3.2. Montrer que $u_C = U\,[1 - \exp(-t/\tau)]$ est bien une solution de cette équation différentielle et exprimer U et τ en fonction des grandeurs caractéristiques du montage.
   3.3. Vérifier la dimension de τ par une analyse dimensionnelle.

II- Décharge du condensateur dans une bobine

Le condensateur étant chargé, on bascule l'interrupteur en position 2 ; cet instant sera pris comme nouvelle origine des dates.

De la même façon on enregistre l'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur et on obtient la courbe II fournie en **annexe à rendre avec la copie.**

On prendra C = 10 μF.

1. Quelle est la nature du phénomène observé ?

2. Temps caractéristique

2.1. Nommer le temps caractéristique du phénomène observé puis le déterminer. La méthode utilisée doit être visible sur la courbe.

2.2. Donner l'expression de ce temps en fonction des éléments du montage.

3. En déduire la valeur de l'inductance de la bobine.

4. Comment voit-on que la bobine possède une résistance non nulle ?

5. Sous quelle(s) forme(s) est stockée l'énergie totale du dipôle (L,C) à la date t = 2,0 ms ? Calculer sa valeur.

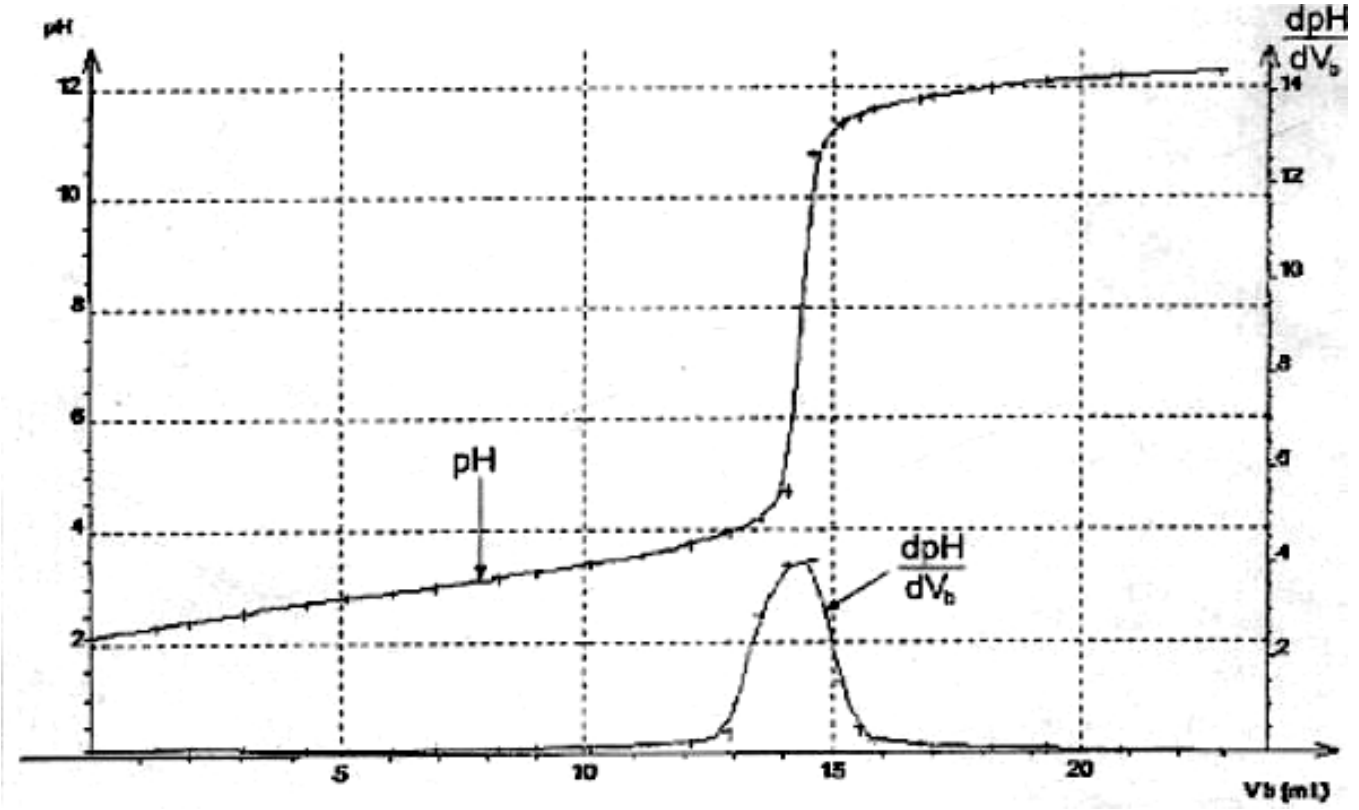
ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Exercice n° 1

Annexe n°1 :

		Quantités de matière (mol)			
	Avancement (mol)				
État initial	0				
État intermédiaire	x				
État final expérimental	x_f				
État final théorique	$x_{max} = n_0$				

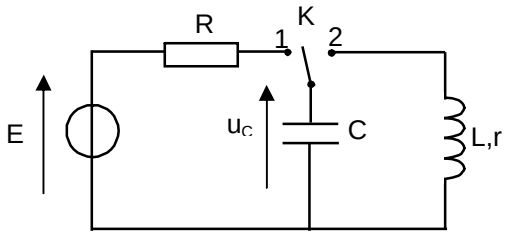
Annexe n°2 :



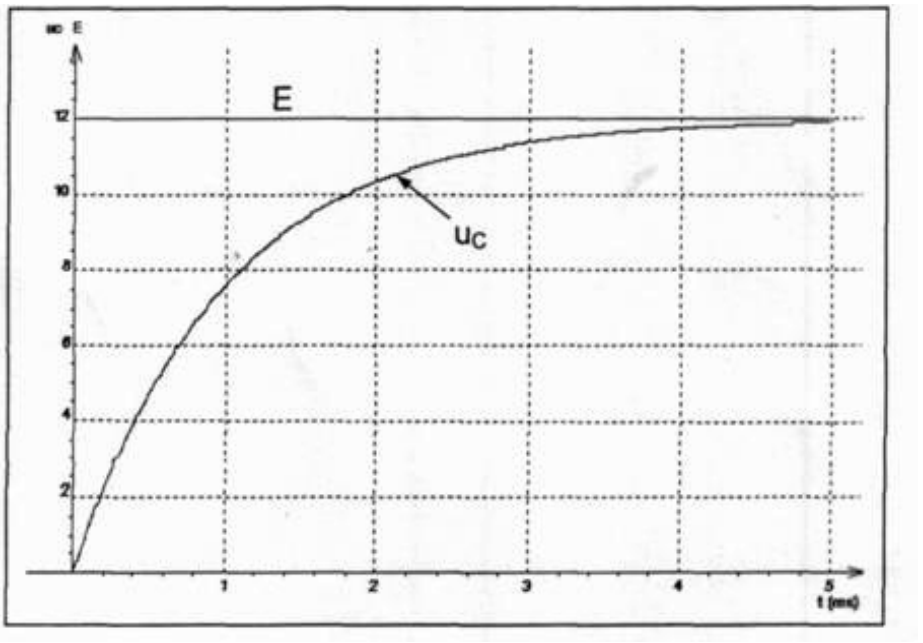
ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Exercice n° 3

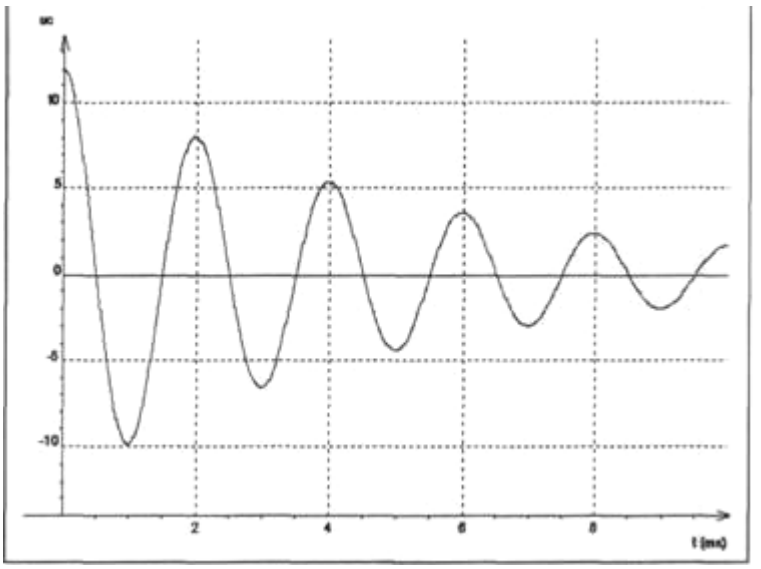
Montage



Courbe I



Courbe II



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

obligatoire

L'usage des calculatrices N'EST PAS autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique

Ce sujet comporte un exercice de PHYSIQUE-CHIMIE, un exercice de PHYSIQUE et un exercice de CHIMIE présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

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

I. La galiote (7 points)
II. Découvertes liées à des éclipses de Soleil (5 points)
III. Synthèse d'un ester (4 points)

EXERCICE I. LA GALIOTE (7 points)

La galiote était un navire de guerre qui fit son apparition à la fin du XVIIème siècle, sous le règne de Louis XIV. Les galiotes possédaient de lourds canons, fixés au pont, projetant des boulets de 200 livres (environ 100 kg) portant jusqu'à 1200 toises (environ 2400 m).
Selon la description détaillée de Renau, Inspecteur Général de la Marine, ces bâtiments sont destinés à emporter des canons en mer. Ils sont de moyenne grandeur et à fond plat. De par leur fabrication, l'angle de tir des canons est fixe et a pour valeur α = 45°, ce qui permet de tirer à la plus grande distance possible.
La structure d'une galiote doit être très robuste pour résister à la réaction considérable du boulet et leur échantillon(1) est ordinairement aussi fort que celui d'un vaisseau de 50 canons.

(1) dimension et épaisseur des pièces utilisées pour la construction.

D'après le site Internet de l'Institut de Stratégie Comparée.

Les parties 1, 2 et 3 de cet exercice sont indépendantes.
Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

1. Action de la poudre de canon sur le boulet
L'éjection du boulet est provoquée par la combustion de la poudre. Une force de poussée est donc exercée sur le boulet par l'ensemble {galiote + canon + gaz}.
Justifier l'expression soulignée dans le texte encadré ci-dessus, à l'aide d'une des trois lois de Newton. Énoncer cette loi. (On pourra s'aider d'un schéma).

2. La trajectoire du boulet
*On souhaite étudier la trajectoire du centre d'inertie G du boulet de masse m. L'étude est faite dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen. Le repère d'étude est (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) et l'origine des dates est choisie à l'instant où le boulet part du point O (voir **figure 1** ci-dessous).*
Le vecteur vitesse initiale $\vec{v_0}$ du point G est incliné d'un angle α (appelé angle de tir) par rapport à l'horizontale. ***Une fois le boulet lancé, la force de poussée de la partie précédente n'intervient plus.***

Données :
Volume du boulet : V = 16 dm^3 = 16 L
Masse du boulet : m = 100 kg
Valeur du champ de pesanteur : g = 10 m.s^{-2}
Masse volumique de l'air : ρ = 1,3 kg.m^{-3}

Aide au calcul		
$1,6 \times 1,3 = 2,1$	$\sqrt{2,4} \approx 1,5$	
$\frac{1,6}{1,3} = 1,2$	$\frac{1,3}{1,6} = 0,81$	$\sqrt{24} \approx 4,9$

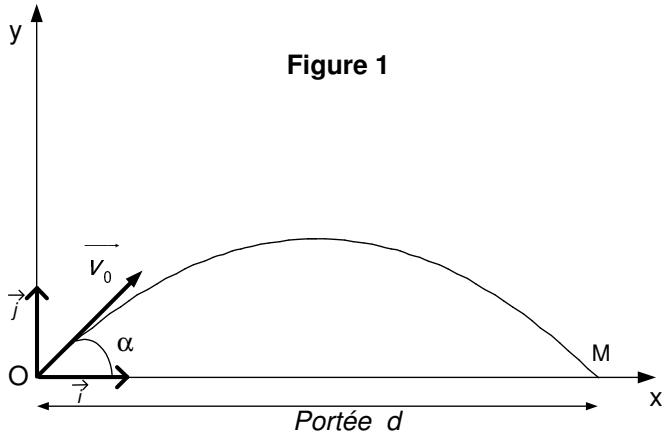


Figure 1

2.1. Inventaire des forces agissant sur le boulet après son lancement
2.1.1. La poussée d'Archimède
Donner l'expression littérale de la valeur F_A de la poussée d'Archimède puis la calculer.
2.1.2. Le poids
Calculer la valeur P du poids du boulet après avoir précisé son expression littérale.
2.1.3. *Dans cet exercice, on pourra négliger la poussée d'Archimède devant le poids si la valeur de ce dernier est au moins cent fois plus grande que celle de la poussée d'Archimède.*
Montrer que l'on est dans cette situation.
2.1.4. *Pendant le vol, compte tenu de la masse, de la vitesse et de la forme du boulet, on fait l'hypothèse que les forces de frottement dans l'air sont négligeables devant le poids.*
En tenant compte de la remarque et des résultats précédents, établir le bilan des forces exercées sur le système {boulet} pendant le vol.

2.2. Équation de la trajectoire

Dans toute cette partie, on négligera la poussée d'Archimède et on ne tiendra pas compte des forces de frottement dues à l'air.

2.2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que les équations horaires du mouvement du point G s'écrivent :

$$x(t) = (v_0 . \cos\alpha) . t$$

$$\text{et } y(t) = -\frac{1}{2} g . t^2 + (v_0 . \sin\alpha) . t$$

2.2.2. Montrer que l'équation de la trajectoire peut se mettre sous la forme $y(x) = Ax^2 + Bx$. On donnera les expressions littérales de A et B et on précisera leurs unités respectives.

2.3. Portée du tir

L'équation de la trajectoire du boulet peut se mettre sous la forme $y(x) = x \cdot (Ax + B)$.
*Au cours d'un tir d'entraînement, un boulet tombe dans l'eau. Dans ces conditions, la distance entre le point de départ du boulet et son point M d'impact sur l'eau est appelée portée (voir **figure 1 page 2**).*
On négligera la différence d'altitude entre les points O et M devant les autres distances.

2.3.1. Exprimer la portée *d* du tir en fonction de A et B.

2.3.2. *L'expression littérale de la portée d en fonction de v_0, α et g est :* $d = \frac{v_0^2 . \sin 2\alpha}{g}$.

Retrouver, en la justifiant, la valeur $\alpha = 45°$ donnée dans le texte, pour laquelle la portée est maximale, pour une vitesse v_0 donnée.

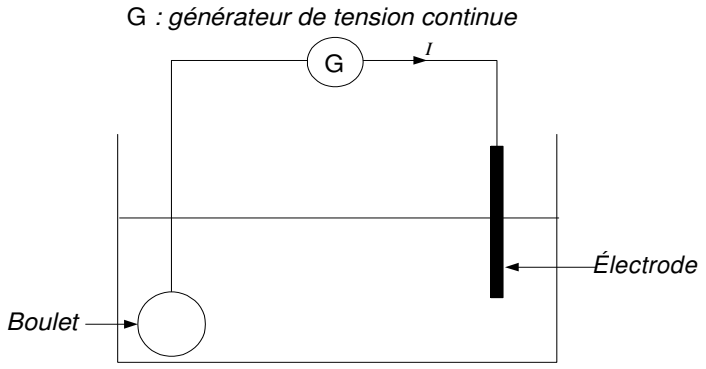
2.3.3. À partir de la question précédente et des données, calculer la vitesse initiale du boulet pour atteindre la portée maximale donnée dans le texte.

2.3.4. *En fait, les frottements dans l'air ne sont pas négligeables.*
Avec un angle de tir restant égal à 45°, la vitesse initiale du boulet doit-elle être supérieure ou inférieure à celle trouvée à la question 2.3.3. pour obtenir la même portée maximale ? Justifier sans calcul.

3. Restauration d'un boulet par électrolyse

Un boulet est retrouvé par un archéologue, qui le restaure par électrolyse en solution basique. Ce procédé a pour but, notamment :
- d'éliminer la gangue (substance qui forme une enveloppe autour d'une autre matière) qui entoure le boulet ;
- de débarrasser l'objet de tous les ions chlorure qui, au contact de l'humidité de l'air et du dioxygène amènent à la formation d'acide chlorhydrique conduisant à la destruction rapide du boulet. Ces ions chlorure sont également présents dans la gangue.

Le schéma de principe de l'électrolyse est le suivant :



La lente destruction de la gangue libère dans l'électrolyte les ions chlorure qu'elle contenait.

L'équation de la réaction modélisant l'électrolyse est :

$$2\ Cl^- (aq) + 2\ H_2O (\ell) = Cl_2 (g) + H_2 (g) + 2\ HO^- (aq)$$

Les couples d'oxydoréduction mis en jeu sont : $Cl_2 (g) / Cl^- (aq)$ et $H_2O (\ell) / H_2 (g)$

3.1. La réaction se produisant à l'anode est-elle une oxydation ou une réduction ?

3.2. Écrire l'équation de la réaction ayant lieu à l'anode. À quelle borne du générateur est reliée cette électrode ?

3.3. *À l'une des électrodes, on observe un dégagement de dihydrogène. L'équation de la réaction électrochimique associée est :*

$$2\ H_2O (\ell) + 2e^- = H_2 (g) + 2\ HO^- (aq) \quad (1)$$

La pression exercée par le dihydrogène permet de décoller la gangue. L'élimination de la gangue se fait sous une intensité I constante et pendant une durée Δt qui dépendent, entre autres, de la nature de l'objet et de son état de corrosion.

<u>Données :</u>

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C — *Constante d'Avogadro : $N_A = 6,0 \times 10^{23}$ mol^{-1}*

Intensité du courant : I = 1,0 A — *Durée de l'électrolyse : Δt = 530 heures*

Aide au calcul			
$5,3 \times 3,6 \approx 19$	$2 \times 1,6 \times 6 \approx 19$	$\frac{5,3}{3,6} = 1,5$	$\frac{2 \times 6}{1,6} = 7,5$

On note Q la valeur absolue de la charge électrique totale ayant circulé dans le dispositif pendant la durée Δt de l'électrolyse.

3.3.1. Donner l'expression littérale du nombre *N* d'électrons transférés et celle de la quantité d'électrons $n(e^-)$ en fonction des grandeurs données.

3.3.2. *Pour simplifier, on fait l'hypothèse que la réaction correspondant à l'équation (1) est la seule à se produire au niveau de l'électrode concernée.*

En s'aidant éventuellement d'un tableau d'avancement, établir une relation entre la quantité $n(H_2)$ de dihydrogène dégagé et la quantité d'électrons $n(e^-)$ et en déduire que $n(H_2) = \frac{1}{2} . \frac{I.\Delta t}{e.N_A}$.

3.3.3. Calculer la valeur de $n(H_2)$.

3.3.4. En déduire quel serait le volume de dihydrogène dégagé dans les conditions de l'expérience. *On donne le volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience : $V_M = 24$ L. mol^{-1}.*

EXERCICE II : DÉCOUVERTES LIÉES À DES ÉCLIPSES DE SOLEIL (5 points)

Cet exercice se compose de <u>deux parties indépendantes.</u>
Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

A. Partition lunaire

Des chercheurs du CEA de l'équipe d'Elisabeth Blanc viennent d'annoncer qu'une éclipse n'a pas pour seul effet une baisse de la luminosité. Lors de l'éclipse du Soleil du 11 août 1999, à 12 h 16 précises, l'ombre de la Lune commence sa traversée de la France à la vitesse de 2850 km.h^{-1} sur un axe Cherbourg-Strasbourg. Sur son passage, la température de l'air chute rapidement d'environ 5 °C. Le déplacement de cette zone froide, à la même vitesse que celui de l'ombre (…), engendre dans son sillage des ondes transversales dont la fréquence est largement inférieure à 20 Hz.

D'après la revue Les Défis du CEA - n°97 octobre-novembre 2003

1. Ondes créées lors de l'éclipse

1.1. Définir une onde mécanique progressive.

1.2. Définir une onde transversale.

1.3. Dire, en justifiant la réponse, si les ondes créées lors de l'éclipse peuvent être sonores.

2. Caractéristiques des ondes créées

L'équipe en charge du projet a pu détecter à faible altitude, une série d'ondes dont la période moyenne est de l'ordre de 10 minutes et la célérité moyenne est de l'ordre de 100 km.h^{-1}.

2.1. Vérifier que la fréquence de l'onde est effectivement largement inférieure à 20 Hz.

2.2. Ces ondes peuvent-elles être diffractées par des montagnes séparées par une distance de 10 km ? Justifier la réponse.

Aide au calcul	
$\frac{1}{6} = 1{,}7 \times 10^{-1}$	$\frac{1}{36} = 2{,}8 \times 10^{-2}$

B. Découverte historique d'un nouvel élément chimique

Lors de l'éclipse totale du Soleil du 18 août 1868, le français Pierre Janssen et le britannique Norman Lockyer ont analysé le spectre de la couronne solaire et ont remarqué qu'il présentait une raie brillante dans le jaune très proche de celle du sodium. N. Lockyer a émis l'hypothèse que cette raie était due à un nouvel élément qu'il baptisa hélium (du grec hélios qui signifie Soleil). Ce n'est que vingt-sept ans plus tard que cet élément chimique fut identifié sur Terre.

Données :

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2{,}998 \times 10^{8}$ m.s^{-1}

Constante de Planck : $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J.s

1 eV = $1{,}602 \times 10^{-19}$ J

Longueur d'onde de la raie D du sodium dans le vide : λ_{Na} = 589,0 nm.

Longueur d'onde de la raie jaune de l'hélium dans le vide : λ_{He} = 587,6 nm.

Aide au calcul	
$\frac{6{,}626 \times 2{,}998 \times 1{,}602}{589{,}0} = 5{,}403 \times 10^{-2}$	$\frac{6{,}626 \times 2{,}998}{587{,}6 \times 1{,}602} = 2{,}110 \times 10^{-2}$
$\frac{6{,}626 \times 2{,}998}{589{,}0 \times 1{,}602} = 2{,}105 \times 10^{-2}$	$\frac{6{,}626 \times 2{,}998 \times 1{,}602}{587{,}6} = 5{,}416 \times 10^{-2}$

1. Spectre d'énergie

1.1. Illustrer, en s'aidant d'un schéma de niveaux d'énergie d'un atome, le phénomène d'émission d'un photon (quantum d'énergie lumineuse).

1.2. *On note E l'énergie du photon émis lors d'une transition énergétique d'un atome.*

Donner l'expression littérale de E en fonction de la longueur d'onde λ de la radiation lumineuse émise dans le vide, de la constante de Planck h et de la célérité de la lumière dans le vide c.

1.3. *Raie D du sodium*

1.3.1. Calculer la valeur de E en électronvolts, pour le rayonnement correspondant à la raie D du sodium.

1.3.2. Déterminer, en s'aidant de la **figure 2 page 7**, à quelle transition correspond cette émission.

1.4. *L'énergie du photon correspondant à l'émission de la raie jaune de l'hélium (de longueur d'onde λ_{He}) est égale à 2,110 eV.* En s'aidant de la **figure 2 page 7**, justifier que cette émission ne peut pas être attribuée au sodium.

2. Formation de l'hélium dans le Soleil

Les noyaux d'hélium 3 et d'hélium 4 peuvent être produits par une suite de réactions nucléaires dont les équations sont indiquées ci-dessous :

$$ {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{1}e $$
$$ {}^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He $$
$$ {}^{3}_{2}He + {}^{x}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + y\,{}^{1}_{1}H $$

2.1. Quel nom donne-t-on à ces réactions nucléaires ?

2.2. Parmi les noyaux ${}^{3}_{2}He$, ${}^{3}_{1}H$ et ${}^{4}_{2}He$, lesquels sont isotopes ? Justifier.

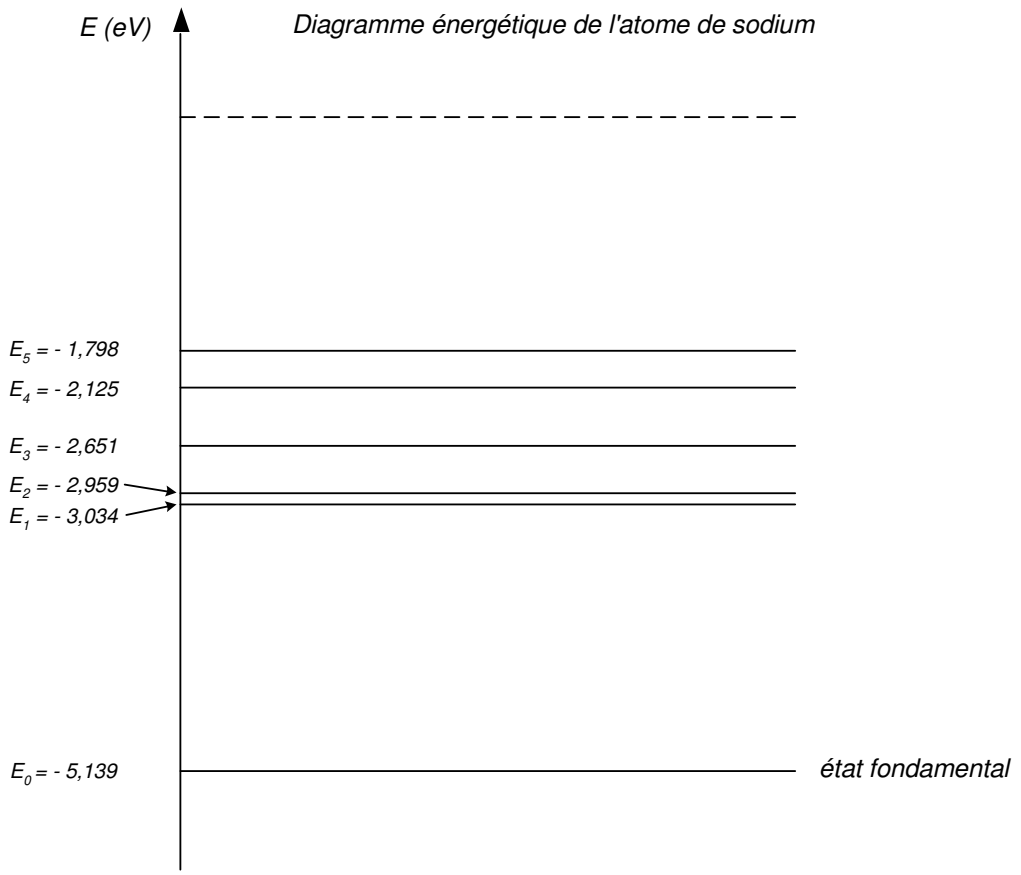
2.3. Déterminer les valeurs de *x* et *y* dans la troisième équation de réaction et justifier la réponse en précisant les lois de conservation utilisées.

2.4. *On étudie dans la couronne solaire les spectres d'émission des atomes d'hélium 3 et d'hélium 4. On rappelle qu'un spectre atomique caractérise la configuration électronique de l'atome (c'est-à-dire le nuage d'électrons de l'atome).*

2.4.1. Ces deux types d'atomes possèdent-ils la même configuration électronique ? Justifier.

2.4.2. Ces deux atomes auraient-ils pu être distingués l'un de l'autre expérimentalement dans le spectre obtenu par Pierre Janssen et Norman Lockyer ?

Figure 2



EXERCICE III. SYNTHÈSE D'UN ESTER (4 points)

L'huile essentielle de Gaulthérie autrement appelée "essence de Wintergreen" est issue d'un arbuste d'Amérique septentrionale : le palommier, également appelé "thé du Canada", "thé rouge", "thé de Terre Neuve". Cette substance est un anti-inflammatoire remarquable. Elle est aussi utilisée en parfumerie et comme arôme dans l'alimentation. Autrefois, elle était obtenue par distillation complète de la plante.

Cette huile est constituée principalement de salicylate de méthyle. Il est possible de synthétiser cet ester au laboratoire, à partir de l'acide salicylique et du méthanol selon la réaction d'équation :

$$C_7H_6O_3(s) + CH_4O(\ell) = C_8H_8O_3(\ell) + H_2O(\ell)$$

Cet exercice comporte 13 AFFIRMATIONS concernant un mode opératoire de cette synthèse.

L'aide au calcul peut comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

Toute réponse doit être accompagnée de justifications ou de commentaires. À chaque affirmation, répondre par VRAI ou FAUX, en justifiant le choix à l'aide de définitions, de schémas, de calculs, d'équations de réactions,…

SI L'AFFIRMATION EST FAUSSE, DONNER LA RÉPONSE JUSTE.

Données :

Nom	**Formule**	**Masse molaire en $g.mol^{-1}$**	**Masse volumique en $g.mL^{-1}$**	**Température d'ébullition en °C (pression 1 bar)**
Acide salicylique	$C_7H_6O_3$	$M_1 = 138$		$\theta_1 = 211$
Méthanol	CH_4O	$M_2 = 32$	$\rho_2 = 0,8$	$\theta_2 = 65$
Salicylate de méthyle	$C_8H_8O_3$	$M_3 = 152$	$\rho_3 = 1,17$	$\theta_3 = 223$
Cyclohexane	C_6H_{12}	$M_4 = 84$	$\rho_4 = 0,78$	$\theta_4 = 81$

Formule de l'ion hydrogénocarbonate : HCO_3^-.

Masse volumique de l'eau : 1,0 $g.mL^{-1}$.

Couples acide/base : $HCO_3^-(aq) / CO_3^{2-}(aq)$

CO_2, $H_2O / HCO_3^-(aq)$; *le dioxyde de carbone est un gaz peu soluble dans l'eau.*

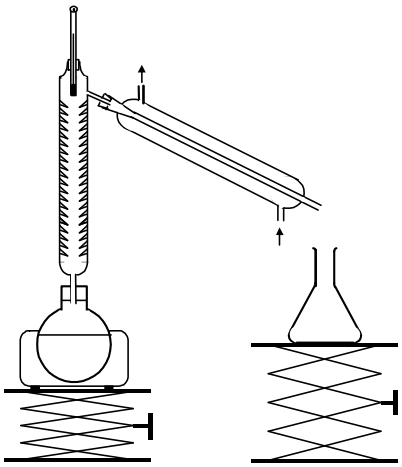
Aide au calcul					
$\frac{1,38}{2,76} = 0,500$	$\frac{2,76}{1,38} = 2,00$	$\frac{2,1}{7,6} = 0,28$	$\frac{2,1}{3,04} = 0,69$	$\frac{1,52}{2,1} = 0,72$	$\frac{2,1}{1,52} = 1,4$

Dans un ballon, on introduit une masse m_1 = 27,6 g d'acide salicylique, un volume V_2 d'environ 20 mL de méthanol et 1 mL d'acide sulfurique concentré. Puis on chauffe à reflux. Sur le flacon de méthanol, on peut voir les pictogrammes suivants :

R : 11 *- Facilement inflammable.*
R : 23/25 *- Toxique par inhalation et par ingestion.*
S : 7 *- Conserver le récipient bien fermé.*
S : 16 *- Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles - Ne pas fumer.*
S : 24 *- Éviter le contact avec la peau.*
S : 45 *- En cas d'accident ou de malaise consulter immédiatement un médecin.*

AFFIRMATION 1 : on doit manipuler le méthanol sous la hotte.

AFFIRMATION 2 : le schéma d'un chauffage à reflux est le suivant :

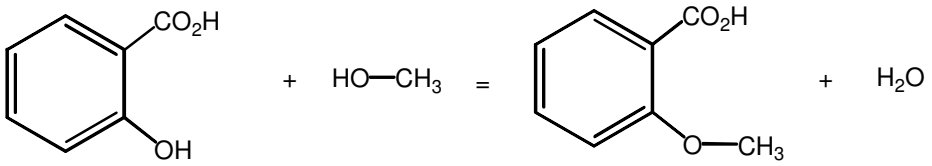


AFFIRMATION 3 : pour prélever le méthanol, il faut absolument utiliser une pipette jaugée munie d'une poire à pipeter (ou propipette).

AFFIRMATION 4 : la quantité n_1 d'acide salicylique introduit vaut $n_1 = 2{,}00 \times 10^{-1}$ mol.

AFFIRMATION 5 : la quantité n_2 de méthanol introduit vaut environ n_2 = 5 mol.

AFFIRMATION 6 : l'équation associée à la réaction de synthèse du salicylate de méthyle s'écrit :



Acide salicylique

AFFIRMATION 7 : le réactif introduit en excès est le méthanol.

Après plusieurs heures de chauffage, on refroidit à température ambiante. On ajoute 100 mL d'eau glacée et on verse dans une ampoule à décanter. On extrait la phase organique avec du cyclohexane. Cette phase a une masse volumique proche de celle du cyclohexane.

AFFIRMATION 8 : la phase organique se situe dans la partie inférieure de l'ampoule à décanter.

La phase organique contient l'ester, du méthanol, du cyclohexane et des acides. On lave ensuite plusieurs fois cette phase avec une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium afin d'éliminer les acides restant dans la solution. Il se produit un dégagement gazeux.

AFFIRMATION 9 : le gaz est du dioxyde de carbone.

On effectue à nouveau un lavage à l'eau et on sèche. On sépare les constituants de la phase organique par distillation.

AFFIRMATION 10 : lors de la distillation, le salicylate de méthyle est recueilli en premier.

Après purification, on récupère une masse m_3 = 21 g de salicylate de méthyle.

AFFIRMATION 11 : le rendement de cette synthèse est de 50 %.

AFFIRMATION 12 : l'ajout d'acide sulfurique a permis d'augmenter le rendement de la synthèse.

AFFIRMATION 13 : l'excès d'un des réactifs a permis d'augmenter le rendement de la synthèse.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION

PHYSIQUE - CHIMIE

Série S

ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 6

L'usage des calculatrices EST autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, annexes comprises.

Les pages 9/11 – 10/11 et 11/11 sont à rendre agrafées dans la copie.

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

Exercice 1 : GALILEO (5 points)
Exercice 2 : PHYSIQUE, CHIMIE ET STIMULATEUR CARDIAQUE (7 points)
Exercice 3 : À PROPOS DU LAIT (4 points)

EXERCICE 1 : GALILEO (5 points)

DOCUMENT

Connaître sa position exacte dans l'espace et dans le temps, autant d'informations qu'il sera nécessaire d'obtenir de plus en plus fréquemment avec une grande fiabilité. Dans quelques années, ce sera possible avec le système de radionavigation par satellite GALILEO, initiative lancée par l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne (ESA). Ce système mondial assurera une complémentarité avec le système actuel GPS (Global Positioning System).
GALILEO repose sur une constellation de trente satellites et des stations terrestres permettant de fournir des informations concernant leur positionnement à des usagers de nombreux secteurs (transport, services sociaux , justice, etc...).
Le premier satellite du programme, Giove-A, a été lancé le 28 décembre 2005.

D'après le site http://www.cnes.fr/

DONNÉES :

- *Constante de gravitation* : $G = 6{,}67\times10^{-11}\ m^3.kg^{-1}.s^{-2}$
- *La Terre est supposée sphérique et homogène. On appelle* O *son centre, sa masse* $M_T = 5{,}98\times10^{24}$ kg *et son rayon* $R_T = 6{,}38\times10^3$ km.
- *Le satellite Giove-A est assimilé à un point matériel* G *de masse* $m_{sat} = 700$ kg. *Il est supposé soumis à la seule interaction gravitationnelle due à la Terre, et il décrit de façon uniforme un cercle de centre* O, *à l'altitude* $h = 23{,}6\times10^3$ km.

I – Mouvement du satellite Giove-A autour de la Terre

1 – a - Sans souci d'échelle, faire un schéma représentant la Terre, le satellite sur sa trajectoire et la force exercée par la Terre sur le satellite.
b - En utilisant les notations du texte, donner l'expression vectorielle de cette force. On notera $\vec{u}$ le vecteur unitaire dirigé de O vers G.

2 – a - Dans quel référentiel le mouvement du satellite est-il décrit ?
b - Quelle hypothèse concernant ce référentiel faut-il faire pour appliquer la seconde loi de Newton ?
c - En appliquant la seconde loi de Newton au satellite, déterminer l'expression du vecteur-accélération $\vec{a}$ du point G.

3 – a - Donner les caractéristiques du vecteur-accélération $\vec{a}$ d'un point matériel ayant un mouvement circulaire uniforme.
b - Montrer alors que la vitesse v du satellite est telle que :

$$v^2 = G\frac{M_T}{R} \quad \text{avec} \quad R = R_T + h$$

4 – a - Définir la période de révolution T du satellite.
Donner son expression en fonction de G, M_T et R.
b - Calculer la période T.

II – Comparaison avec d'autres satellites terrestres

Il existe actuellement deux systèmes de positionnement par satellites : le système américain GPS *et le système russe* GLONASS.
*Le tableau fourni sur l'**ANNEXE N°1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, rassemble les périodes* T *et les rayons* R *des trajectoires des satellites correspondants, ainsi que les données relatives aux satellites de type Météosat.*
Ces données permettent de tracer la courbe donnant T^2 *en fonction de* R^3.

1 – a – Compléter la ligne du tableau relative au satellite Giove-A (GALILEO).
b – Placer le point correspondant dans le système d'axes proposés sur l'annexe n°1 et tracer la courbe donnant T^2 en fonction de R^3.

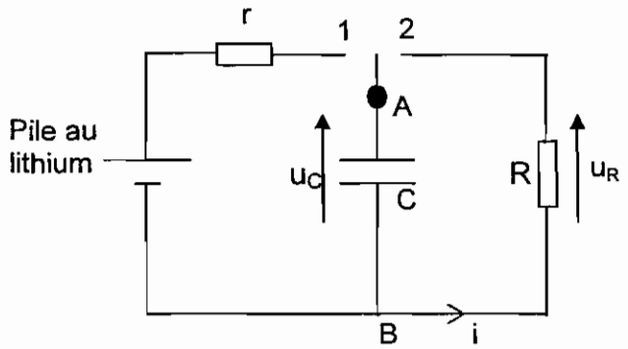
2 – a – Que peut-on déduire du tracé précédent ? Justifier.
b – Montrer que le résultat de la question I-4-a est conforme au tracé obtenu.
c – Comment nomme-t-on la loi ainsi mise en évidence ?

EXERCICE 2 : PHYSIQUE, CHIMIE ET STIMULATEUR CARDIAQUE (7 points)

DOCUMENT :

Un stimulateur cardiaque est un dispositif hautement perfectionné et très miniaturisé, relié au cœur humain par des électrodes (appelées les sondes). Le stimulateur est actionné grâce à une pile intégrée, généralement au lithium ; il génère de petites impulsions électriques de basse tension qui forcent le cœur à battre à un rythme régulier et suffisamment rapide. Il comporte donc deux parties : le boîtier, source des impulsions électriques, et les sondes, qui conduisent le courant.

Le générateur d'impulsions du stimulateur cardiaque peut être modélisé par le circuit représenté ci-dessous :



La valeur de r est très faible, de telle sorte que le condensateur se charge très rapidement lorsque l'interrupteur (en réalité un dispositif électronique) est en position 1. Lorsque la charge est terminée, l'interrupteur bascule en position 2. Le condensateur se décharge lentement dans la résistance R, de valeur élevée.
Quand la tension aux bornes de R atteint une valeur donnée (e^{-1} fois sa valeur initiale, avec ln(e) = 1), le boîtier envoie au cœur une impulsion électrique par l'intermédiaire des sondes. L'interrupteur bascule simultanément en position 1 et la recharge du condensateur se fait quasiment instantanément à travers r. Le processus recommence.

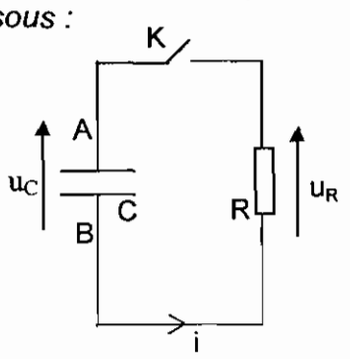
D'après Physique, Terminale S, Ed. Bréal

Les parties I et II sont indépendantes.

I – Étude du générateur d'impulsions

Pour déterminer la valeur de la résistance R, on insère le condensateur préalablement chargé sous la tension E dans le circuit schématisé ci-dessous :

La valeur de la capacité C du condensateur utilisé est : C = 0,40 µF



*On enregistre alors l'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur. La courbe obtenue est fournie sur l'**ANNEXE N°2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.*

1 – Exploitation de la courbe

a – Déterminer graphiquement la valeur de la tension E.
b – Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ correspondant à la décharge du condensateur, en justifiant brièvement.

2 – Détermination de R

a - En respectant les notations du schéma ci-dessus, donner :
- la relation liant l'intensité du courant i et la charge q de l'une des armatures du condensateur, que l'on précisera ;
- la relation liant u_R et i.

b - En déduire que la tension u_C aux bornes du condensateur vérifie l'équation différentielle :

$$\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{RC}u_c = 0$$

c - Montrer que cette équation différentielle admet une solution de la forme :

$$u_C(t) = A\exp(-\frac{t}{\tau})$$

Donner les expressions de A et τ en fonction de E, C et R.

d - En utilisant la valeur de τ déterminée à la question 1-b, calculer la valeur de R.

3 – Les impulsions

On admet pour la suite que, tant que le condensateur se décharge, l'évolution de u_R en fonction du temps est donnée par :

$$u_R(t) = 5{,}6\exp(-\frac{t}{0{,}80})$$

On rappelle qu'une impulsion électrique est envoyée au cœur lorsque la tension aux bornes de R atteint e^{-1} fois sa valeur initiale.

a – Calculer la valeur de u_R qui déclenche l'envoi d'une impulsion vers le cœur.
b – À quelle date après le début de la décharge du condensateur, cette valeur est-elle atteinte ?
c – Que se passe-t-il après cette date ? Représenter l'allure de l'évolution de u_R au cours du temps lors de la génération des impulsions. Préciser les valeurs remarquables.
d – Déterminer la fréquence des impulsions de tension ainsi générées. On exprimera le résultat en hertz, puis en impulsions par minute. Vérifier que le résultat est bien compatible avec une fréquence cardiaque normale.

II – Étude d'une pile au lithium

Les différents types de piles au lithium ont tous en commun une électrode de lithium et un électrolyte constitué d'un solvant organique contenant entre autres des ions lithium Li^+. *L'équation de la réaction qui se produit à cette électrode est :* $Li = Li^+ + e^-$.

DONNÉES : *Masse molaire du lithium* : 6,9 $g.mol^{-1}$
Valeur du Faraday : $9,65 \times 10^4$ C

1 – Fonctionnement de la pile

Pour chacune des affirmations suivantes, répondre par VRAI ou FAUX en justifiant rapidement votre choix.

a – L'électrode de lithium est le pôle négatif de la pile.
b – Lors de son fonctionnement, la pile constitue un système chimique en équilibre.
c – Lors du fonctionnement de la pile, le quotient Qr de la réaction qui se produit est inférieur à la constante d'équilibre K correspondante.
d – La pile est usée lorsque tous les ions Li^+ ont été consommés.

2 – Quantité maximale d'électricité fournie par la pile

a – Montrer par analyse dimensionnelle qu'une quantité d'électricité peut s'exprimer en ampère.heure (A.h) et justifier l'égalité : 1 A.h = 3600 C.
b – Calculer en C, puis en A.h, la quantité d'électricité que pourrait fournir une pile contenant 1,0 g de lithium.

3 – Intérêt du lithium

Le tableau suivant rassemble les « capacités massiques de stockage » de plusieurs éléments entrant dans la composition de différents types de piles. Cette « capacité massique » est la quantité maximale d'électricité que peut débiter la pile par kg d'élément constituant. Elle peut s'exprimer en $A.h.kg^{-1}$.

Élément	Cadmium	Zinc	Argent	Lithium
Capacité massique ($A.h.kg^{-1}$)	480	500	820	3880

a - Pour une même intensité de courant électrique débité, comment évolue la durée de fonctionnement de la pile en fonction de sa « capacité massique » ?
b - Pourquoi utilise-t-on des piles au lithium pour alimenter les stimulateurs cardiaques ?

EXERCICE 3 : À PROPOS DU LAIT (4 points)

DOCUMENT :

« Naturellement le lait n'est pas qu'eau et matière grasse, car les deux corps ne se mélangent pas : du beurre fondu et de l'eau restent séparés (...). De fait, le lait contient également des protéines et diverses autres molécules « tensioactives », c'est-à-dire qui ont une partie soluble dans l'eau et une partie soluble dans la matière grasse. En plaçant au contact de l'eau leur partie soluble dans l'eau et au contact de la graisse leur partie soluble dans la graisse, ces molécules tensioactives forment un enrobage qui délimite les globules de matière grasse, les stabilise et assure leur dispersion dans l'eau. Cette stabilisation est renforcée par les molécules de caséine, qui, à la surface des globules assurent une répulsion mutuelle de ceux-ci car elles sont négativement chargées. »

Extrait de : Les secrets de la casserole, H.This, Ed. Belin

DONNÉES :

- *Le lactose est le sucre caractéristique du lait. Sous l'action d'enzymes, le lactose se transforme en acide lactique au cours du temps, augmentant l'acidité naturelle du lait.*
- *Acide lactique : formule semi développée :* CH_3-CHOH-COOH
  masse molaire : 90,0 $g.mol^{-1}$
- *Le* pKa *du couple acido-basique de l'acide lactique est égal à* 3,8.

On notera HA *l'acide lactique.*

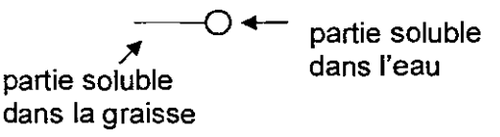
Les parties I, II et III sont indépendantes.

I – Étude du document

1 – a - Reformuler en langage scientifique l'expression : « *du beurre fondu et de l'eau restent séparés* ».

b - Donner l'adjectif qui permet de qualifier la partie soluble dans l'eau des molécules tensioactives.

2 – *Une molécule tensioactive peut être représentée par :*



Schématiser un « *globule de matière grasse* » en suspension dans l'eau.

II – L'acide lactique

1 – a - Donner la formule semi-développée de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.

b - Donner l'expression de la constante d'acidité Ka du couple acide lactique / ion lactate.

La mesure au laboratoire du pH *d'une solution d'acide lactique de concentration* c *égale à* $1{,}0\times10^{-2}$ mol.L^{-1} *donne pH* = 2,9.
*On utilisera le tableau d'avancement n°1 fourni dans l'**ANNEXE N°3 À RENDRE AVEC LA COPIE**.*

2 – a - Calculer la concentration en ions oxonium dans la solution.

b - Définir, puis calculer le taux d'avancement de la réaction de l'acide lactique avec l'eau. Conclure.

3 – a - À partir des résultats expérimentaux précédents, calculer la valeur de la constante Ka du couple de l'acide lactique, puis celle de son pKa.

b - Quelle peut être la cause du léger écart observé avec la valeur donnée dans le texte ?

III – Dosage de l'acide lactique dans un lait

On introduit dans un erlenmeyer 20,0 mL *d'un échantillon de lait et quelques gouttes de phénolphtaléine. On ajoute progressivement une solution d'hydroxyde de sodium de concentration* $5{,}0\times10^{-2}$ mol.L^{-1}. *Le changement de couleur du milieu réactionnel est observé pour un volume de solution d'hydroxyde de sodium ajouté égal à* 9,2 mL.

1 – Faire le schéma annoté du montage expérimental.

2 – a - Écrire l'équation de la réaction entre l'acide lactique et l'ion hydroxyde (HO^-).

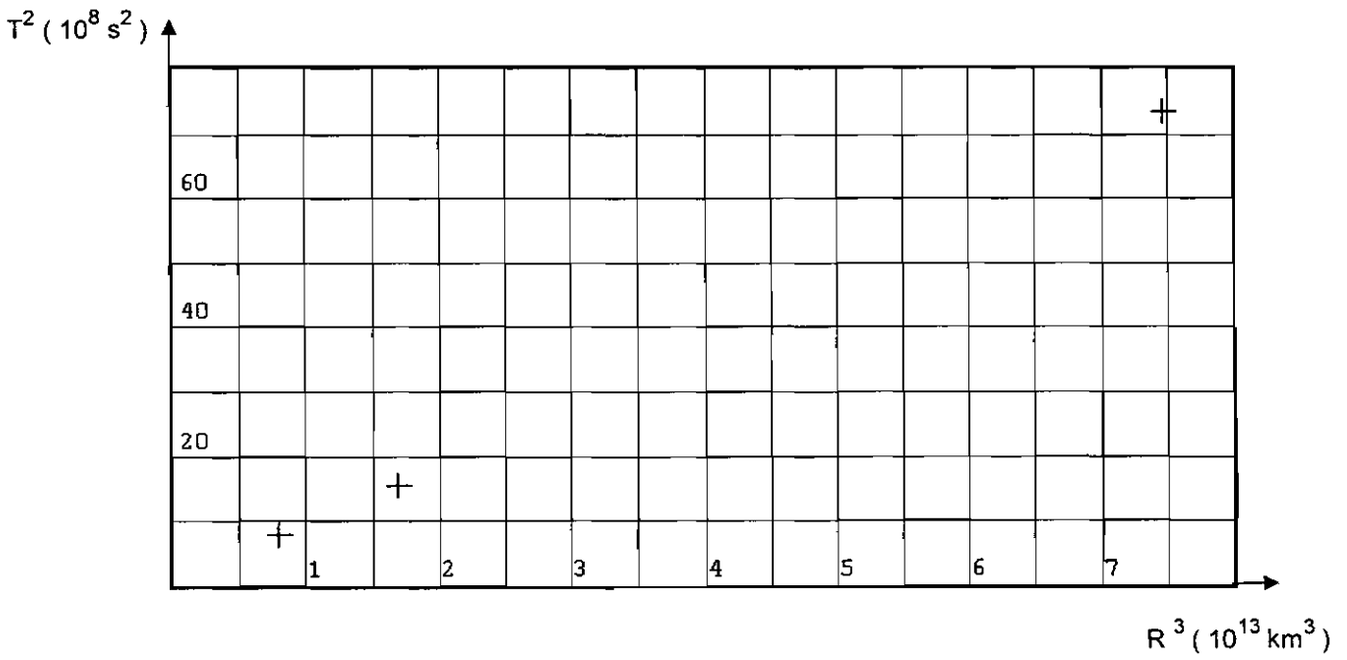
b - Utiliser le tableau d'avancement n°2 fourni dans l'**ANNEXE N°3 À RENDRE AVEC LA COPIE** pour déterminer la concentration molaire en acide lactique du lait étudié.

3 – *La concentration en acide lactique d'un lait frais ne doit pas dépasser* 1,8 g.L^{-1}.
Conclure quant à la fraîcheur du lait étudié.

ANNEXE N°1 (Exercice I) À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

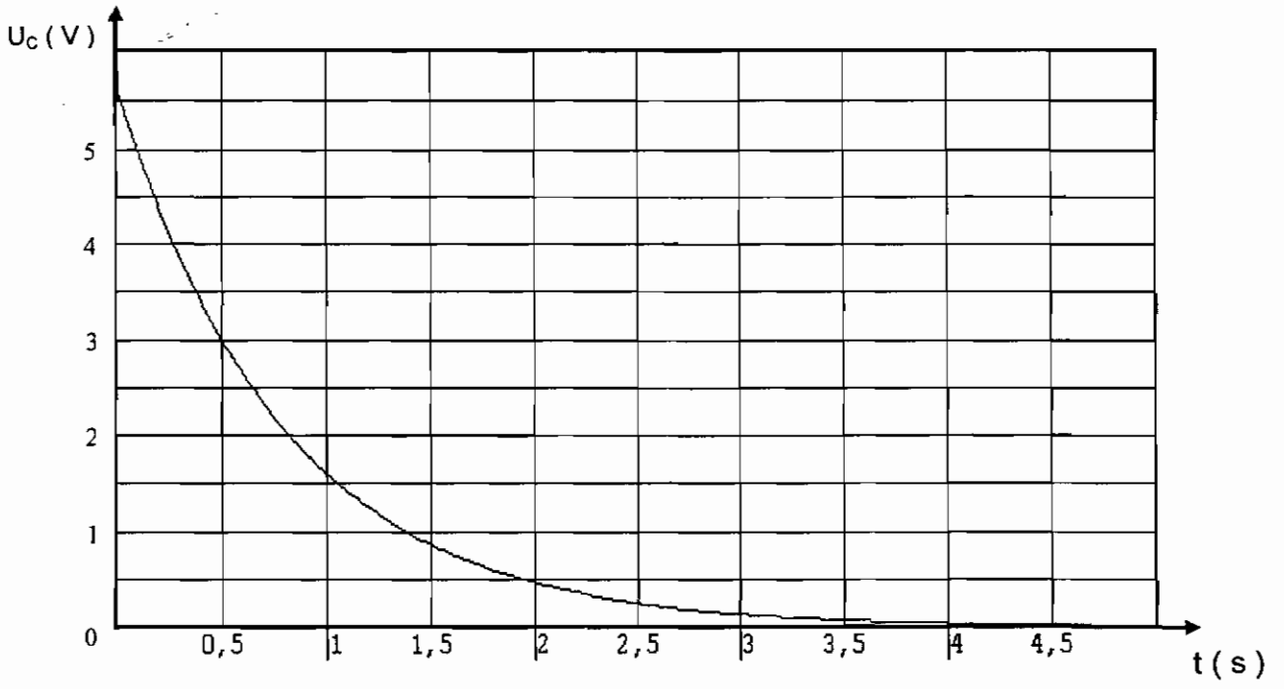
Satellite	Rayon de la trajectoire R (km)	Période de révolution T (s)	R^3 (km^3)	T^2 (s^2)
GPS	$20{,}2\times10^3$	$2{,}88\times10^4$	$8{,}24\times10^{12}$	$8{,}29\times10^8$
GLONASS	$25{,}5\times10^3$	$4{,}02\times10^4$	$1{,}66\times10^{13}$	$1{,}62\times10^9$
GALILEO				
METEOSAT	$42{,}1\times10^3$	$8{,}58\times10^4$	$7{,}46\times10^{13}$	$7{,}36\times10^9$

COURBE DONNANT T^2 EN FONCTION DE R^3 :



ANNEXE N°2 (Exercice II) À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

Évolution de la tension u_C aux bornes de C en fonction du temps :



ANNEXE N°3 (Exercice III) À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

Tableau d'avancement n°1

Équation chimique					
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	X = 0				
État intermédiaire	X				
État final	X_f				

Tableau d'avancement n°2

Équation chimique					
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	X = 0				
État intermédiaire	X				
État final	X_f				

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : **3 h 30**

Obligatoire

Coefficient : **6**

L'usage des calculatrices **N'EST PAS AUTORISÉ**.

Le sujet **NECESSITE** une feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

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

Exercice 1 : Étude cinétique de la réaction de dismutation de l'eau oxygénée (6,5 points)

Exercice 2 : Le trébuchet (5,5 points)

Exercice 3 : Radioactivité et datation au carbone 14 (4 points)

Exercice 1 : Etude cinétique de la dismutation de l'eau oxygénée (6,5 points)

L'eau oxygénée commerciale est une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène utilisée comme désinfectant pour des plaies, pour l'entretien des lentilles de contact ou comme agent de blanchiment.
Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) intervient dans deux couples oxydant-réducteur : $H_2O_{2(aq)}$ / $H_2O_{(l)}$ et $O_{2(g)}$ / $H_2O_{2(aq)}$.
Le peroxyde d'hydrogène est capable dans certaines conditions de réagir sur lui-même c'est à dire de se dismuter selon l'équation de réaction suivante :

$$2\ H_2O_{2(aq)} = 2\ H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \quad \boxed{\text{Réaction 1}}$$

Cette réaction est lente à température ordinaire mais sa vitesse peut être augmentée en présence d'un catalyseur.

Données :
Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience : $V_m \approx 25\ L.mol^{-1}$.

La partie 3 est indépendante des parties 1 et 2.

Partie 1 : Étude de la réaction de dismutation

1. Écrire les deux demi-équations d'oxydoréduction des deux couples auxquels le peroxyde d'hydrogène appartient.

2. Compléter le tableau d'évolution du système en **annexe page 9/10 à remettre avec la copie.**

Partie 2 : Détermination de la concentration initiale de la solution de peroxyde d'hydrogène

L'eau oxygénée du commerce se présente en flacons opaques afin d'éviter que la lumière favorise la transformation chimique précédente. Le flacon utilisé dans cette étude porte la mention suivante : eau oxygénée à 10 volumes. Cette indication est appelée le titre de l'eau oxygénée.
Par définition, le titre est le volume de dioxygène (exprimé en litres) libéré par un litre de solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène suivant la réaction de dismutation dans les conditions normales de température et de pression (réaction 1). On considèrera, en première approximation, que les conditions de l'expérience sont assimilables aux conditions normales.
Avant de réaliser le suivi cinétique de la réaction de dismutation, on désire vérifier l'indication donnée sur le flacon concernant le titre de l'eau oxygénée de la solution commerciale utilisée.

1. Calcul de la valeur attendue de la concentration en peroxyde d'hydrogène.

   1.1 Par définition du titre de l'eau oxygénée, quel volume de dioxygène $V(O_2)$ serait libéré par un volume V = 1,00 L de la solution commerciale au cours de la réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène ?

   1.2 Calculer la quantité de dioxygène formé au cours de cette transformation.

1.3 La transformation précédente étant considérée comme totale, vérifier que la concentration en peroxyde d'hydrogène notée $[H_2O_2]_{th}$ de cette solution commerciale (valeur théoriquement attendue) a pour valeur :
$[H_2O_2]_{th} = 8{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L $^{-1}$.

2. Détermination de la valeur réelle de la concentration en peroxyde d'hydrogène.

Pour vérifier la valeur de la concentration précédente, on réalise le titrage d'un volume V_0 = 10,0 mL de cette solution par une solution de permanganate de potassium acidifiée de concentration en soluté $C_1 = 2{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L $^{-1}$. Les couples oxydant-réducteur intervenant au cours du titrage sont $MnO_4^-{}_{(aq)}/Mn^{2+}{}_{(aq)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{2(aq)}$. Le volume de permanganate de potassium versé pour obtenir l'équivalence est V_{eq} = 14,6 mL.
L'équation de la réaction de titrage est la suivante :

$$5\ H_2O_{2(aq)} + 2\ MnO_4^-{}_{(aq)} + 6\ H_3O^+{}_{(aq)} = 5\ O_{2(g)} + 2\ Mn^{2+}{}_{(aq)} + 14\ H_2O_{(l)}$$ Réaction 2

2.1 L'ion permanganate $MnO_4^-{}_{(aq)}$ donne une coloration violette aux solutions aqueuses qui le contiennent.
Comment l'équivalence est-elle repérée au cours du titrage ?

2.2 Quelle relation peut-on écrire entre la quantité initiale de peroxyde d'hydrogène se trouvant dans le bécher $n_0(H_2O_2)$ et la quantité d'ions permanganate introduits dans le bécher à l'équivalence $n_{eq}(MnO_4^-)$?

2.3 Donner l'expression de la concentration en peroxyde d'hydrogène de la solution commerciale $[H_2O_2]_{exp}$ en fonction de C_1, V_0 et V_{eq}.

2.4 Montrer que l'on a : $[H_2O_2]_{exp} = 7{,}3 \times 10^{-1}$ mol.L $^{-1}$.

2.5 Comparer à la valeur obtenue à la question *1.3*. Les erreurs de manipulation mises à part, comment peut-on expliquer l'écart de concentration obtenu ?

Partie 3 : Étude cinétique de la dismutation du peroxyde d'hydrogène

La dismutation du peroxyde d'hydrogène est une réaction lente mais qui peut être accélérée en utilisant par exemple des ions fer III ($Fe^{3+}{}_{(aq)}$) présents dans une solution de chlorure de fer III, un fil de platine ou de la catalase, enzyme se trouvant dans le sang.
L'équation de la réaction associée à cette transformation est donnée dans l'introduction (réaction 1).

1. Donner la définition d'un catalyseur.

2. À quel type de catalyse correspond la catalyse réalisée par un fil de platine ?

La transformation étudiée est catalysée par les ions fer III. On mélange 10,0 mL de la solution commerciale d'eau oxygénée avec 85 mL d'eau. À l'instant t = 0 s, on introduit dans le système 5 mL d'une solution de chlorure de fer III.
Au bout d'un temps déterminé, on prélève 10,0 mL du mélange réactionnel que l'on verse dans un bécher d'eau glacée. On titre alors le contenu du bécher par une solution de permanganate de potassium afin de déterminer la concentration en peroxyde d'hydrogène se trouvant dans le milieu réactionnel.

On obtient les résultats suivants :

t (min)	0	5	10	20	30	35
$[H_2O_2]$ mol.L^{-1}	$7{,}30\times10^{-2}$	$5{,}25\times10^{-2}$	$4{,}20\times10^{-2}$	$2{,}35\times10^{-2}$	$1{,}21\times10^{-2}$	$0{,}90\times10^{-2}$

3. Tracer sur la feuille de papier millimétré **à remettre avec la copie** l'évolution de la concentration en peroxyde d'hydrogène en fonction du temps.

   Échelles : en abscisses 2 cm pour 5 min
   en ordonnées 2 cm pour 1 × 10^{-2} mol.L^{-1}

4. En utilisant le tableau d'évolution du système proposé en **annexe page 9/10**, exprimer l'avancement de la transformation *x(t)* en fonction de $n_t(H_2O_2)$ quantité de peroxyde d'hydrogène présent à l'instant t et de $n_0(H_2O_2)$ quantité initiale de peroxyde d'hydrogène.

5. La vitesse volumique v de la transformation chimique est définie comme étant le rapport de la dérivée de l'avancement x(t) en fonction du temps par le volume V du système :

$$v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx(t)}{dt}$$

   En utilisant la relation obtenue à la question **4.**, montrer que cette vitesse v peut être exprimée par la relation suivante :

$$v = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d[H_2O_2]}{dt}.$$

6. En s'aidant de la relation précédente et de la courbe d'évolution de la concentration en eau oxygénée en fonction du temps, indiquer comment évolue la vitesse de la transformation chimique au cours du temps. Expliquer le raisonnement.

7. Comment peut-on expliquer que la vitesse évolue de cette manière au cours de la transformation ?

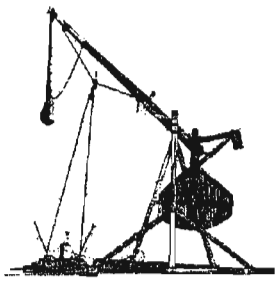
8. Donner la définition du temps de demi réaction $t_{1/2}$.

9. Montrer que lorsque $t = t_{1/2}$ alors $[H_2O_2]_{t_{1/2}} = \frac{[H_2O_2]_0}{2}$ et en déduire graphiquement la valeur de $t_{1/2}$.

10. Si la transformation chimique étudiée avait été réalisée à une température plus élevée, comment aurait évolué le temps de demi réaction ? Justifier.

Exercice 2 : Le trébuchet (5,5 points)

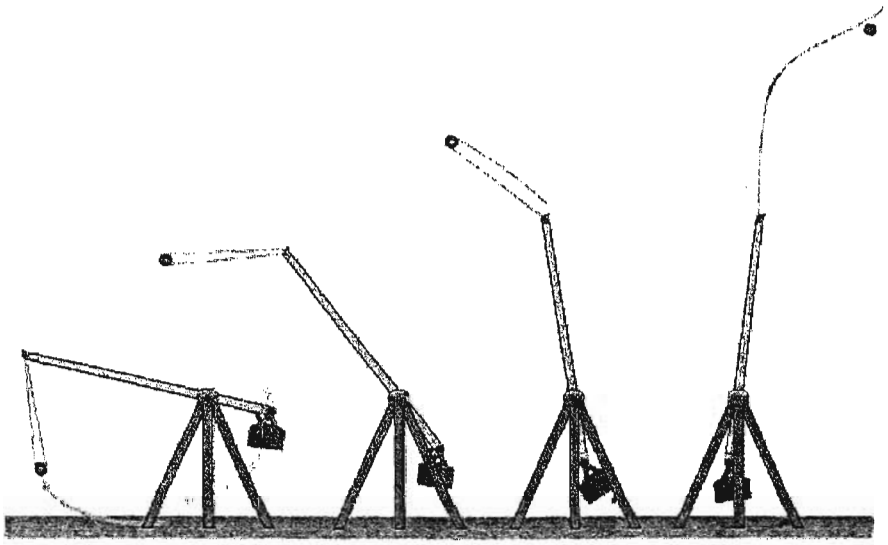
Le trébuchet est une machine de guerre utilisée au Moyen Âge au cours des sièges de châteaux forts. Le projectile pouvait faire des brèches dans les murailles des châteaux forts situés à plus de 200 m du trébuchet. Son principe de fonctionnement est le suivant :



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 de la poche, le projectile se trouve à une hauteur H = 10 m et est projeté avec une vitesse $\vec{v}_0$ faisant un angle α avec l'horizontale (voir ***figure 1 de l'annexe page 9/10 à remettre avec la copie****).*

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



www.home.no/fhide/trebuchet.htm

Données *:*

Masse du projectile m = 130 kg.
Intensité du champ de pesanteur $g \approx 10\ m.s^{-2}$.
Hauteur du projectile au moment du lancer : H = 10 m.
Masse volumique de l'air $\rho_{air} = 1{,}3\ kg.m^{-3}$.
Volume du projectile V = 50 L.

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 de l'annexe page 9/10 à remettre avec la copie****.*

1. Donner les caractéristiques (sens, direction et valeur) 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 2nde 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 α.
5. On appelle composante horizontale de la vitesse la coordonnée $v_x(t)$ du vecteur $\vec{v}$ et composante verticale la coordonnée $v_z(t)$.

   Déterminer l'expression des composantes horizontale et verticale $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v}$ du système au cours de son mouvement.
6. En déduire la nature du mouvement du projectile en projection sur l'axe horizontal. Justifier.
7. Déterminer l'expression des équations horaires du mouvement du projectile : x(t) et z(t).
8. Montrer que l'équation de la trajectoire du projectile est la suivante :

$$z = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2\cos^2\alpha} + x\tan\alpha + H.$$

9. Quelle est la nature de la trajectoire du projectile ? Représenter qualitativement l'allure de la trajectoire sur la **figure 1 de l'annexe page 9/10 à remettre avec la copie**.
10. En utilisant l'expression de l'équation de la trajectoire obtenue à la question **8.**, indiquer les paramètres de lancement qui jouent un rôle dans le mouvement du projectile.
11. Dans le cas où le projectile est lancé avec une vitesse initiale horizontale, montrer que l'abscisse de son point de chute est : $x = v_0 . \sqrt{\frac{2H}{g}}$.
12. 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 m ?

    Aide au calcul : $\sqrt{0,5} = 7,1 \times 10^{-1}$, $\sqrt{2} = 1,41$.

Exercice 3 : Radioactivité et datation au carbone 14 (4 points)

La radioactivité naturelle (qui concerne les nucléides existant naturellement dans la nature) fut découverte en 1896, de manière fortuite, par Henri Becquerel (physicien français 1852 - 1908). Le signe le plus perceptible de la radioactivité est l'existence d'un rayonnement émis par les atomes de certains nucléides et dont l'origine se situe au niveau de leur noyau qui est instable. On observe ainsi, par exemple, les rayonnements (on parle de radioactivité) β (béta+ ou béta-), qui s'accompagnent souvent d'émission γ (gamma), radiation électromagnétique de même nature que la lumière, provenant du retour à l'état fondamental d'un noyau fils suite à la transmutation d'un noyau père radioactif.

1. Équation de désintégration nucléaire, diagramme (Z, N)

1.1 Parmi les 3 types de radioactivité étudiés en classe de terminale, citer celle qui n'a pas été évoquée dans le texte plus haut. Donner la composition de la particule émise lors de cette radioactivité.

Le diagramme ci-dessous est un diagramme (Z, N) très simplifié et schématique (Z : nombre de protons, N : nombre de neutrons).

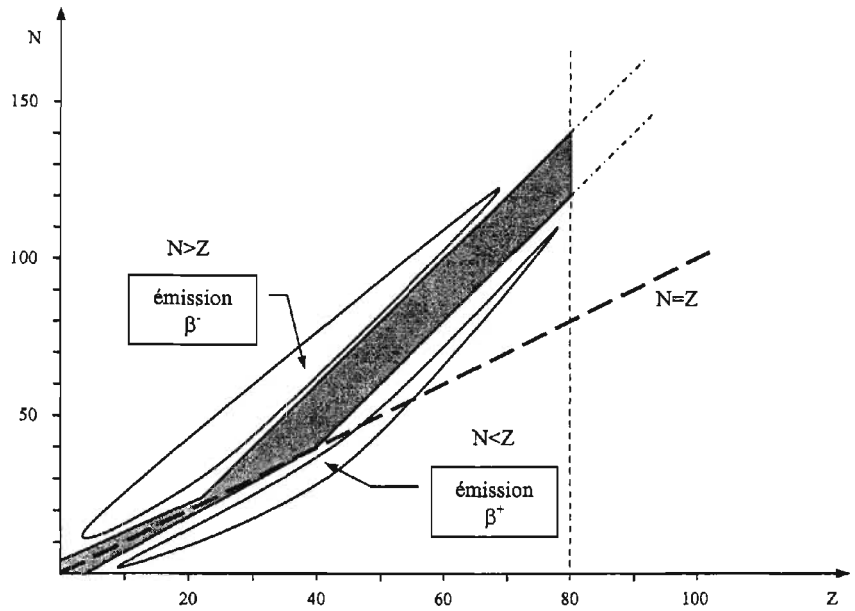
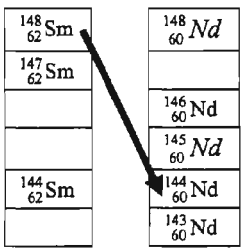


Figure 1.

1.2 Que représente la zone grisée dans le diagramme (Z, N), **Figure 1** ?

1.3 Soit la réaction nucléaire de transmutation indiquée par la flèche ci-contre entre un noyau père et son noyau fils.



1.3.1 Sachant qu'une seule particule est émise en plus du noyau fils, écrire cette réaction de désintégration nucléaire et indiquer les deux lois de conservation (lois de Soddy) qui régissent toute réaction nucléaire.

1.3.2 Quel type de radioactivité concerne la réaction précédente (celle du 1.3.1). ?

De toutes les méthodes radio chronologiques (basées sur la loi statistique de Curie-Rutherford-Soddy ou loi de décroissance radioactive), celle de la datation du carbone 14 est la plus connue. Dans la haute atmosphère, soumis au RCG (rayonnement cosmique galactique constitué de protons), des neutrons secondaires interagissent avec des noyaux d'azote 14. Cette réaction forme un isotope ${}^{A}_{Z}X$ *du carbone : le fameux carbone 14. Immédiatement formé, le carbone 14 s'oxyde en se combinant à l'oxygène pour former du dioxyde de carbone qui se mélange avec le reste de l'atmosphère. Or le carbone 14 est radioactif. Williard Franck Libby (physicien et chimiste américain 1908 - 1980) a montré que la teneur en carbone 14 est constante dans le monde (dans l'atmosphère comme dans chaque organisme vivant). Cela est dû à un équilibre entre la désintégration et la production de carbone 14. Chaque gramme de carbone contient des atomes de carbone 14. On enregistre en moyenne 13,5 désintégrations par minute et par gramme de carbone. Lorsqu'un arbre, par exemple, est abattu, le bois cesse de vivre, le processus de photosynthèse s'arrête et il n'y a plus absorption de dioxyde de carbone. Le carbone 14 est alors libre de se désintégrer sans compensation. On peut donc dater l'âge de la mort de l'organisme (au moment où cesse tout échange de* CO_2 *avec l'atmosphère).*

Données *: Z (C) = 6 , Z (N) = 7.*

2. Formation du carbone 14 dans la haute atmosphère

2.1 L'azote 14 et le carbone 14 sont-ils isotopes? Justifier.

2.2 Dans la haute atmosphère, l'équation de la réaction qui a lieu entre un neutron secondaire et un noyau d'azote 14 s'écrit :

$$ {}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{1}p. $$

Vérifier, en justifiant avec les lois de conservation, que ${}^{A}_{Z}X$ est bien du carbone 14.

3. Décroissance du carbone 14

L'étude de l'évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs permet d'écrire :

$$ \Delta N = - \lambda N \Delta t $$

où N est le nombre de noyaux à la date t et ΔN *est la variation du nombre de noyaux pendant la durée* Δt *(entre t et t +* Δt*).*
Cette relation conduit à la loi de décroissance radioactive $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$ *dans laquelle* N_0 *est le nombre de noyaux à la date t = 0.*

3.1 Dans l'expression de la loi de décroissance radioactive, comment se nomme λ ?

3.2 D'après les travaux de Libby, la demi-vie ou période $t_{1/2}$ *du carbone 14 est* $t_{1/2}$ *= 5730 ans.*

3.2.1 Donner la définition de la demi-vie ou période $t_{1/2}$ du carbone 14.

3.2.2 En utilisant la loi de décroissance radioactive et en s'aidant de la définition de la demi-vie demandée au 3.2.1, montrer que λ est liée à la demi-vie $t_{1/2}$ par la relation $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

ANNEXES
(A remettre avec la copie)

ANNEXE DE L'EXERCICE 1

Question 1.2 (tableau d'évolution du système).

Équation chimique		$2\ H_2O_{2(aq)}$	$=\ O_{2(g)}$	$+\ 2\ H_2O_{(l)}$
État du système	***Avancement (en mol)***	***Quantité de matière (en mol)***		
État initial	X = 0	$n_0(H_2O_2)$	$n_0(O_2)_0 = 0$	
État en cours de transformation	X(t)			
État final	X_{max}			

ANNEXE DE L'EXERCICE 2

Figure 1.
Tir au trébuchet

3.2.3 Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de λ.

3.3 On rappelle que l'activité A d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations par seconde. À partir de cette définition, montrer que l'activité A à l'instant t et le nombre N de noyaux présents dans l'échantillon à l'instant t sont liés par la relation $A = \lambda N$.

3.4 En utilisant l'expression obtenue au *3.3*, calculer, en faisant apparaître l'application numérique, le nombre *N* d'atomes de carbone 14 dans 1 g de carbone tel que *A* = 13,5 désintégrations par minute pour ce gramme de carbone.

Données : $1\ an = 5{,}26\times10^{5}\ min = 60 \times 5{,}26\times10^{5}\ s$; $\frac{\ln 2}{5730} = 1{,}209\times10^{-4}$;

$\frac{5730}{\ln 2} = 8267$; $\frac{13{,}5\times5{,}26\times10^{5}}{1{,}209\times10^{-4}} = 5{,}88\times10^{10}$; $\frac{13{,}5\times5{,}26\times10^{5}}{8267} = 858{,}9$;

$\frac{5{,}26\times10^{5}}{8267\times13{,}5} = 4{,}713$; $13{,}5 \times 8267 \times 5{,}26 \times 10^{5} = 5{,}88 \times 10^{10}$.

4. Datation au carbone 14

La loi de décroissance radioactive concernant le carbone 14 peut également s'écrire en fonction de son activité : $A = A_0 \times e^{-\lambda.t}$ avec $A_0 = A_{t=0}$ l'activité initiale du carbone 14 (par exemple au moment de la mort d'un organisme) et A l'activité du carbone 14 mesurée à l'instant t.

Le prélèvement d'une poutre (en bois) dans la tombe du vizir Hemada à Sakara fournit une activité au moment de la mesure telle que A = 6,68 désintégrations par minute et par gramme de carbone alors que A_0 = 13,5 désintégrations par minute et par gramme de carbone.

4.1 Démontrer que l'expression qui permet de donner l'âge *t* de la mort d'un organisme s'écrit : $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$ avec $t_{1/2}$ = 5730 ans.

4.2 Calculer, en faisant apparaître l'application numérique, l'âge *t* de la tombe de ce vizir de la première dynastie des pharaons.

Données : $\frac{5730}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{6{,}68}{13{,}5}\right) = -5816$; $\frac{5730}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{13{,}5}{6{,}68}\right) = 5816$;

$\frac{\ln 2}{5730} \times \ln\left(\frac{6{,}68}{13{,}5}\right) = -8{,}511 \times 10^{-5}$; $\frac{\ln 2}{5730} \times \ln\left(\frac{13{,}5}{6{,}68}\right) = 8{,}511 \times 10^{-5}$.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Obligatoire

SESSION 2007

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 h 30 **Coefficient : 6**

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Ce sujet comporte 1 exercice de CHIMIE et 2 exercices de PHYSIQUE présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, y compris celle-ci.

Ce sujet comporte 4 annexes réparties sur 2 pages.

Le candidat doit traiter les 3 exercices, qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice n°1 : Synthèse d'un composé aromatique présent dans l'olivier de Bohème (6,5 points)
Exercice n°2 : Découverte de la radioactivité artificielle (5,5 points)
Exercice n°3 : Jeu du boulet (4 points)

Il sera tenu compte de la qualité de la présentation et de l'expression des résultats numériques en fonction de la précision des données fournies par l'énoncé (emploi correct des chiffres significatifs).

Exercice n°1 (6,5 points)

SYNTHÈSE D'UN COMPOSÉ AROMATIQUE PRÉSENT DANS L'OLIVIER DE BOHÊME

L'olivier de Bohème (ou Elaeagnus angustifolia) contient un grand nombre de composés aromatiques dont le benzoate d'éthyle de formule : $C_6H_5COOCH_2CH_3$.
On se propose dans cet exercice d'étudier la synthèse du benzoate d'éthyle qui est synthétisé grâce à la réaction qui a lieu entre l'acide benzoïque et l'éthanol.
Cette transformation est modélisée par la réaction d'équation :

$$C_6H_5COOH_{(s)} + CH_3CH_2OH_{(l)} = C_6H_5COOCH_2CH_{3(l)} + H_2O_{(l)}$$

1. ÉTUDE DE LA SYNTHÈSE

1.1. Caractéristiques de la réaction.

Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s) parmi les différentes propositions :

a) il s'agit d'une réaction d'estérification.

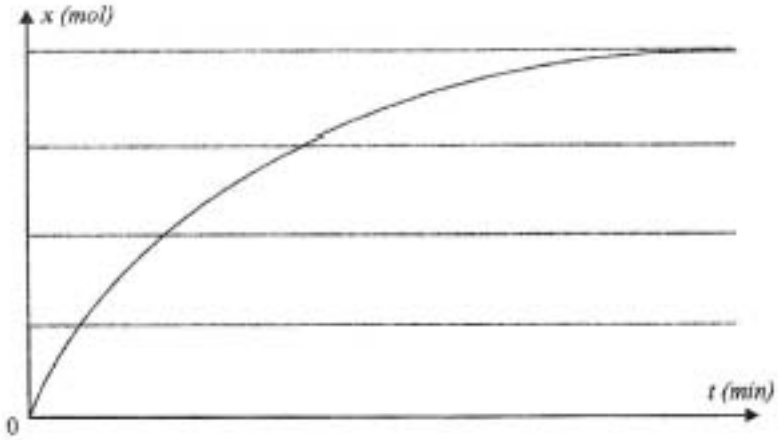
b) il s'agit d'une réaction d'hydrolyse d'un ester.

c) il s'agit d'une réaction de saponification.

d) cette réaction est rapide.

e) cette réaction est lente.

1.2. Le graphique ci-après donne l'allure de l'évolution de l'avancement molaire x de la réaction au cours du temps.



On rappelle que la vitesse volumique de réaction est donnée par la relation : $v = \frac{1}{V}\frac{dx}{dt}$
où x représente l'avancement molaire de la réaction à la date t et V le volume du mélange réactionnel.

1.2.1. En utilisant l'**ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)**, justifier à l'aide d'une construction graphique l'évolution de la vitesse de la réaction étudiée précédemment.

1.2.2. Définir le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$.

1.2.3. À l'aide d'une autre construction graphique sur l'**ANNEXE 1**, expliquer comment on peut déterminer ce temps de demi-réaction.

2. TITRAGE DE L'ACIDE BENZOÏQUE RESTANT À t_0

L'acide benzoïque C_6H_5COOH pourra être noté $RCOOH_{(aq)}$ en solution aqueuse dans la suite de l'exercice.

Données : couples acide/base de l'eau : $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$; $H_2O_{(l)}/HO^-_{(aq)}$

2.1. Propriétés acido-basiques de l'acide benzoïque en solution aqueuse.

2.1.1. Écrire l'équation de la réaction entre l'acide benzoïque et l'eau.

2.1.2. En déduire l'expression de la constante d'acidité Ka du couple acide benzoïque/ion benzoate.

2.1.3. Sachant que cette constante d'acidité vaut $6{,}3.10^{-5}$ à 25°C, vérifier que $pKa = 4{,}2$.

2.1.4. Tracer le diagramme de prédominance du couple acide benzoïque/ion benzoate.

2.1.5. Le pH d'une solution d'acide benzoïque vaut 6,0. Quelle est l'espèce prédominante à cette valeur de pH ?

Une fois la réaction de synthèse terminée, c'est-à-dire lorsque les quantités de matière des réactifs et des produits n'évoluent plus, on titre par pH-métrie la quantité de matière d'acide benzoïque restant dans le mélange réactionnel.

2.2. La solution de soude ($Na^+_{(aq)}$ + $HO^-_{(aq)}$) utilisée pour ce titrage a pour concentration $C_S = 2{,}0.10^{-1}$ mol.L^{-1}.
On appelle V_S le volume de soude versé au cours du titrage. La courbe $pH = f(V_S)$ obtenue est donnée sur l'ANNEXE 2 (**à rendre avec la copie**).

2.2.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

2.2.2. Déterminer les coordonnées du point d'équivalence.

2.2.3. On note $n_1(ac)$ la quantité de matière d'acide benzoïque présent dans le mélange réactionnel dosé. Montrer que $n_1(ac) = 2{,}4.10^{-3}$ mol.

2.2.4. Si on souhaitait refaire ce titrage plus rapidement, on utiliserait un indicateur coloré. Entre l'hélianthine et la phénolphtaléine, lequel faudrait-il choisir et pourquoi ?

Indicateur coloré	hélianthine	phénolphtaléine
Zone de virage	3,2 – 4,4	8,2 – 10,0

3. RENDEMENT DE LA SYNTHÈSE

La synthèse du benzoate d'éthyle étudiée précédemment a été réalisée en mélangeant une masse $m = 1{,}0$ g d'acide benzoïque et un volume $V = 10{,}0$ cm^3 d'éthanol.

3.1. Calculer la quantité de matière $n_0(ac)$ d'acide benzoïque introduit.

3.2. Calculer la quantité de matière $n_0(et)$ d'éthanol introduit.

3.3. Compléter littéralement le tableau d'avancement molaire donné sur l'**ANNEXE 3 (à rendre avec la copie).**

3.4. À l'aide du tableau d'avancement molaire précédent, des réponses aux questions 2.2.2. et 3.1., déterminer la quantité de matière $n_f(be)$ de benzoate d'éthyle qui s'est formée lorsque la réaction est terminée.

3.5. Exprimer puis calculer le rendement de la réaction à la date t_∞ c'est-à-dire lorsque les quantités de matière des réactifs et des produits n'évoluent plus.

3.6. Citer deux méthodes qui permettraient d'augmenter la vitesse de cette réaction.

Données :

Espèce chimique	acide benzoïque	benzoate d'éthyle	éthanol
Masse molaire (en g.mol^{-1})	122	150	46

Masse volumique de l'éthanol : $\mu = 0{,}79$ g.cm^{-3}

Exercice n°2 (5,5 points)

[redacted]

Le but de cet exercice est d'analyser quelques aspects du contenu scientifique du texte ci-dessous.

C'est vers 1932 que le couple de physiciens français Frédéric Joliot et Irène Curie commence à utiliser, pour ses recherches, une source de particules alpha émises spontanément par le polonium, un élément naturellement radioactif. Grâce à elle, ils peuvent provoquer des réactions nucléaires dans les atomes des éléments.

Les Joliot-Curie, avec cette source de particules alpha, bombardent des éléments et analysent les réactions nucléaires produites. Ils remarquent que des éléments légers, en particulier l'aluminium et le bore, éjectent parfois un neutron.

Mais ils observent également un autre phénomène, parfaitement inattendu : « la matière irradiée, notent-ils, conserve une radioactivité relativement durable après l'enlèvement de la source de particules alpha, radioactivité se manifestant par l'émission de positons ». Ainsi, une feuille d'aluminium irradiée émet un rayonnement dont l'intensité décroît exponentiellement en fonction du temps avec une demi-vie de 3 minutes 15 secondes. Un résultat analogue est obtenu avec du bore irradié, mais la demi-vie est différente : 14 minutes. La seule explication possible, c'est que l'aluminium et le bore, éléments naturellement stables, sont devenus radioactifs.

Les Joliot-Curie sont persuadés qu'ils ont trouvé le moyen de provoquer une radioactivité artificielle, par la création d'un élément instable et sa désintégration spontanée. Ils proposent une réaction probable : le noyau d'aluminium, contenant 13 protons et 14 neutrons, aurait capturé une particule alpha et aurait immédiatement réémis un neutron. L'aluminium se serait alors transmuté en un isotope instable du phosphore, composé de 15 protons et de 15 neutrons. Puis le phosphore radioactif se serait à son tour désintégré en silicium stable (14 protons, 16 neutrons), en émettant un positon.

Extrait tiré de : « Les grandes expériences scientifiques » de Michel Rival (Éditions du Seuil)

1. LA SOURCE DE PARTICULES ALPHA UTILISÉE PAR LES JOLIOT-CURIE

Le texte indique que les Joliot-Curie ont utilisé le polonium, élément naturellement radioactif, comme source de particules alpha.

1.1. Définir un noyau radioactif.

1.2. Qu'est-ce qu'une particule alpha ?

1.3. L'écriture de l'équation d'une réaction nucléaire utilise la notation $^{A}_{Z}X$ où X est le symbole de l'élément envisagé. Préciser ce que représentent A et Z.

1.4. À l'aide du tableau de données ci-dessous, écrire l'équation de la réaction nucléaire pour une émission alpha du polonium 210 dont le noyau est caractérisé par $^{210}_{84}Po$.

Notation $^{A}_{Z}X$ pour quelques noyaux	$^{198}_{80}Hg$ Hg : mercure	$^{204}_{82}Pb$ Pb : plomb	$^{214}_{86}Rn$ Rn : radon	$^{215}_{88}Ra$ Ra : radium

2. LA RÉACTION PROBABLE PROPOSÉE PAR LES JOLIOT-CURIE

2.1. Donner la notation ${}^{A}_{Z}X$ du noyau de phosphore (de symbole P) évoqué dans le texte.

2.2. À l'aide du texte et des lois de conservation (ou lois de Soddy), recopier et compléter l'équation de la réaction nucléaire rendant compte de la transmutation de l'aluminium en un isotope instable du phosphore :

$$ {}^{\ }_{\ }Al + {}^{\ }_{\ }He \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{\ }_{\ }P $$

2.3. À propos des isotopes.

2.3.1. Quand dit-on que deux noyaux sont isotopes ?

2.3.2. Trouver dans le tableau de données ci-dessous un autre isotope du phosphore que celui évoqué dans le texte.

Notation ${}^{A}_{Z}X$ pour quelques noyaux	${}^{15}_{5}B$	${}^{31}_{15}P$	${}^{30}_{16}S$	${}^{35}_{35}Zn$

2.4. Radioactivité du phosphore.

2.4.1. Traduire par l'écriture d'une équation de réaction nucléaire la dernière phrase du texte, soit : « *Puis le phosphore radioactif se serait à son tour désintégré en silicium stable (14 protons, 16 neutrons), en émettant un positon* ».
Donnée : symbole du silicium : Si.

2.4.2. De quelle type de radioactivité s'agit-il ?

2.4.3. Lorsqu'un noyau de phosphore se désintègre, un proton du noyau se transforme en un neutron et un positon (ou positron). En utilisant les notations ${}^{1}_{1}p$, ${}^{1}_{0}n$ et ${}^{0}_{1}e$, écrire l'équation de cette transformation.

3. LES LOIS DE DÉCROISSANCE DE L'ALUMINIUM ET DU BORE IRRADIÉS

Les échantillons d'aluminium irradié et de bore irradié dont il est question dans le texte suivent la loi de décroissance radioactive car ils contiennent des noyaux radioactifs.

3.1. Soient $N(t)$ le nombre de noyaux à l'instant de date t d'un échantillon radioactif et N_0 son nombre de noyaux à l'instant de date $t_0 = 0$ s.
Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive en notant λ la constante radioactive.

3.2. On a représenté en **ANNEXE 4 (à rendre avec la copie)** sur le même graphe les lois de décroissance radioactive de deux échantillons de nature différente, numérotés 1 et 2. L'un des échantillons est de l'aluminium irradié et l'autre du bore irradié. Déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de chacun des échantillons.

3.3. À l'aide du texte, identifier les échantillons numérotés 1 et 2.

4. L'ASPECT ÉNERGÉTIQUE DU BORE IRRADIÉ

La réaction nucléaire envisagée est celle qui donne naissance à l'azote 13 après irradiation du bore 10 par une source de particules alpha. Son équation est :

$$^{10}_{5}B + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{1}_{0}n + ^{13}_{7}N$$

Masse de certains noyaux ou particule (u)	$^{10}_{5}B$	$^{4}_{2}He$	$^{13}_{7}N$	$^{1}_{0}n$
	10,010194	4,001506	13,001898	1,008655

1 unité de masse atomique notée u correspond à $1,66054.10^{-27}$ kg

célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00.10^{8}$ m.s^{-1}

1 eV = $1,60218.10^{-19}$ J

4.1. Énoncer la relation d'équivalence masse-énergie.

4.2. En utilisant le tableau de données, vérifier que la variation de masse Δm au cours de la réaction nucléaire ci-dessus est : $\Delta m = -1,147000.10^{-3}$ u.

4.3. Bilan énergétique.

4.3.1. Exprimer la variation d'énergie de masse ΔE au cours de cette réaction nucléaire.

4.3.2. Calculer sa valeur successivement en J puis en MeV.

4.3.3. De l'énergie est-elle libérée au cours de la réaction ? Justifier la réponse.

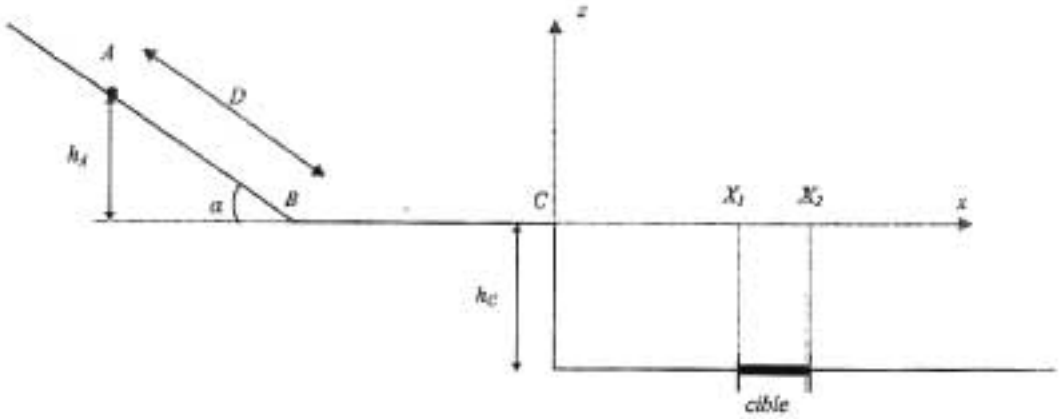
Exercice n°3 (4 points)

JEU DU BOULET

Le jeu schématisé ci-dessous consiste à placer un boulet sur un plan incliné de telle façon qu'il atteigne la cible.
Le boulet est tout d'abord lâché en A sans vitesse initiale.
Le système étudié est le boulet qu'on assimile à un point.
Toute l'étude est dans un référentiel galiléen.
On néglige les frottements dans tout l'exercice.

Données :

$\alpha = 30°$
$D = AB = 0{,}50$ m
$L = BC = 0{,}20$ m
$h_C = 0{,}40$ m
$m = 10$ g
$g = 9{,}8$ m.s^{-2}



1. ÉTUDE DU MOUVEMENT DU BOULET ENTRE *A* ET *B*.

1.1.Le système étudié est le boulet une fois lâché en A.
Faire l'inventaire des forces extérieures agissant sur le boulet. Représenter ces forces sur un schéma sans considération d'échelle.

1.2.On choisit l'altitude du point C comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur : $E_{pp} = 0$ pour $z_C = 0$.

1.2.1.Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur au point A et vérifier qu'elle vaut $E_{pp}(A) = 2{,}5.10^{-2}$ J.

1.2.2.En déduire l'expression puis la valeur de l'énergie mécanique du système au point A.

1.2.3.En déduire la valeur de l'énergie mécanique du système au point B. Justifier la réponse.

1.3.Montrer que l'expression de la vitesse au point B est : $v_B = \sqrt{2gD\sin\alpha}$

2. ÉTUDE DE LA CHUTE DU BOULET APRÈS LE POINT C.

On étudie le mouvement du centre d'inertie G du boulet après le point C.
L'origine des temps est prise lorsque le boulet est en C.
Le mouvement étant rectiligne et uniforme entre B et C, la vitesse en C est la même qu'en B :
$v_C = v_B = 2{,}2\ m.s^{-1}$

2.1. On précise que l'action de l'air est négligée.

2.1.1. Énoncer la deuxième loi de Newton.

2.1.2. Appliquer cette loi au boulet une fois qu'il a quitté le point C.

2.1.3. Déterminer l'expression des composantes du vecteur accélération en projetant la deuxième loi de Newton dans le repère Cxz (voir figure).

2.2. On rappelle que la valeur de la vitesse au point C est $v_C = 2{,}2\ m.s^{-1}$ et on précise que le vecteur vitesse au point C a une direction horizontale.

2.2.1. Déterminer l'expression des composantes du vecteur vitesse dans le repère Cxz.

L'expression des composantes du vecteur position dans le repère Cxz est :

$$\overrightarrow{CG}\begin{cases} x = (\sqrt{2gD\sin\alpha}\,)\,t \\ z = -\frac{1}{2}g\,t^2 \end{cases}$$

2.2.2. En déduire l'équation de la trajectoire donnant l'expression de z en fonction de x.

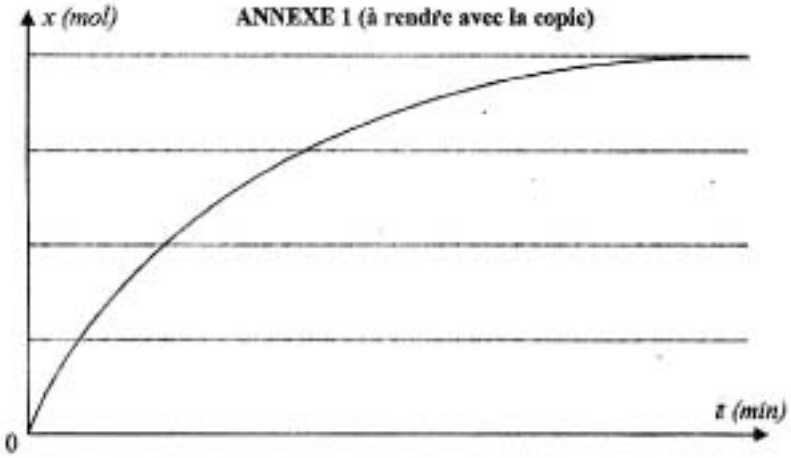
2.3. On veut déterminer si le boulet atteint la cible E dont l'abscisse est comprise entre $X_1 = 0{,}55$ m et $X_2 = 0{,}60$ m.

2.3.1. Calculer le temps nécessaire pour que le boulet atteigne le sol.

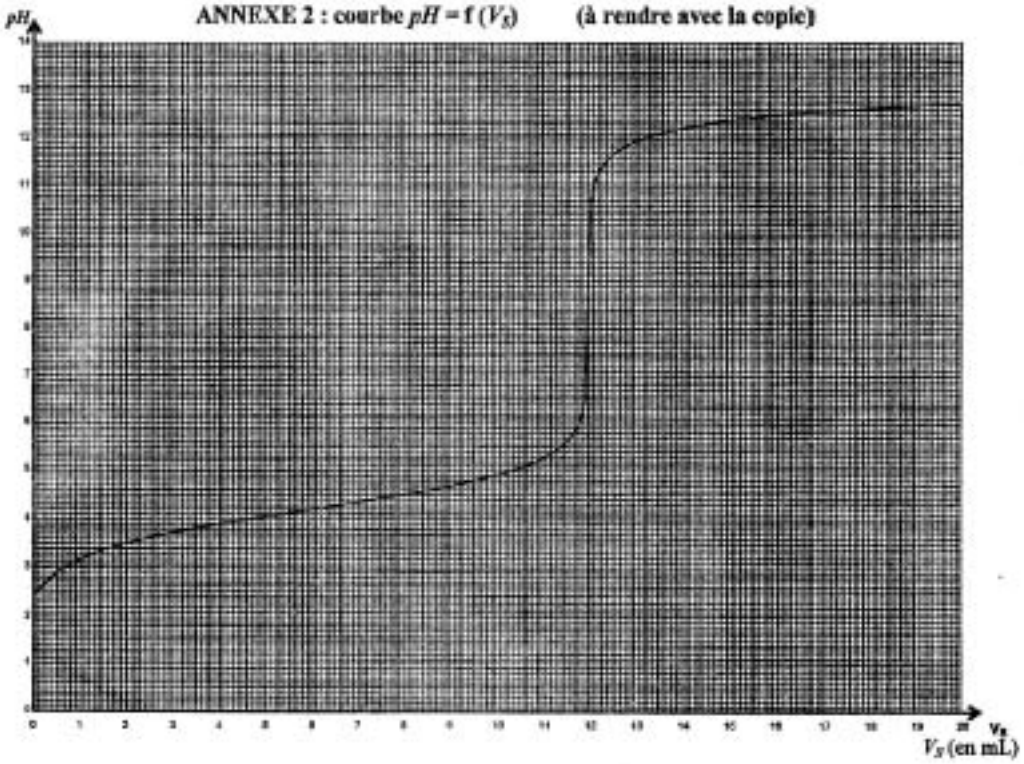
2.3.2. En déduire l'abscisse X_f du boulet quand il touche le sol. La cible est-elle atteinte ?

2.4. Quelle distance D faudrait-il choisir pour atteindre le point de la cible à l'abscisse $X_f = 0{,}57$ m ? (la durée de la chute étant la même).

ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)



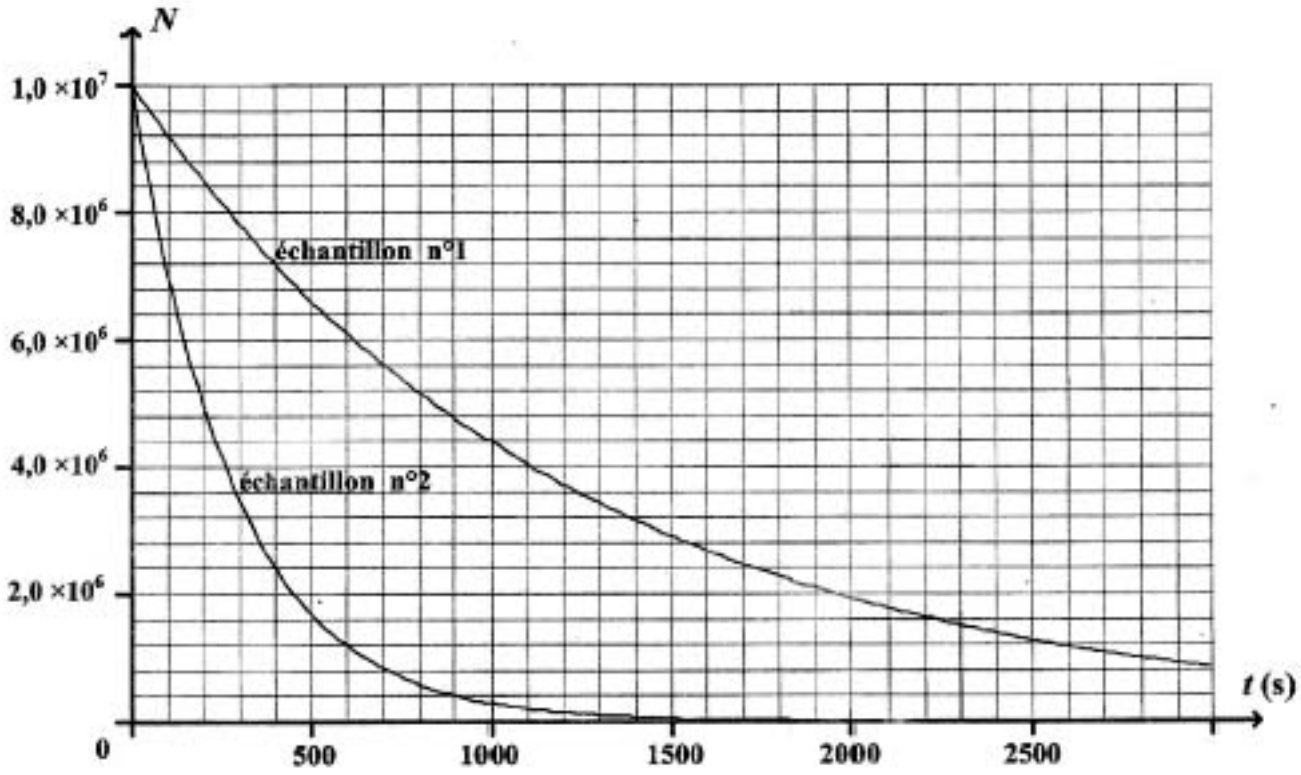
ANNEXE 2 : courbe $pH = f(V_S)$ (à rendre avec la copie)



ANNEXE 3 (à rendre avec la copie)

Équation de la réaction		$C_6H_5COOH_{(s)}$ + $CH_3CH_2OH_{(l)}$ = $C_6H_5COOCH_2CH_{3(l)}$ + $H_2O_{(l)}$			
État du système	Avancement x (mol)	Quantités de matière (en mol)			
État initial	$x = 0$	$n_0(ac)$	$n_0(et)$	0	0
État final	$x = x_f$	$n_f(ac) =$	$n_f(et) =$	$n_f(be) =$	$n_f(be) =$

ANNEXE 4 (à rendre avec la copie)



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Obligatoire

SESSION 2007

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 h 30 **Coefficient : 6**

L'usage de la calculatrice est autorisé.

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

Ce sujet comporte 6 annexes réparties sur 3 pages.

Le candidat doit traiter les 3 exercices, qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice n°1 : Principe de l'allumage d'une voiture (6,5 points)
Exercice n°2 : À propos des étoiles filantes (5,5 points)
Exercice n°3 : Étude cinétique d'une réaction (4 points)

Il sera tenu compte de la qualité de la présentation et de l'expression des résultats numériques en fonction de la précision des données fournies par l'énoncé (emploi correct des chiffres significatifs).

Exercice n°1 (6,5 points)

PRINCIPE DE L'ALLUMAGE D'UNE VOITURE

1. La batterie : principe de fonctionnement

La batterie d'une voiture est un accumulateur au plomb constitué de deux électrodes en plomb $Pb_{(s)}$ dont l'une est recouverte de dioxyde de plomb $PbO_{2(s)}$. L'ensemble est immergé dans une solution concentrée d'acide sulfurique $2H^+_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)}$.

Lorsque la voiture démarre, l'accumulateur fonctionne **comme une pile.**

1.1. Par souci de simplification, on considérera que les couples mis en jeu sont $Pb^{2+}_{(aq)}/Pb_{(s)}$ et $PbO_{2(s)}/Pb^{2+}_{(aq)}$. Écrire les demi-équations électroniques associées à ces deux couples.

1.2. L'accumulateur est schématisé en **ANNEXE 1 (à rendre avec la copie).** Flécher les sens de circulation des porteurs de charge dans les fils de connexion et dans la solution d'acide sulfurique.

1.3. Justifier que l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique qui a lieu lors du démarrage de la voiture peut s'écrire : $Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} = 2Pb^{2+}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)}$

Lorsque la voiture roule, la batterie se recharge et fonctionne **comme un électrolyseur.**

1.4. Indiquer si la transformation chimique envisagée est spontanée ou forcée. En déduire, sur l'**ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)**, le sens de circulation du courant électrique.

1.5. Sachant que les mêmes couples oxydant / réducteur interviennent lors du démarrage de la voiture et lorsqu'elle roule, écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique qui a lieu lors de la recharge de la batterie.

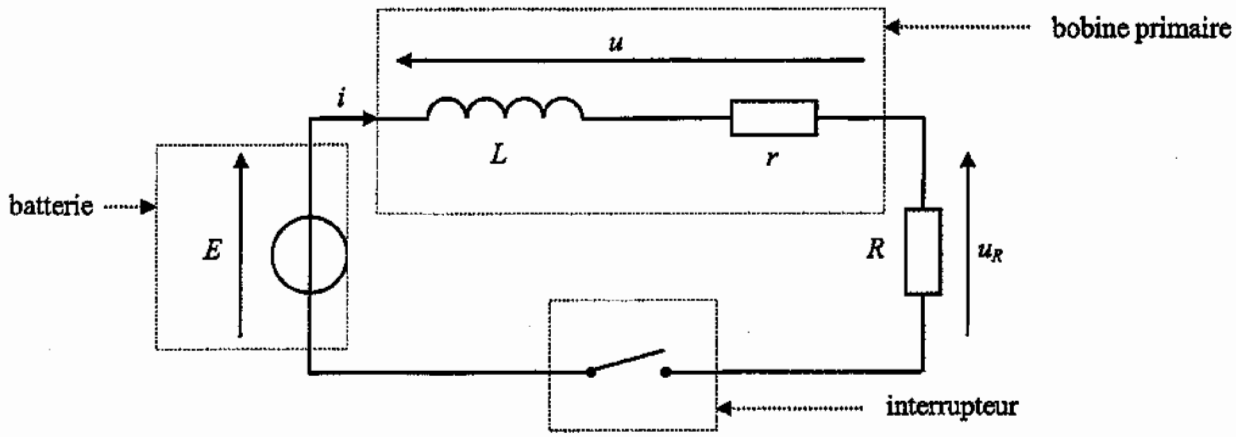
1.6. Préciser pour chaque électrode la nature (oxydation ou réduction) de la réaction observée. Puis indiquer, sur l'**ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)**, la cathode et l'anode.

2. Étude de l'allumage de la voiture

Pour permettre l'allumage des bougies d'une voiture, une étincelle est créée au niveau des bougies. La formation de cette étincelle est liée à l'ouverture, puis à la fermeture d'un circuit comprenant notamment une bobine.

Un courant électrique circule dans un circuit comprenant la batterie de la voiture, la bobine appelée bobine primaire et un interrupteur électronique.

On considérera que la batterie de la voiture délivre une tension continue qui vaut $E = 12$ V.
La bobine primaire est caractérisée par une inductance L et une résistance interne $r = 0{,}50\ \Omega$.
Le schéma simplifié du principe est donné ci-dessous où R représente la résistance des autres éléments du circuit. On prendra $R = 2{,}5\ \Omega$.



2.1. L'interrupteur est fermé

À $t = 0$, le courant ne circule pas dans le circuit. Puis l'interrupteur est fermé.

2.1.1. Donner l'expression de la tension u aux bornes de la bobine primaire en fonction de r, L et i.

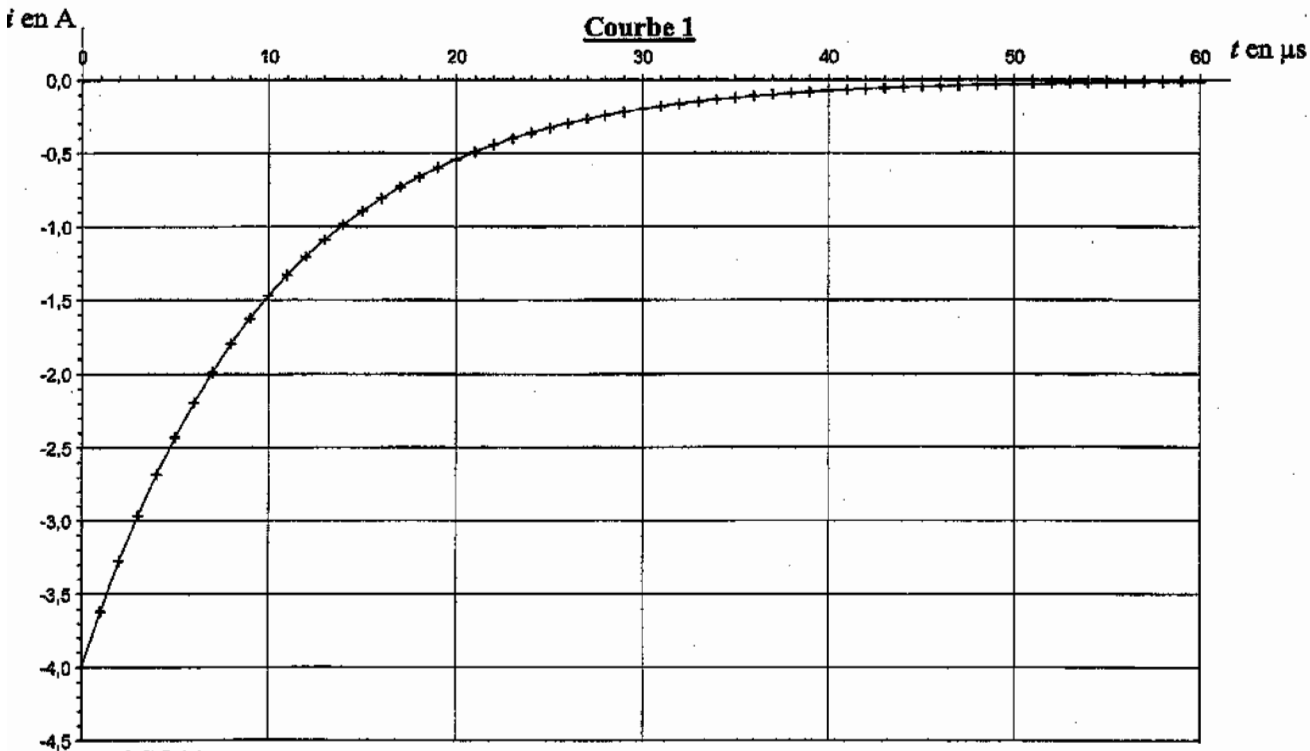
2.1.2. Montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de i est : $L\frac{di}{dt} + Ki = E$ où K est une constante dont on donnera l'expression en fonction des paramètres du circuit.

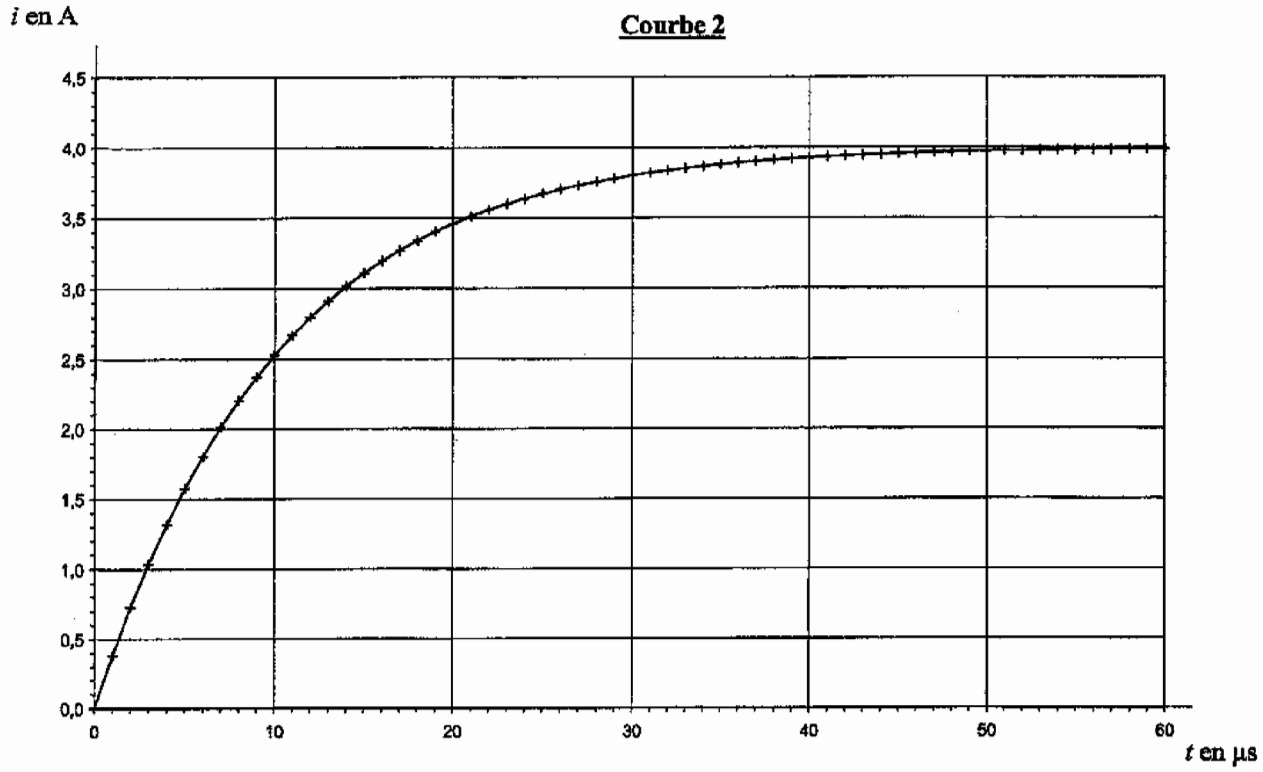
2.1.3. Une solution de l'équation différentielle peut s'écrire $i = A \times \left(1 - e^{-Bt}\right)$ où A et B sont deux constantes positives non nulles.

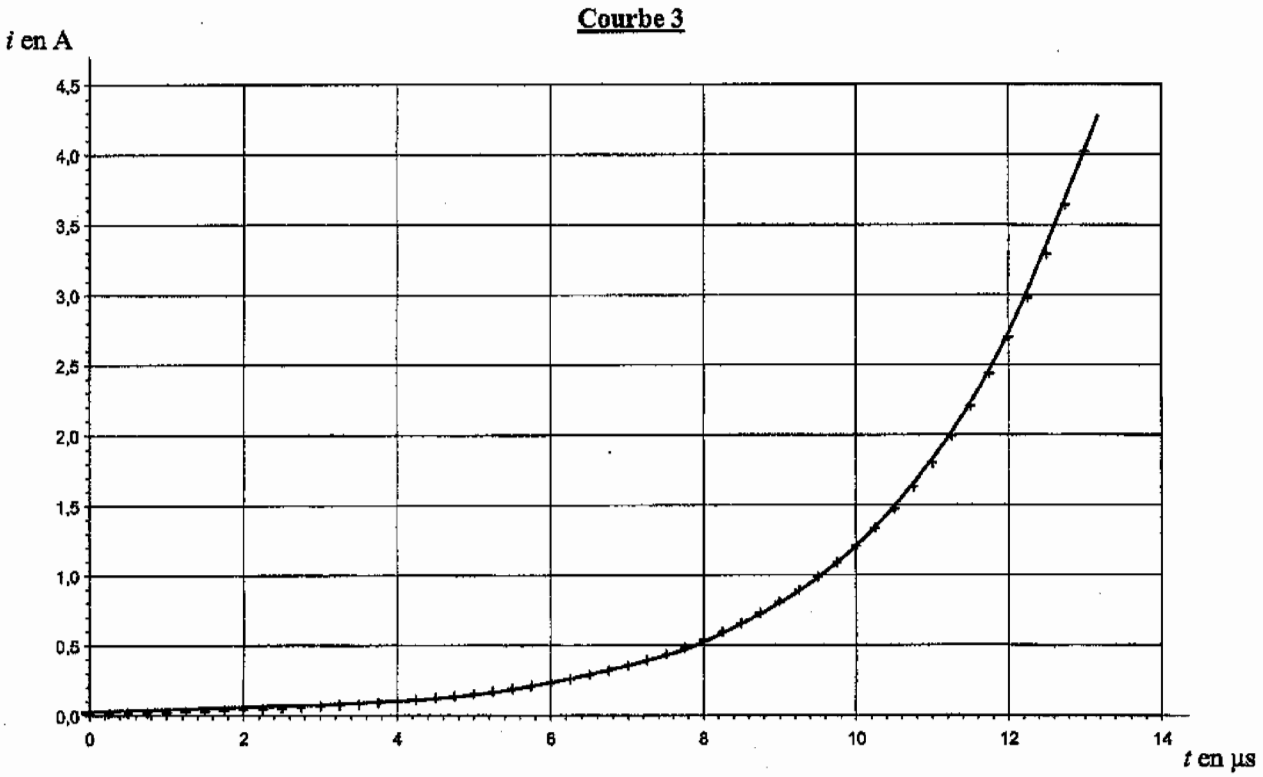
2.1.3.1. En utilisant l'équation différentielle, montrer que $A = \frac{E}{K}$ et que $B = \frac{K}{L}$.

2.1.3.2. Calculer la valeur de A. Préciser son unité.

2.1.4. Parmi les courbes 1, 2 et 3 données ci-dessous, indiquer, en justifiant, celle qui peut représenter i.




Courbe 2
i en A
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0
10
20
30
40
50
60
t en µs


Courbe 3
i en A
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0
2
4
6
8
10
12
14
t en µs

2.1.5. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ du circuit à partir de la courbe choisie.

2.1.6. Donner l'expression littérale de la constante de temps τ en fonction des paramètres du circuit.

2.1.7. En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine primaire.

2.1.8. Donner l'expression littérale de l'énergie W_L emmagasinée dans la bobine primaire.

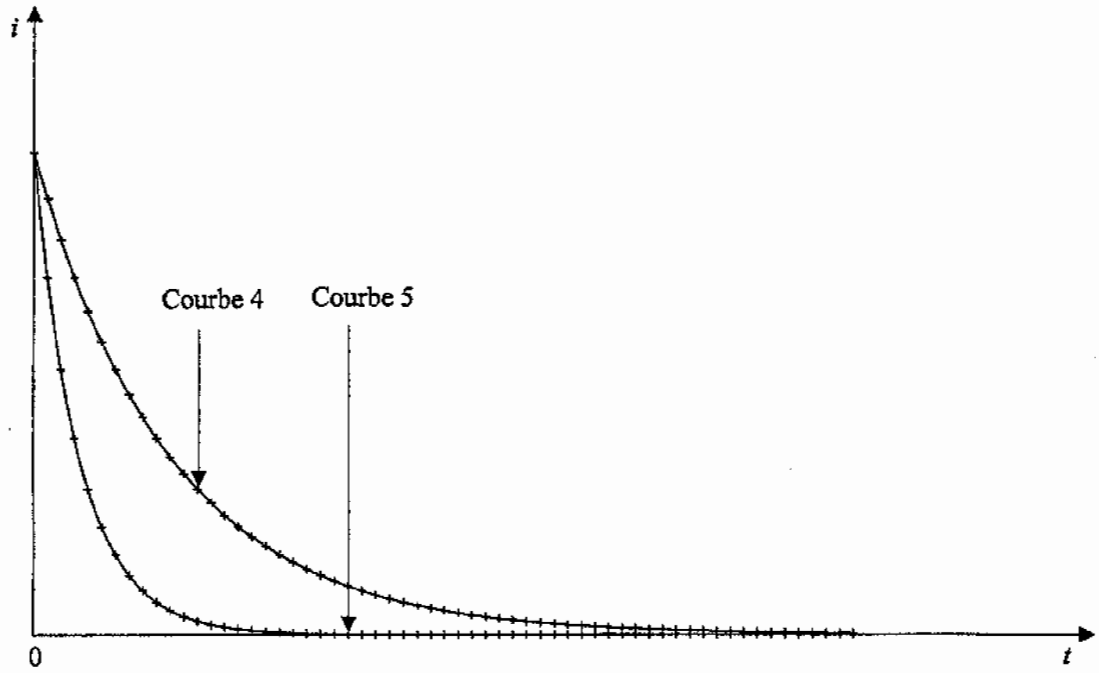
2.1.9. Calculer l'énergie maximale emmagasinée dans la bobine primaire à l'aide de la courbe choisie dans la question 2.1.4.

2.2. Étude de la formation de l'étincelle

Après la phase précédente, on modifie le circuit pour que l'intensité du courant diminue.

2.2.1. En modifiant les paramètres du circuit, on peut obtenir différentes allures de l'intensité du courant circulant dans la bobine. Deux courbes représentant l'allure de cette intensité sont proposées ci-dessous. Le coefficient directeur de la tangente à l'origine est représenté par $\frac{\Delta i}{\Delta t}$.

A quelle courbe correspond la valeur de $\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$ à $t = 0$ la plus élevée ?



2.2.2. Cette bobine primaire est associée à une bobine secondaire, placée dans un autre circuit. Ce circuit, que l'on n'étudiera pas, comprend les bougies de l'allumage. La bobine secondaire est choisie de telle sorte que la tension u_2 à ses bornes soit proportionnelle à $\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$ à $t = 0$. L'étincelle au niveau de la bougie apparaît si la tension u_2 est suffisamment importante. Indiquer quelle courbe permettrait d'obtenir plus facilement une étincelle au niveau des bougies.

Exercice n°2 (5,5 points)

A PROPOS DES ETOILES FILANTES

Des comètes circulent dans le système solaire et laissent dans leur sillage des grains de matière de tailles plus ou moins importantes. Il arrive que la Terre croise ces grains de matière abandonnés par une comète derrière elle et qui pénètrent alors dans l'atmosphère terrestre. Lors de leur chute, ils échauffent les gaz de l'atmosphère qui émettent de la lumière pour éliminer l'énergie reçue lors de cet échauffement. On peut alors observer des phénomènes bien connus : les étoiles filantes.

Données :
Masse de la Terre : $M_T = 5{,}98.10^{24}$ kg
Masse du Soleil : $M_S = 1{,}98.10^{30}$ kg
Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67.10^{-11}$ SI
Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00.10^{8}$ m.s^{-1}
Constante de Planck : $h = 6{,}62.10^{-34}$ J.s
1 eV (électronvolt) = $1{,}60.10^{-19}$ J

1. Mouvement de la Terre

On considère le mouvement de la Terre autour du Soleil dans le référentiel héliocentrique considéré comme galiléen. On suppose que ce mouvement est circulaire uniforme, de rayon $R = 1{,}50.10^{11}$ m. On néglige l'action de tout autre astre. On s'aidera du schéma donné en ANNEXE 3 ***(à rendre avec la copie).*** *On notera $\vec{a}$ le vecteur accélération du centre d'inertie de la Terre.*

1.1. Donner l'expression vectorielle de la force subie par la Terre en utilisant le vecteur $\vec{u}$ du schéma de **l'ANNEXE 3.**

1.2. Énoncer, puis appliquer la deuxième loi de Newton à la Terre.

1.3. En déduire l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$; on donnera sa direction, son sens et l'expression de sa norme ; le représenter sans considération d'échelle sur le schéma fourni en annexe.

1.4. On rappelle que le mouvement est circulaire uniforme. Quelle relation peut-on alors écrire entre l'accélération a et la vitesse v du centre d'inertie de la Terre autour du Soleil ?

1.5. Donner l'expression de la vitesse v du centre d'inertie de la Terre en fonction de la constante de gravitation universelle G, la masse du Soleil M_S et le rayon R de la trajectoire.

1.6. Calculer la valeur de cette vitesse.

1.7. Donner l'expression de la période de rotation T de la Terre autour du Soleil en fonction de la vitesse v et du rayon R de sa trajectoire.

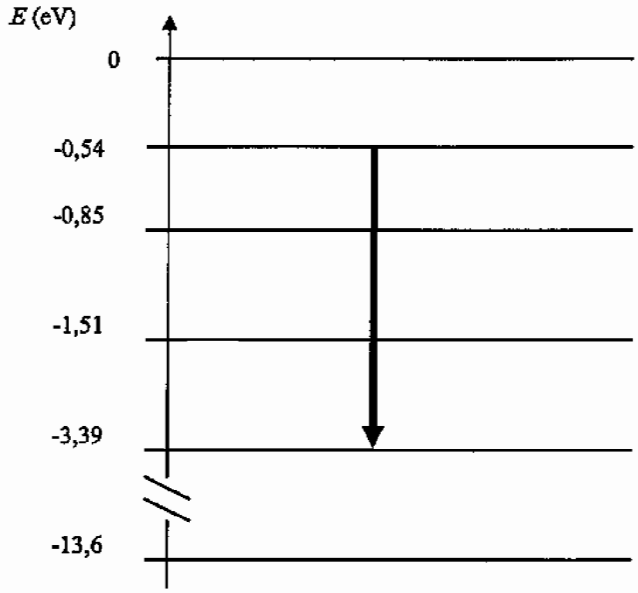
1.8. Montrer alors qu'on peut écrire que $T = \dfrac{2\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G M_S}}$, puis calculer sa valeur.

2. Étude d'une étoile filante

Il est très rare de pouvoir enregistrer un tel phénomène, celui-ci étant imprévisible. Pourtant, dans la nuit du 12 au 13 mai 2002, alors qu'ils observaient une supernova dans une galaxie éloignée à l'aide du VLT (Very Large Telescope) à l'observatoire de Paranal au Chili, des astronomes ont eu la chance de voir une étoile filante traverser le champ du télescope, et ont pu ainsi enregistrer le spectre de la lumière émise.

2.1. On donne en **ANNEXE 4 (à rendre avec la copie),** une partie du spectre obtenu. Indiquer sur ce spectre les domaines de la lumière visible, des rayonnements infrarouges et ultraviolets.

2.2. On donne le diagramme des niveaux d'énergie d'un des éléments mis en évidence par le spectre obtenu. Une transition correspondant à l'une des raies de ce spectre y est représentée par une flèche.



La raie correspondante est-elle une raie d'émission ou d'absorption ? Justifier.

2.3. Donner l'expression de l'énergie échangée $|\Delta E|$ entre l'atome et le milieu extérieur lors de cette transition. On notera ν la fréquence de la radiation lumineuse correspondante.

2.4. Donner la relation entre la longueur d'onde λ de cette radiation et sa fréquence ν dans le vide.

2.5. Déterminer sur le diagramme la valeur de $|\Delta E|$. Convertir en joule la valeur trouvée.

2.6. Calculer alors la valeur de la longueur d'onde λ correspondant à cette transition.

2.7. On donne les tableaux de quelques longueurs d'onde de raies de différents éléments. Identifier l'élément mis en évidence par cette raie.

Quelques longueurs d'onde de raie (en nm)

Élément azote											
396	404	424	445	463	480	505	550	575	595	648	661

Élément oxygène						
391	397	420	442	465	616	700

Élément hydrogène				
397	412	436	486	656

Exercice n° 3 (4 points)

ETUDE CINÉTIQUE D'UNE RÉACTION

1. La transformation étudiée

Le 2-chloro-2-méthylpropane réagit sur l'eau pour donner naissance à un alcool. Cet alcool est le 2-méthylpropan-2-ol.
La réaction est lente et totale.
On peut modéliser cette transformation par :

$$(CH_3)_3C\text{-}Cl_{(l)} + 2H_2O_{(l)} = (CH_3)_3C\text{-}OH_{(l)} + H_3O^+ + Cl^-_{(aq)}$$

Données :
Masse molaire du 2-chloro-2-méthylpropane : $M = 92{,}0$ g.mol^{-1} ; masse volumique : $\rho = 0{,}85$ g.mL^{-1}.
La conductivité d'un mélange est donnée par $\sigma = \sum_i \lambda_i^0 [X_i]$ où $[X_i]$ désigne la concentration des espèces ioniques présentes dans le mélange, exprimée en mol.m^{-3}.
Conductivités molaires ioniques : $\lambda^0(H_3O^+) = 349{,}8.10^{-4}$ S.m^2.mol^{-1} ; $\lambda^0(Cl^-) = 76{,}3.10^{-4}$ S.m^2.mol^{-1}.

Protocole observé :
Dans une fiole jaugée, on introduit 1,0 mL de 2-chloro-2-méthylpropane et de l'acétone afin d'obtenir un volume de 25,0 mL d'une solution S.
Dans un bécher, on place 200,0 mL d'eau distillée dans laquelle est immergée la sonde d'un conductimètre.
Puis à l'instant $t = 0$ min, on déclenche un chronomètre en versant 5,0 mL de la solution S dans le bécher.
Un agitateur magnétique permet d'homogénéiser la solution obtenue, on relève la valeur de la conductivité du mélange au cours du temps.

1.1. Montrer que la quantité initiale de 2-chloro-2-méthylpropane introduite dans le dernier mélange est $n_0 = 1{,}8.10^{-3}$ mol.

1.2. Compléter le tableau d'avancement donné en **ANNEXE 5 (à rendre avec la copie)**. Quelle relation lie $[H_3O^+]$ et $[Cl^-_{(aq)}]$ à chaque instant ?

1.3. Donner l'expression de la conductivité σ du mélange en fonction de $[H_3O^+]$ et des conductivités molaires ioniques.

1.4. Donner l'expression de la conductivité σ du mélange en fonction de l'avancement x de la réaction, du volume V du mélange réactionnel et des conductivités molaires ioniques des ions présents dans la solution.

1.5. Pour un temps très grand, la conductivité notée σ_∞ du mélange ne varie plus.
Sachant que $\sigma_\infty = 0{,}374$ S.m^{-1}, vérifier que la transformation envisagée est bien totale.

1.6. Exprimer le rapport $\frac{\sigma}{\sigma_\infty}$. En déduire l'expression de l'avancement x en fonction de σ, σ_∞ et de l'avancement maximal x_{max} de la réaction.

1.7. Pour $\sigma = 0{,}200$ S.m^{-1}, quelle est la valeur de x ?

2. Exploitation des résultats

L'expression établie en 1.6 permet de construire la courbe montrant les variations de l'avancement x de la réaction en fonction du temps. La courbe est donnée en **ANNEXE 6 (à rendre avec la copie).**

La vitesse volumique v de réaction est donnée par la relation : $v = \frac{1}{V}\frac{dx}{dt}$ où V est le volume de la solution et x l'avancement de la réaction.

2.1. Expliquer la méthode qui permettrait d'évaluer graphiquement cette vitesse à un instant donné.

2.2. À l'aide de la courbe, indiquer comment évolue cette vitesse au cours du temps.

2.3. Quel facteur cinétique permet de justifier cette évolution ?

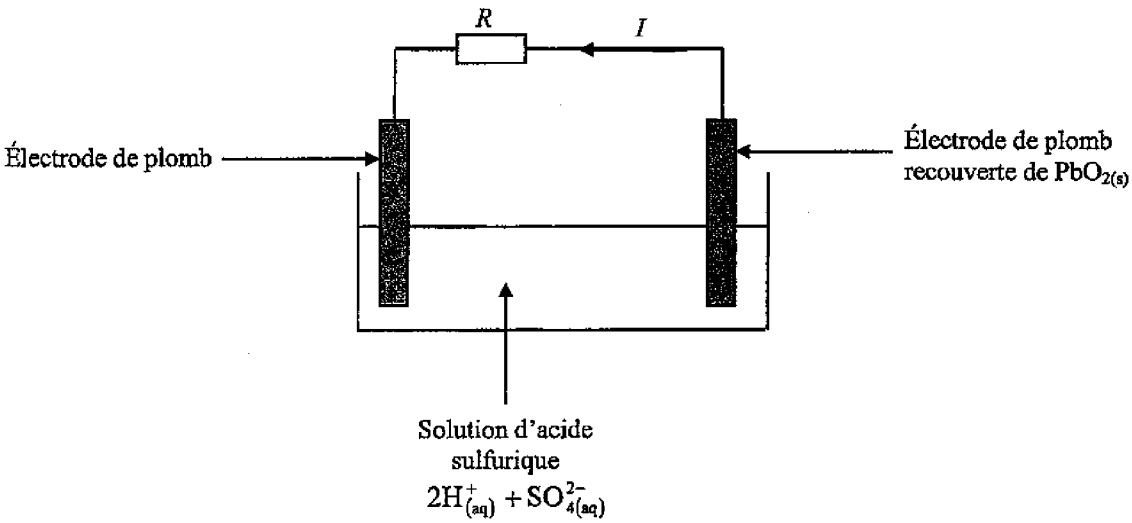
2.4. Définir le temps de demi-réaction et estimer graphiquement sa valeur.

2.5. On réalise maintenant la même expérience à une température plus élevée.

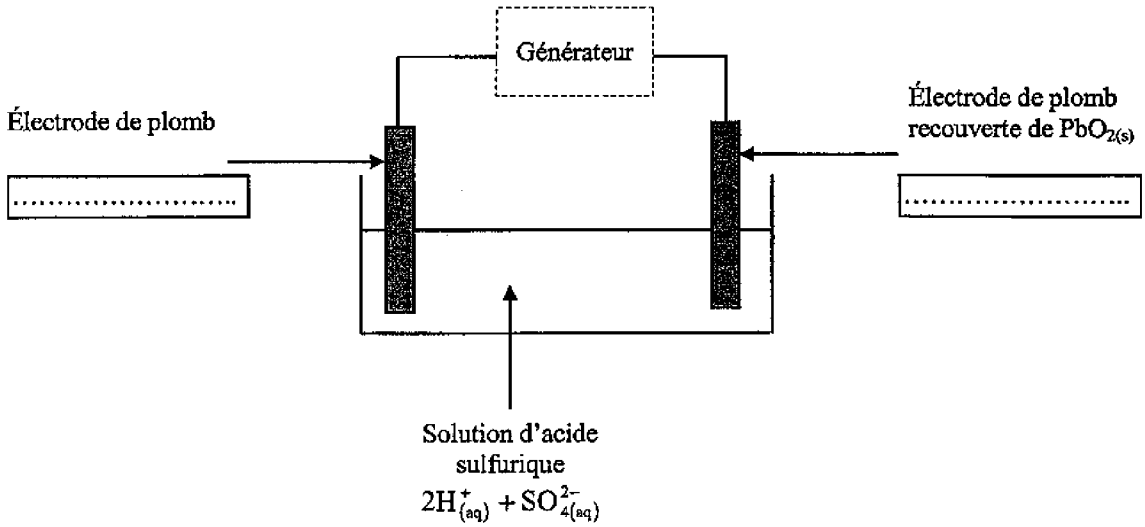
2.5.1. Dessiner qualitativement sur le graphique de l'**ANNEXE 6** l'allure de la courbe montrant les variations de l'avancement x au cours du temps.

2.5.2. La valeur du temps de demi-réaction est-elle identique, inférieure ou supérieure à la valeur précédente ? Justifier.

ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)

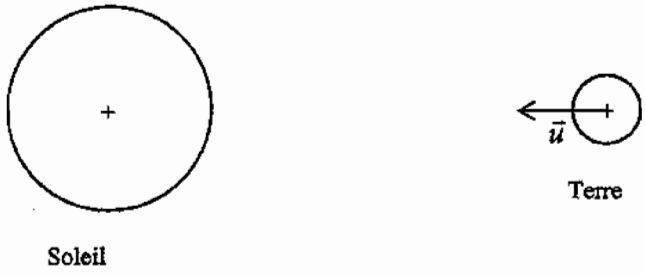


ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)



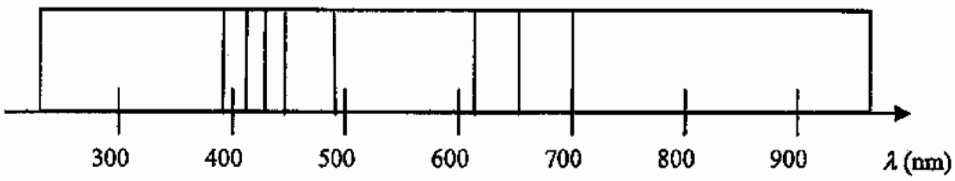
ANNEXE 3 (à rendre avec la copie)

Schéma du système Terre-Soleil



ANNEXE 4 (à rendre avec la copie)

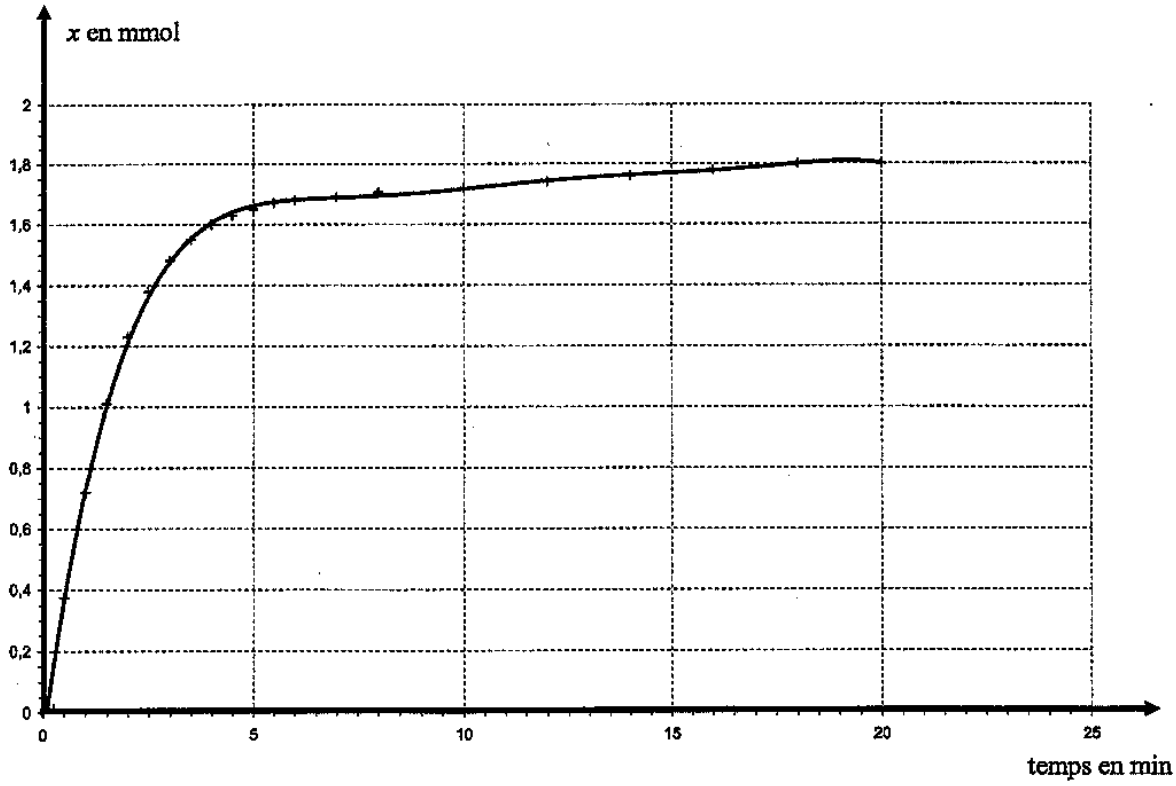
Spectre obtenu



ANNEXE 5 (à rendre avec la copie)

Équation chimique		$(CH_3)_3C\text{-}Cl_{(l)}$ + $2H_2O_{(l)}$ = $(CH_3)_3C\text{-}OH_{(l)}$ + H_3O^+ + $Cl^-_{(aq)}$				
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (en mol)				
État initial	0	n_0	excès			
État intermédiaire	x		excès			
État final	x_{max}		excès			

ANNEXE 6 (à rendre avec la copie)



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** . – COEFFICIENT : **6**

L'usage des calculatrices N'EST PAS autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique.

OBLIGATOIRE

Ce sujet comporte deux exercices de PHYSIQUE et un exercice de CHIMIE présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.
Les feuilles annexes (pages 9 et 10) **SONT À RENDRE AVEC LA COPIE.**

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

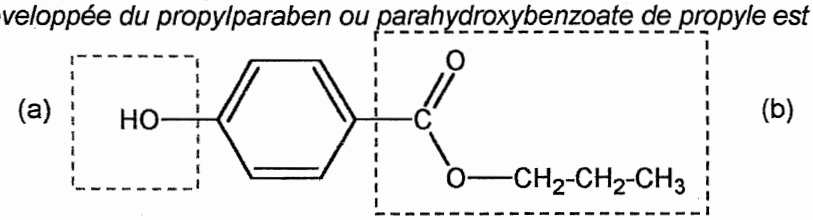
I. Des esters dans nos cosmétiques (6,5 points)
II. Étude d'un système solide-ressort (5,5 points)
III. Ondes ultrasonores et deux applications (4 points)

EXERCICE I. DES ESTERS DANS NOS COSMÉTIQUES (6,5 points)

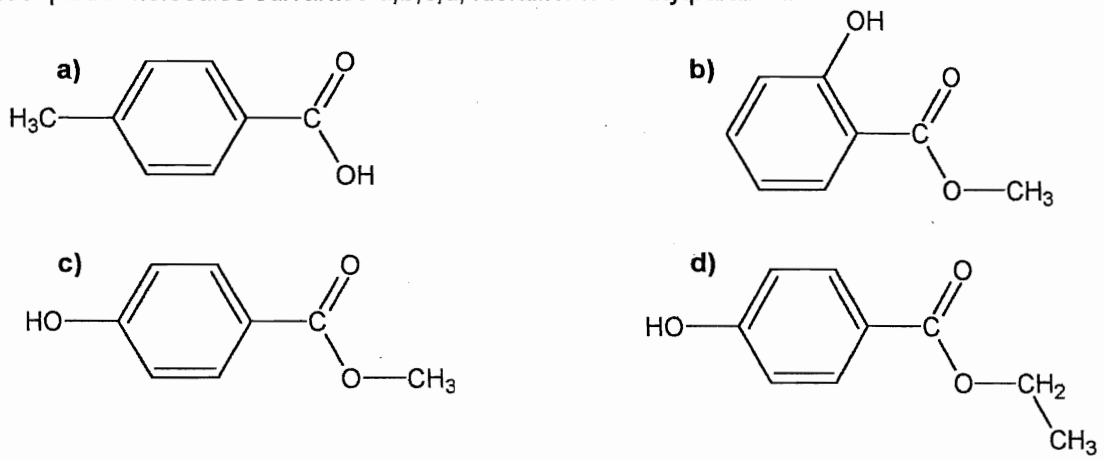
Les cosmétiques sont des produits d'hygiène et d'embellissement du corps humain. Ils sont de plus en plus nombreux dans nos salles de bain. On classe dans les cosmétiques, les produits de soin, de maquillage, de rasage, les produits capillaires, solaires, les parfums… Un cosmétique contient plusieurs ingrédients dont un ou plusieurs principes actifs, un excipient et des additifs. L'emballage d'un produit cosmétique doit comporter la liste complète de ses ingrédients.
Dans cet exercice, on se propose d'étudier quelques composants des produits cosmétiques.

1. Les parabènes.

Les parabènes (paraben en anglais) sont des conservateurs utilisés dans l'industrie cosmétique pour empêcher la prolifération des bactéries et des champignons. On les trouve dans bon nombre de produits de beauté : shampoings, gels douches, crèmes hydratantes… Les parabènes les plus courants sont :
le méthylparaben, l'éthylparaben, le propylparaben et le butylparaben.
La formule semi-développée du propylparaben ou parahydroxybenzoate de propyle est :



1.1. Nommer les groupes caractéristiques (a) et (b) encadrés dans cette molécule.
Le propylparaben peut être synthétisé à partir de deux réactifs, le réactif n°1 et le réactif n°2.
1.2. *Le réactif n°1 est l'acide para-hydroxybenzoïque.*
Écrire sa formule semi-développée.
1.3. Quel est le nom du réactif n°2 ? Écrire sa formule semi-développée.
1.4. Parmi les quatre molécules suivantes a,b,c,d, identifier le méthylparaben.



2. Préparation d'un ester utilisé en parfumerie.

Un professeur décide de faire synthétiser à ses élèves de terminale un ester utilisé en parfumerie. Chaque binôme dispose d'un flacon A contenant un acide carboxylique noté R– COOH et d'un flacon B portant l'étiquette alcool benzylique : C_6H_5– CH_2– OH. Le professeur indique que l'acide carboxylique utilisé est soit l'acide méthanoïque, soit l'acide éthanoïque, soit l'acide propanoïque.

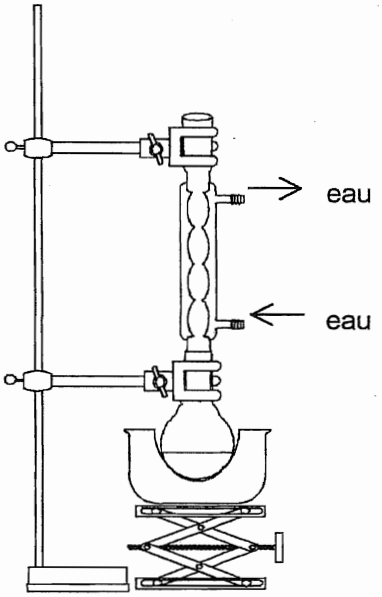
2.1. Recherche de l'acide carboxylique utilisé

Chaque binôme dispose d'une solution S obtenue en dissolvant une masse m = 0,90 g d'acide carboxylique A dans une fiole jaugée de 1000 mL. Les élèves placent dans un becher un volume V_A = 10,0 mL de solution S . Ils placent dans une burette graduée une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$ + $HO^-(aq)$) de concentration molaire en soluté apporté $C_B = 1,0 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1} et ils réalisent un dosage pH-métrique. La courbe obtenue figure en ***ANNEXE, PAGE 9, À RENDRE AVEC LA COPIE****.*

2.1.1. Écrire l'équation de la réaction support du dosage.
2.1.2. Déterminer le volume équivalent V_E de ce dosage en expliquant votre méthode.
2.1.3. Calculer la concentration molaire en soluté apporté C_A de la solution S.
2.1.4. Calculer la masse molaire de l'acide carboxylique utilisé pour réaliser la solution S et en déduire le nom de l'acide carboxylique A.

2.2. Synthèse de l'ester

On introduit dans un ballon 28,4 mL d'alcool benzylique correspondant à une quantité de matière n = 2,0 × 10^{-1}mol, 11,4 mL d'acide carboxylique pour réaliser un mélange stœchiométrique, 1 mL d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce. On réalise le montage schématisé ci-contre et on chauffe à ébullition douce pendant une heure.



2.2.1. Écrire, avec les formules semi-développées, l'équation de la réaction correspondant à la préparation de l'ester.
2.2.2. Quelles sont les caractéristiques de cette réaction ?
2.2.3. Pourquoi ajoute-t-on de l'acide sulfurique concentré dans le milieu réactionnel ?
2.2.4. Comment se nomme le montage ci-contre ? Quel est son rôle ?

2.3. Extraction de l'ester préparé

Au bout d'une heure, on refroidit le mélange réactionnel et on y ajoute 50 mL d'une solution aqueuse de chlorure de sodium de masse volumique ρ = 1,20 g.mL^{-1}. On verse le contenu du ballon dans une ampoule à décanter. On agite et on laisse décanter.

2.3.1. Dans quelle phase se situe l'ester ? Faire un schéma légendé de l'ampoule à décanter en justifiant la position des phases.

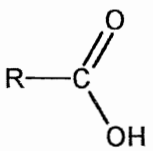
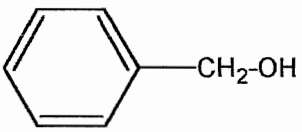
On élimine la phase aqueuse. On ajoute dans l'ampoule à décanter 50 mL d'une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium ($Na^+(aq)$ + $HCO_3^-(aq)$), il se produit un dégagement gazeux. On laisse décanter et on évacue la phase aqueuse. On rince à nouveau la phase organique à l'eau distillée. Après décantation, on recueille la phase organique dans un becher et on la sèche avec du sulfate de magnésium anhydre.

2.3.2. *On obtient 1,3 × 10^{-1} mol d'ester.*
Calculer le rendement de cette synthèse.
2.3.3. Comment améliorer le rendement, sans changer la nature des réactifs ?
2.3.4. Comment améliorer le rendement, en changeant l'un des réactifs ?

Aide au calcul : $\frac{2,0}{13} = 1,5\times10^{-1}$; $\frac{13}{2,0} = 6,5$; $\frac{13}{4,0} = 3,3$; $\frac{5,0}{13} = 3,8\times10^{-2}$; $\frac{90}{15} = 6,0$; $\frac{15}{9,0} = 1,7$

Données :

	Acide méthanoïque $H-COOH$	*Acide éthanoïque* CH_3-COOH	*Acide propanoïque* CH_3-CH_2-COOH
Masse molaire M (g. mol^{-1})	*46*	*60*	*74*

	Acide carboxylique A	*Alcool benzylique*	*Ester*	*Eau*
Masse volumique ρ (g.mL^{-1})	*1,05*	*1,04*	*1,06*	*1,00*
Formule semi-développée			–	–
Température d'ébullition (°C)	*118*	*205*	*215*	*100*
Solubilité dans l'eau salée	*Très bonne*	*Très faible*	*Très faible*	–

EXERCICE II. ÉTUDE D'UN SYSTÈME SOLIDE-RESSORT (5,5 points)

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un groupe d'élèves étudie le mouvement d'un mobile de masse m, posé sur un banc à coussin d'air horizontal et attaché à deux ressorts identiques de raideur k (figure 1).
Un capteur de position, non représenté sur la figure 1, relié à un dispositif d'acquisition permet d'enregistrer la position du centre d'inertie G du mobile à chaque instant de date t. Cette position est repérée sur un axe x'x horizontal, orienté de gauche à droite. L'origine O de l'axe coïncide avec la position du centre d'inertie lorsque le mobile est à l'équilibre.

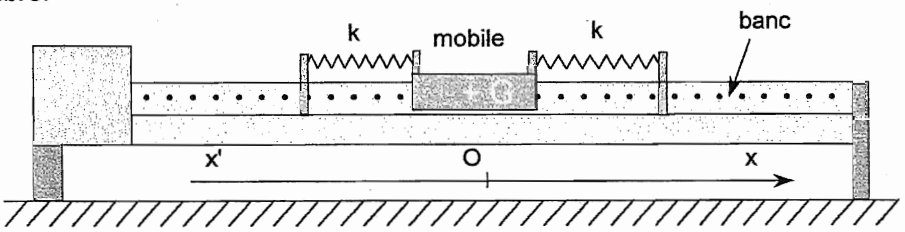


Figure 1

1. Étude d'un enregistrement.

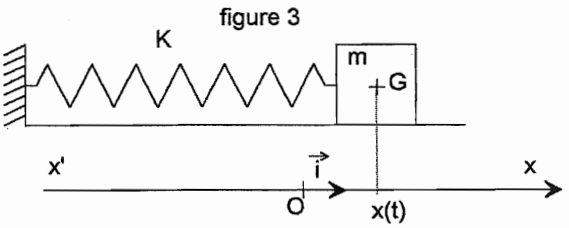
Les élèves réalisent un premier enregistrement, d'une durée de deux secondes environ, en écartant le mobile de sa position d'équilibre. Cet enregistrement est reproduit sur la figure 2 ***DE L'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE.***
À l'aide de ce document, répondre aux questions suivantes :

1.1. Le mobile est-il écarté de sa position d'équilibre vers la droite ou vers la gauche ? Justifier la réponse.
1.2. Le mobile est-il lâché sans vitesse initiale ou lancé avec une vitesse initiale ? Justifier la réponse.
1.3. Déterminer la période du mouvement en expliquant la méthode utilisée.
1.4. Représenter sur la figure 2 ***DE L'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE***, l'allure de la courbe qu'obtiendrait le groupe d'élèves si le mobile était lancé avec une vitesse initiale depuis sa position d'équilibre dans le sens des x négatifs, l'amplitude du mouvement restant la même.
1.5. Décrire une méthode analytique permettant d'obtenir une valeur approchée de la vitesse du mobile à l'instant de date t_1. (Aucun calcul n'est demandé).

2. Étude théorique du mouvement.

Pour cette étude, le dispositif précédent peut être modélisé par un solide de masse m fixé à l'extrémité d'un seul ressort à spires non jointives, de masse négligeable et de raideur K = 2k. Le solide glisse sans frottements sur un rail horizontal (figure 3).
Le mouvement du solide est étudié dans le référentiel terrestre considéré galiléen pendant la durée de l'expérience.

figure 3



2.1. Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le solide et les représenter sans souci d'échelle mais de façon cohérente sur la figure 4 ***DE L'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE.***
2.2. En utilisant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie G du solide se met sous la forme: $\frac{d^2x(t)}{dt^2}+\frac{K}{m}x(t)=0$.

2.3. Cette équation différentielle admet pour solutions $x(t)=X_M\cos(2\pi\frac{t}{T_0}+\varphi)$ *dans lesquelles* X_M *et* φ *sont des constantes qui dépendent des conditions initiales.*
Déterminer les valeurs de X_M et φ qui correspondent à l'enregistrement de la figure 2 de ***l'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE.***
2.4. Donner l'expression en fonction de m et K de la période propre T_0 du mouvement.
2.5. Vérifier que l'enregistrement de la figure 2 de ***l'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE***, a été obtenu avec un mobile de masse m = 100 g et deux ressorts de raideur k = 5,0 N.m^{-1}.

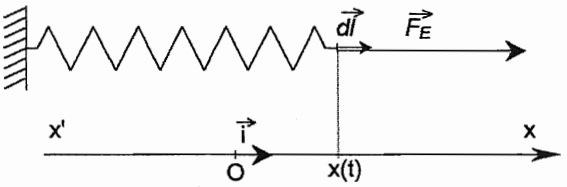
Aide au calcul *: On prendra* $2\pi = 6{,}3$ *rad.* $\cos 0 = 1$ $\cos \pi/2 = 0$

3. Étude énergétique.

Quand un élève déplace le centre d'inertie du solide de la position x = 0 à la position x = X_M, il effectue un travail et fournit au système de l'énergie potentielle élastique.

3.1. Donner l'expression du travail élémentaire dW de la force $\vec{F_E}$ exercée par l'élève au cours du déplacement élémentaire $\vec{dl}$.

Sur le schéma ci-contre, pour plus de clarté, le solide n'est pas représenté.



3.2. Montrer que dans le cas présent, ce travail élémentaire se met sous la forme $dW = Kxdx$.

3.3. Par une méthode de votre choix (méthode analytique ou méthode graphique), vérifier que le système acquiert au cours du déplacement, une énergie potentielle élastique $E_{PE} = \frac{1}{2}KX_M^2$.

3.4. Pourquoi ne peut-on pas utiliser dans ce cas l'expression $\underset{A \to B}{W}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB}$?

*3.5. La figure 5 de **L'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE**, représente les évolutions en fonction du temps de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle élastique, calculées par l'ordinateur lors du premier enregistrement (figure 2 de **L'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE**).*

3.5.1. Identifier les deux courbes en justifiant la réponse.

3.5.2. Tracer sur la figure 5 de ***L'ANNEXE, PAGE 10, À RENDRE AVEC LA COPIE***, la courbe représentant l'évolution en fonction du temps de l'énergie mécanique E_M du dispositif solide-ressort en justifiant la réponse.

3.5.3. Pour un enregistrement de courte durée, l'énergie mécanique semble constante. Est-ce le cas réellement ? Pourquoi ?

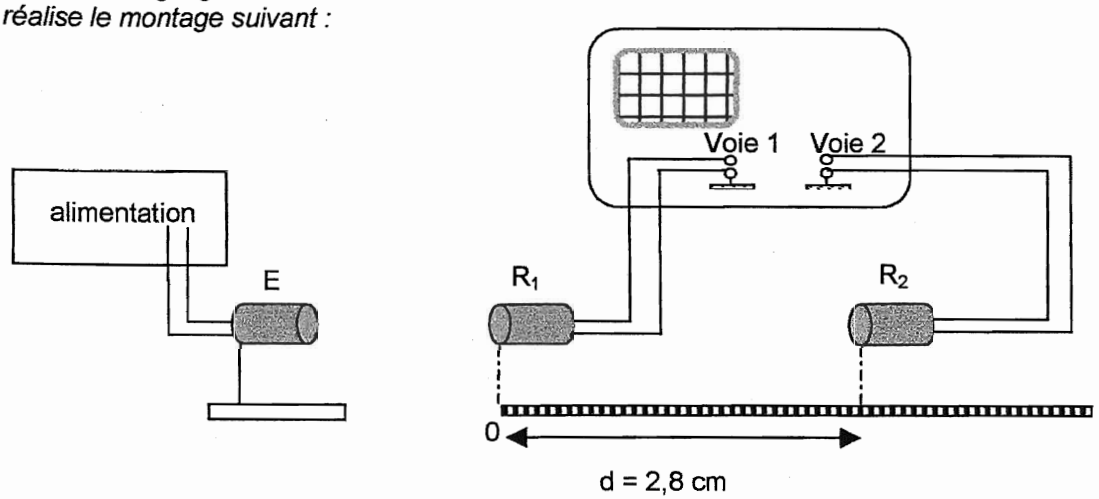
EXERCICE III. ONDES ULTRASONORES ET DEUX APPLICATIONS (4 points)

Cet exercice a pour objectifs de déterminer, dans la partie A, quelques grandeurs caractéristiques des ultrasons puis, dans la partie B, d'étudier deux applications des ultrasons : le nettoyage par cavitation acoustique et l'échogramme du cerveau.

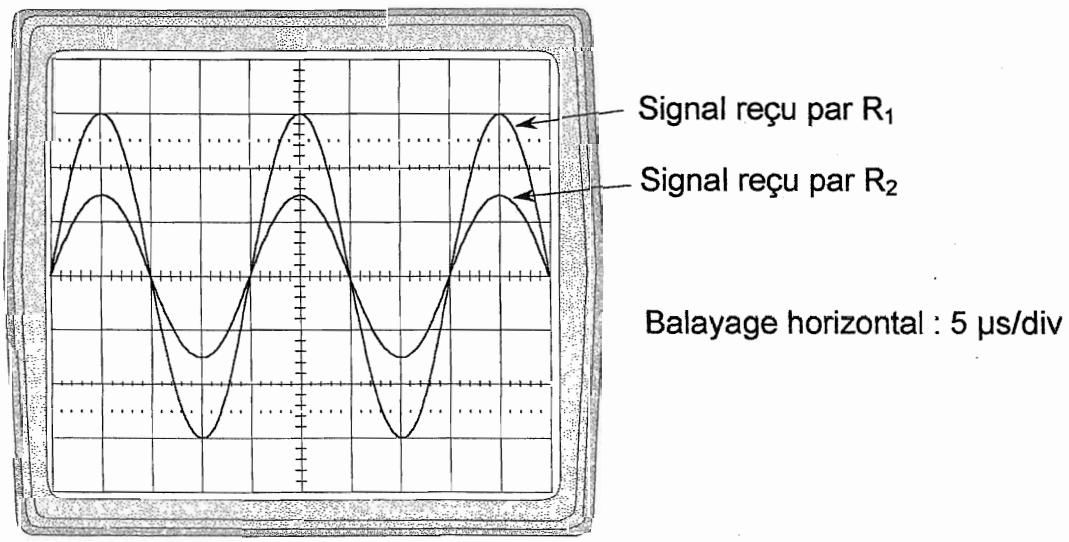
Partie A

1. *Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève dispose du matériel suivant :*
   - *un émetteur d'ultrasons E et son alimentation électrique ;*
   - *deux récepteurs d'ultrasons R_1 et R_2 ;*
   - *un oscilloscope ;*
   - *une règle graduée.*

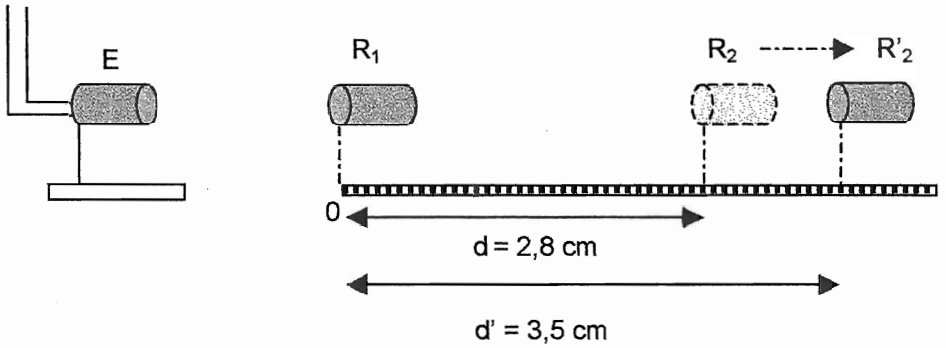
Il réalise le montage suivant :



L'émetteur E génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs R_1 et R_2. L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés.
Le récepteur R_1 est placé au zéro de la règle graduée.
Les signaux captés par les récepteurs R_1 et R_2 sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci.
Lorsque le récepteur R_2 est situé à d = 2,8 cm du récepteur R_1, les signaux reçus par les deux récepteurs sont en phase. On observe l'oscillogramme ci-dessous sur l'écran.



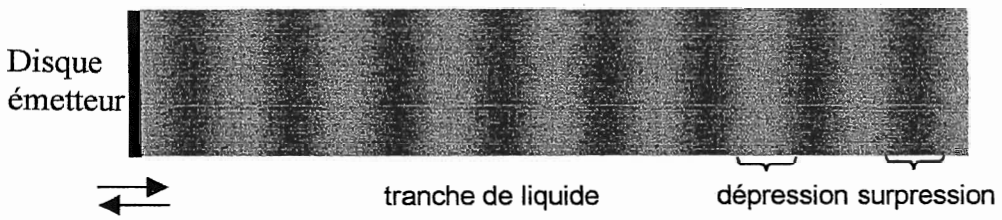
1.1. Déterminer la fréquence *f* des ultrasons émis.
On éloigne lentement R_2 le long de la règle ; on constate que le signal reçu par R_2 se décale vers la droite ; on continue à éloigner R_2 jusqu'à ce que les signaux reçus par R_1 et R_2 soient à nouveau en phase. Soit R'_2 la nouvelle position occupée par R_2. On relève la distance d' séparant désormais R_1 de R'_2 : on lit d'= 3,5 cm.



1.2. Définir en une phrase la longueur d'onde λ ; écrire la relation entre la longueur d'onde λ, la célérité *v* des ultrasons dans le milieu et la période *T* des ultrasons.
1.3. Exprimer en fonction de la période *T* des ultrasons le retard τ du signal reçu par R'_2 par rapport à celui reçu par R_2.
En déduire la longueur d'onde.
1.4. Calculer la célérité des ultrasons dans l'air.
1.5. *On immerge, en veillant à leur étanchéité, l'émetteur et les deux récepteurs R_1 et R_2 dans l'eau contenue dans une cuve de dimensions suffisantes. Sans changer la fréquence f de l'émetteur, on constate que pour observer deux signaux successifs captés par R_2 en phase, il faut éloigner R_2 de R_1 sur une distance 4 fois plus grande que dans l'air.*
Déterminer la célérité des ultrasons dans l'eau.

Partie B

2. Le nettoyage par cavitation acoustique.
Le nettoyage par ultrasons est mis en oeuvre dans de très nombreux secteurs d'activités : industrie mécanique, horlogerie, bijouterie, optique … Il repose sur le phénomène de cavitation acoustique : la cavitation est produite en émettant des ultrasons de forte puissance dans un liquide.
L'émetteur est un disque constitué d'un matériau piézoélectrique sur les faces duquel sont déposées deux électrodes métallisées. Lorsqu'une tension électrique sinusoïdale est appliquée entre ces deux électrodes, le matériau se dilate et se contracte périodiquement. Ces déplacements périodiques du disque provoquent des successions de dépressions - surpressions du liquide qui est en son contact. Cette perturbation se propage ensuite de proche en proche dans l'ensemble du fluide : c'est l'onde ultrasonore.

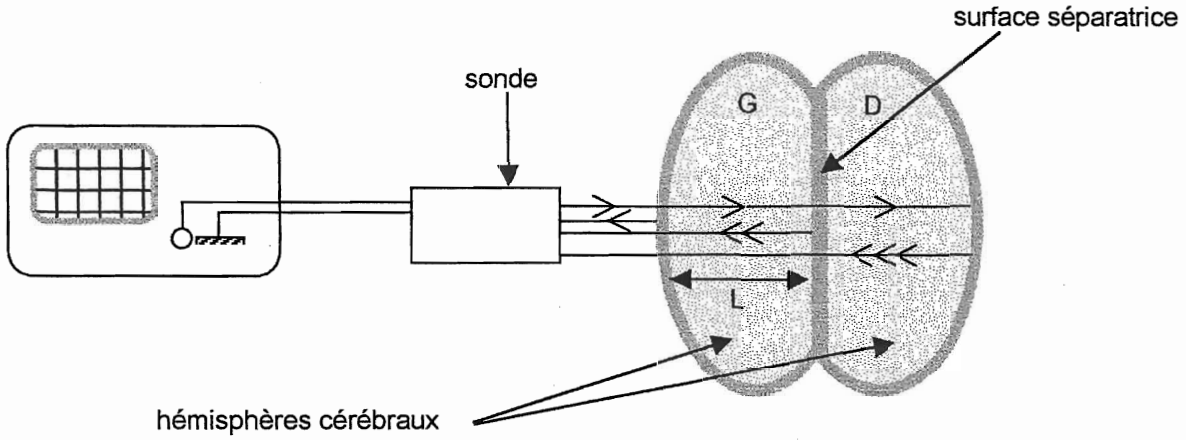


Lors du passage de l'onde dans une « tranche » de liquide, le phénomène de cavitation se produit si la puissance de l'onde est suffisante : des microbulles de vapeur dont le diamètre peut atteindre 100 µm apparaissent. Les microbulles de vapeur sont transitoires. Elles implosent en moins d'une microseconde. Les ondes de choc émises par l'implosion nettoient la surface d'un solide plongé dans le liquide.

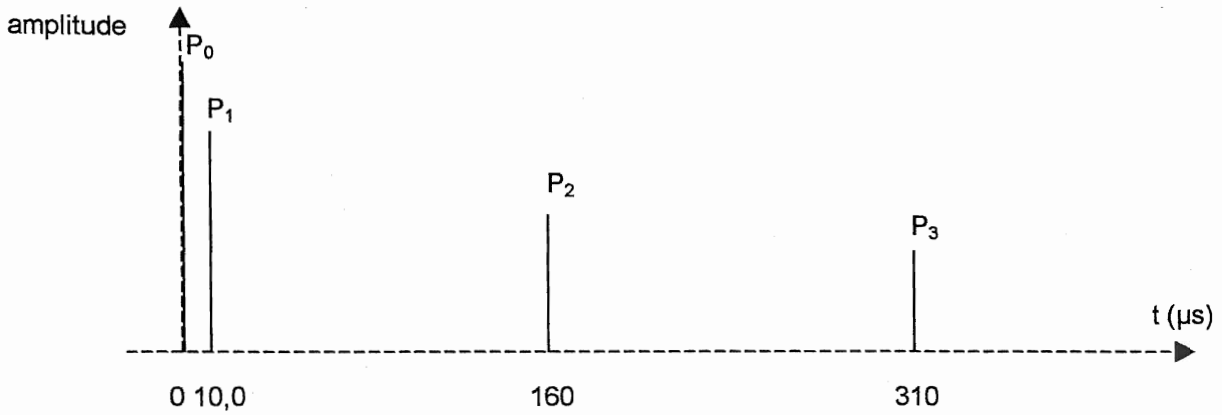
2.1. *L'onde ultrasonore est une onde mécanique progressive.*
Définir une telle onde.
2.2. S'agit-il d'une onde longitudinale ou transversale ?
2.3. Interpréter brièvement la formation suivie de l'implosion des microbulles dans une tranche de liquide.
Données :
- *la température d'ébullition d'un liquide diminue quand la pression diminue*
- *définition d'une implosion : écrasement brutal d'un corps creux sous l'effet d'une pression extérieure supérieure à la pression intérieure*

3. L'échogramme du cerveau.

Une sonde, jouant le rôle d'émetteur et de récepteur, envoie une impulsion ultrasonore de faible durée et de faible puissance en direction du crâne d'un patient. L'onde sonore pénètre dans le crâne, s'y propage et s'y réfléchit chaque fois qu'elle change de milieu. Les signaux réfléchis génèrent des échos qui, au retour sur la sonde, y engendrent une tension électrique très brève. Un oscilloscope relié à la sonde permet la détection à la fois de l'impulsion émettrice et des divers échos.



L'oscillogramme obtenu sur un patient permet de tracer l'échogramme ci-dessous : les tensions électriques étant redressées, seule la partie positive de celles-ci est envoyée sur l'oscilloscope ; la durée d'émission de l'impulsion étant très brève ainsi que celle des échos, on observe sur l'écran des pics verticaux : P_0, P_1, P_2, P_3.



P_0 correspond à l'émission à l'instant de date $t = 0$ s de l'impulsion ; P_1 à l'écho du à la réflexion sur la surface externe de l'hémisphère gauche (G sur le schéma) ; P_2 à l'écho sur la surface de séparation des deux hémisphères ; P_3 à l'écho sur la surface interne de l'hémisphère droit (D sur le schéma).
La célérité des ultrasons dans les hémisphères est $v = 1500\ m.s^{-1}$.

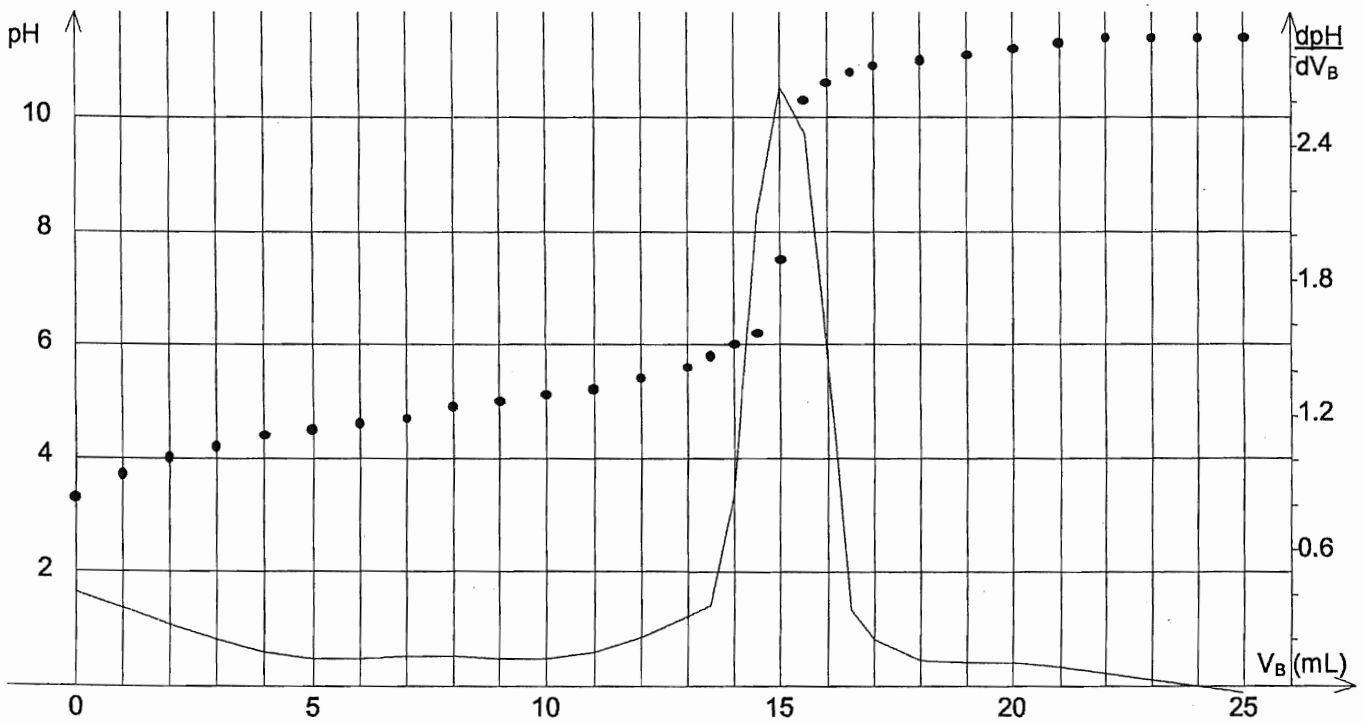
3.1. Quelle est la durée Δt du parcours de l'onde ultrasonore dans l'hémisphère gauche ainsi que dans le droit ?

3.2. En déduire la largeur L de chaque hémisphère.

Aide au calcul : $15 \times 15 = 225$

ANNEXE DE L'EXERCICE I

À RENDRE AVEC LA COPIE



ANNEXE DE L'EXERCICE II

À RENDRE AVEC LA COPIE

figure 2

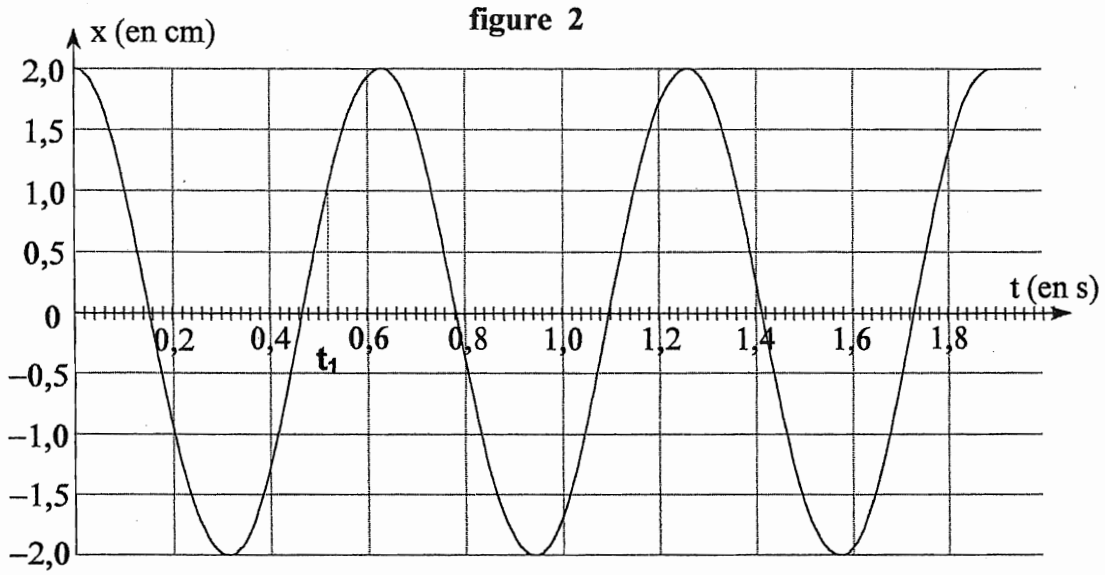


figure 4

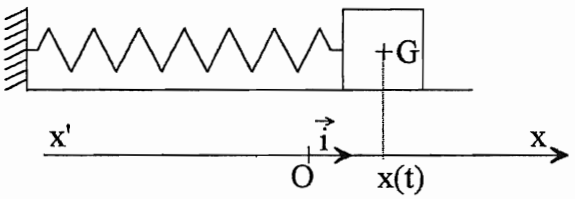
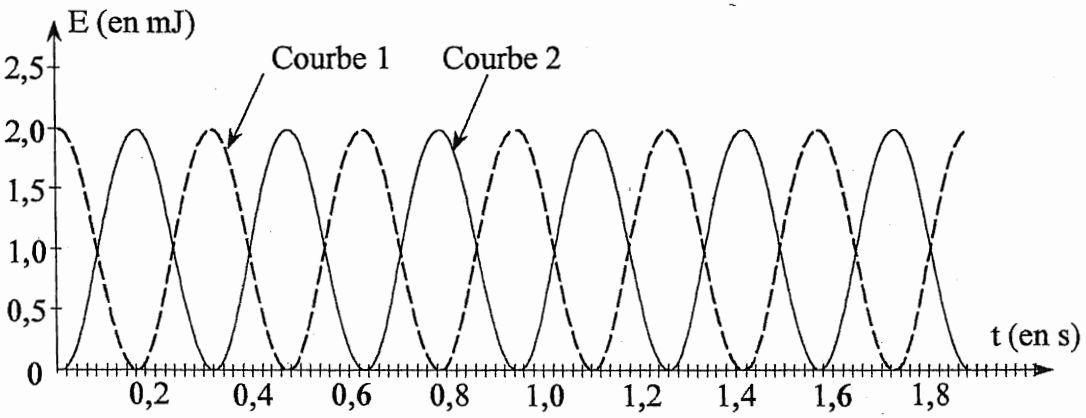


figure 5



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

obligatoire

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, y compris celle-ci et les annexes.

Les feuilles d'annexes (pages 11, 12 et 13) 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 dans un moteur à essence (5,5 points)
III. Des lois de Kepler à l'étude d'un astéroïde (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 : $IO_3^-(aq) / I_2(aq)$, $I_2(aq) / I^-(aq)$, $SO_4^{2-}(aq) / HSO_3^-(aq)$, $HSO_4^-(aq) / SO_2(aq)$, $O_2(g) / H_2O(\ell)$, $H^+(aq) / H_2(g)$

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

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 :

$$2\ IO_3^-(aq) + 5\ HSO_3^-(aq) + 2\,H_2O(\ell) = 5\ SO_4^{2-}(aq) + I_2(aq) + 3\ H_3O^+$$

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 :

$$H_2O_2(aq) + 2\ I^-(aq) + 2\ H_3O^+ = I_2(aq) + 4\,H_2O(\ell)$$

On dispose des solutions suivantes :
S_A : solution d'acide sulfurique dont la concentration en ions oxonium est $c_A = 0{,}10\ mol.L^{-1}$.
S_B : solution d'iodure de potassium dont la concentration en ions iodure est $c_B = 0{,}10\ mol.L^{-1}$.
S_C : solution de peroxyde d'hydrogène dont la concentration est $c_C = 0{,}10\ mol.L^{-1}$.

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

Á 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 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 $\left[H_3O^+\right]_1 = \left[I^-(aq)\right]_1 = 5{,}0 \times 10^{-2}$ *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.

<u>Données :</u>

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 L.mol^{-1}

Quantité d'électricité transportée par une mole d'électrons : F = 9,65 $\times 10^4$ 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 A pendant une durée* Δt *= 30 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 :

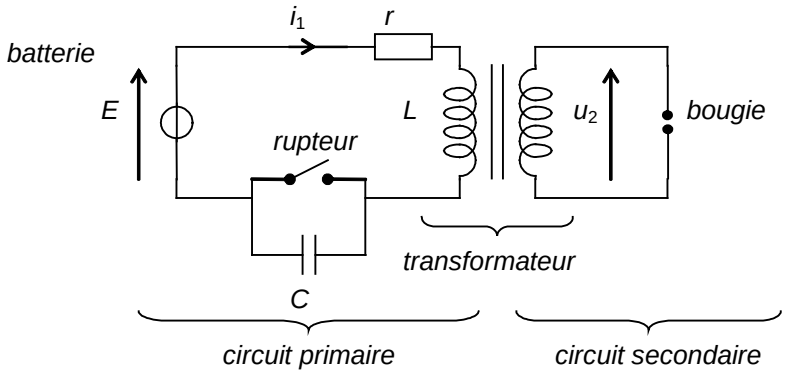


Figure 3

Avec :
E = 12 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 Ω.
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 α 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 :

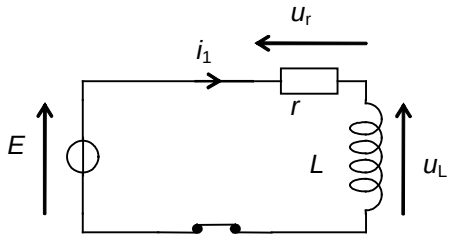


Figure 4

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 :

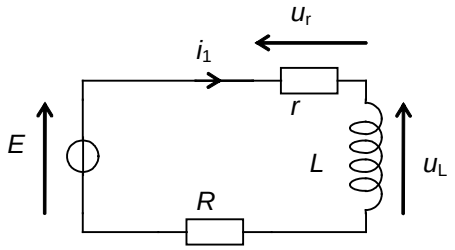


Figure 5

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* $t \geq 0$ *:*

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

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

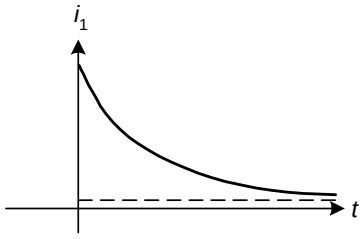


Figure 6.a

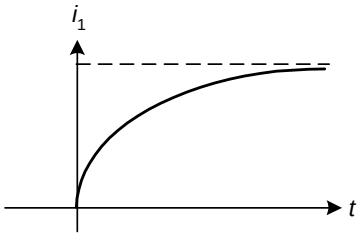


Figure 6.b

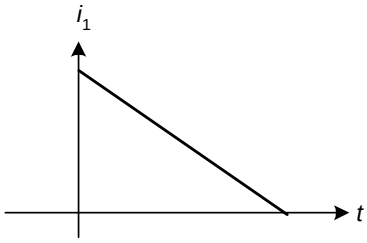


Figure 6.c

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 τ.

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 :

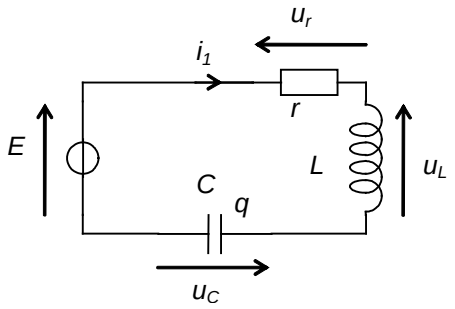


Figure 8

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 :* $q(t)=Q_0.cos\left(\frac{2.\pi}{\gamma}t\right)+C.E$ *.*

On prendra comme origine des dates, l'instant t = 0 s pour lequel q(t = 0 s) = Q_0 + C.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 $\gamma=2.\pi.\sqrt{L.C}$.

2.1.4. Que représente γ pour ce circuit ?

2.1.5. En utilisant la réponse à la question 2.1.2., montrer que $u_2(t)=-A\cos(\frac{2\pi}{\gamma}t)$ 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 ≠ 0

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

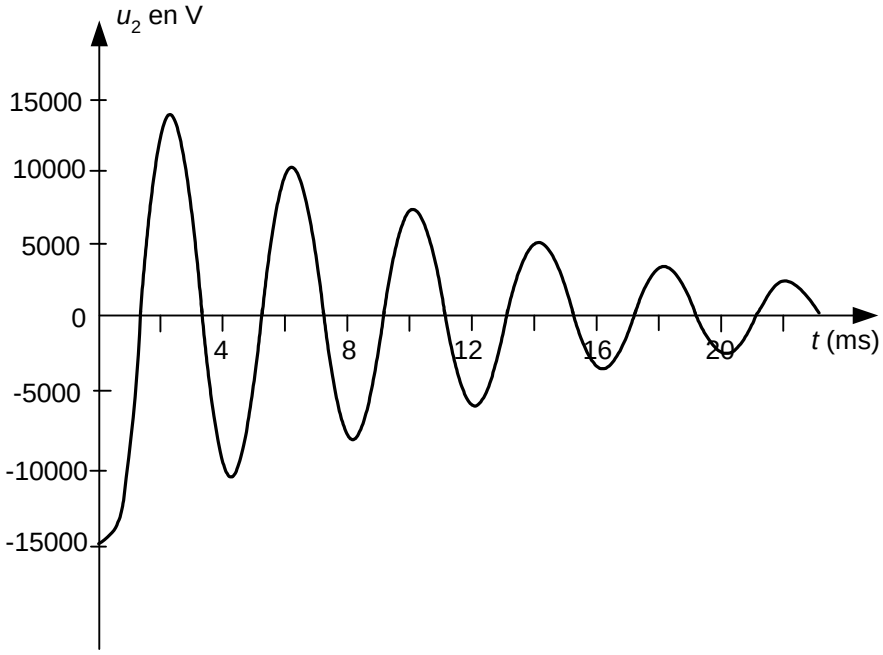


Figure 9

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 : DES LOIS DE KEPLER À L'ÉTUDE D'UN ASTÉROÏDE… (4 points)

L'objectif de cet exercice est d'étudier le mouvement de quelques planètes du système solaire et de déterminer la masse de l'astéroïde Rhea Sylvia, récemment découvert par une équipe d'astronomes. Celui-ci a la forme d'une grosse pomme de terre mesurant quelques centaines de kilomètres.
Par souci de simplification, dans tout l'exercice, les astres étudiés sont considérés à répartition sphérique de masse.
Donnée : constante de gravitation universelle $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ S.I
Les représentations vectorielles demandées sont à effectuer sans souci d'échelle.

1. En hommage à Kepler

« Johannes Kepler, né le 27 décembre 1571 à Weil der Stadt, près de Stuttgart (Allemagne), mort le 15 novembre 1630 à Ratisbonne, est un astronome célèbre. Il a étudié et confirmé l'hypothèse héliocentrique (la Terre tourne autour du Soleil) de Nicolas Copernic. Il a également découvert que les trajectoires des planètes n'étaient pas des cercles parfaits centrés sur le Soleil mais des ellipses. En outre, il a énoncé les lois (dites lois de Kepler) qui régissent les mouvements des planètes sur leurs orbites. »

1.1. Planètes en orbite elliptique.
La figure 10 ci-dessous représente la trajectoire elliptique du centre d'inertie M d'une planète du système solaire de masse m dans le référentiel héliocentrique considéré galiléen. Les deux foyers F_1 et F_2 de l'ellipse et son centre O sont indiqués.

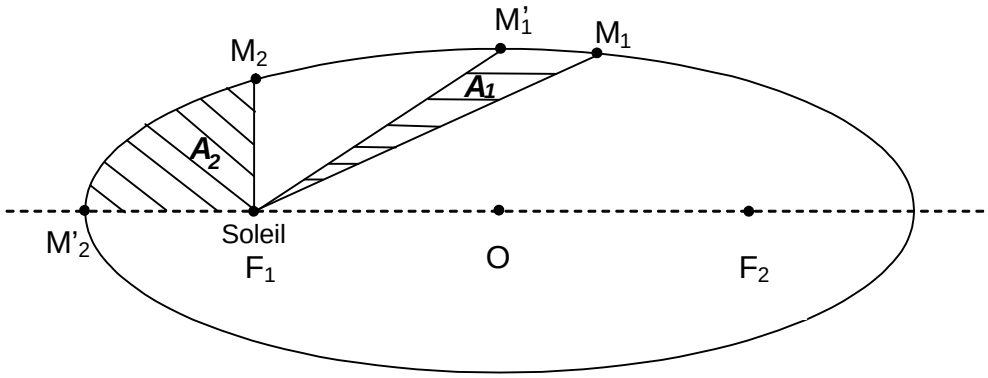


Figure 10

1.1.1. En utilisant une des lois de Kepler, justifier la position du Soleil indiquée sur la figure 10.
1.1.2. On suppose que les durées de parcours entre les points M_1 et M'_1 puis M_2 et M'_2 sont égales. En utilisant une des lois de Kepler, trouver la relation entre les aires hachurées A_1 et A_2 sur la figure 10.
1.1.3. La valeur de la vitesse moyenne entre les points M_1 et M'_1 est-elle inférieure, égale ou supérieure à celle entre les points M_2 et M'_2 ? Justifier.

1.2. Planètes en orbite circulaire.
Dans cette partie, pour simplifier, on modélise les trajectoires des planètes du système solaire dans le référentiel héliocentrique par des cercles de rayon r dont le centre O est le Soleil de masse M_S.

1.2.1. Représenter sur la ***FIGURE 11 DE L'ANNEXE PAGE 13*** la force de gravitation $\overrightarrow{F_3}$ exercée par le Soleil sur une planète quelconque du système solaire de masse *m* dont le centre d'inertie est situé au point M_3.

1.2.2. Donner l'expression vectorielle de cette force au point M_3, en utilisant le vecteur unitaire $\vec{u}$.

Pour la suite on considère que les valeurs des autres forces de gravitation s'exerçant sur la planète sont négligeables par rapport à la valeur de $\overrightarrow{F_3}$.

1.2.3. En citant la loi de Newton utilisée, déterminer l'expression du vecteur accélération $\overrightarrow{a_3}$ du centre d'inertie d'une planète quelconque de masse *m* du système solaire dont le centre d'inertie est situé au point M_3.

1.2.4. Représenter sur la ***FIGURE 11 DE L'ANNEXE PAGE 13*** les vecteurs accélérations $\overrightarrow{a_3}$ et $\overrightarrow{a_4}$ du centre d'inertie d'une planète quelconque du système solaire respectivement aux points M_3 et M_4.

1.2.5. En déduire la nature du mouvement du centre d'inertie d'une planète quelconque de masse *m* du système solaire.

1.2.6. Le graphe de la ***FIGURE 12 DE L'ANNEXE PAGE 13*** représente l'évolution du carré de la période de révolution des planètes Terre, Mars et Jupiter en fonction du cube du rayon de leur orbite. Ce graphe est-il en accord avec la troisième loi de Kepler ?

1.2.7. En utilisant le graphe de la ***FIGURE 12 DE L'ANNEXE PAGE 13***, montrer que

$$\frac{T^2}{r^3} \simeq 3{,}0\times10^{-19} \text{ S.I.}$$

1.2.8.

> « *Une équipe composée de Franck Marchis (université de Californie à Berkeley) et de trois astronomes de l'Observatoire de Paris, Pascal Descamps, Daniel Hestroffer et Jérome Berthier, vient de découvrir un astéroïde, nommé Rhea Sylvia, qui gravite à une distance constante du Soleil avec une période de révolution de 6,521 ans.* »
>
> *D'après un article paru dans LE MONDE le 13.07.2005*

À l'aide des données de l'article précédent et du résultat de la question 1.2.7., calculer la distance séparant les centres respectifs de Rhea Sylvia et du Soleil.

Donnée : 1 an = 365 jours

2. La troisième loi de Kepler comme balance cosmique…

> « *Grâce au Very Large Telescope de l'European Southern Observatory (ESO) au Chili, les astronomes ont également découvert que Rhea Sylvia était accompagné de deux satellites baptisés Remus et Romulus. Leurs calculs ont montré que les deux satellites décrivent une orbite circulaire autour de Rhea Sylvia ; Romulus effectue son orbite en 87,6 heures. Les distances entre chaque satellite et Rhea Sylvia sont respectivement de 710 kilomètres pour Remus et 1360 kilomètres pour Romulus.*»
>
> *D'après un article paru dans LE MONDE le 13.07.2005*

On s'intéresse désormais au mouvement circulaire uniforme du centre d'inertie d'un satellite de Rhéa Sylvia. L'étude est faite dans un référentiel "Rhéa Sylvia-centrique" muni d'un repère dont l'origine est le centre de Rhéa Sylvia et dont les trois axes sont dirigés vers des étoiles fixes.

2.1. On rappelle que la troisième loi de Kepler a pour expression littérale : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G\cdot M}$. Dans le cadre de l'étude du mouvement de Remus et Romulus autour de Rhea Sylvia, donner la signification de chaque grandeur et son unité. En déduire l'unité de G dans le système international.

2.2. À l'aide des données de l'article précédent et de la troisième loi de Kepler, déterminer la masse de l'astéroïde Rhea Sylvia.

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

Question 2.1. Première expérience

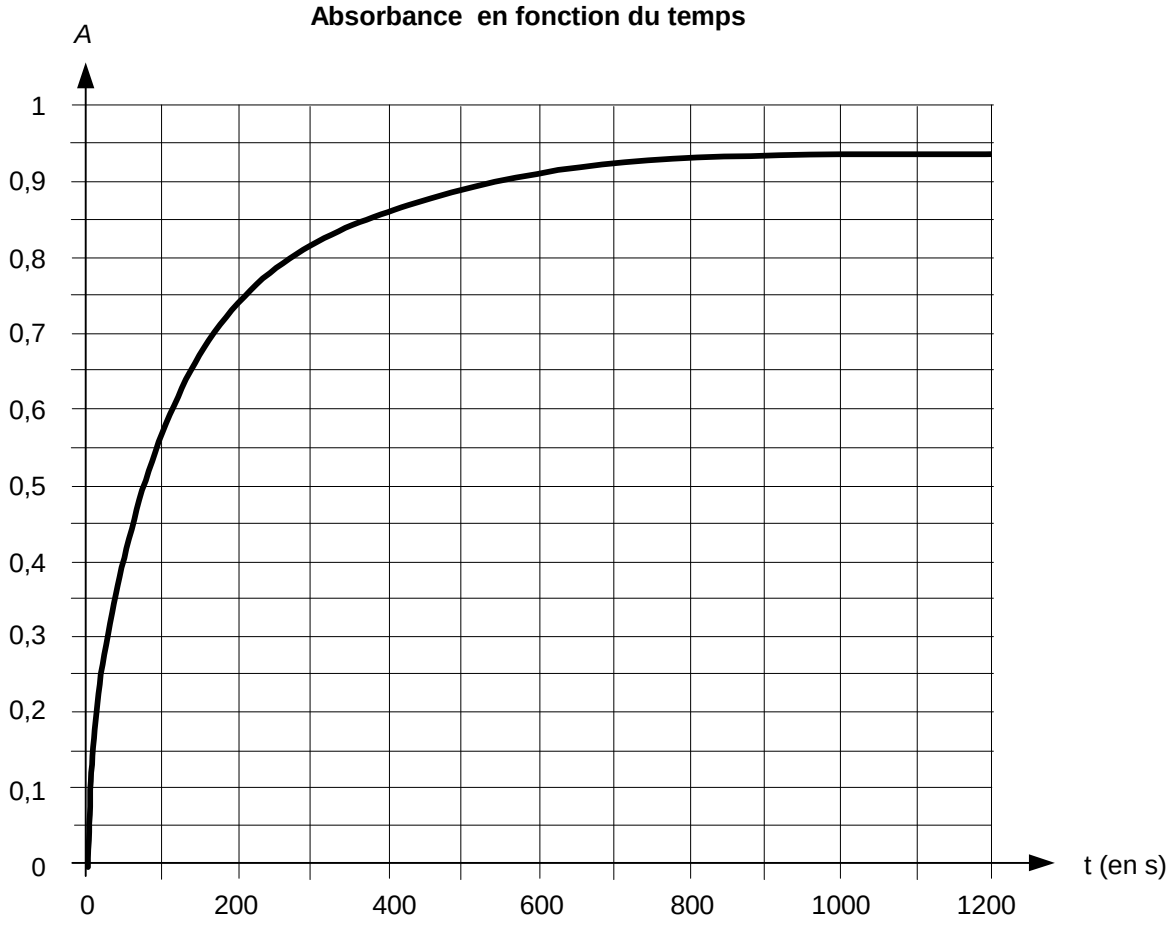


Figure 1

Question 2.1.1. Tableau d'évolution du système

Equation		$H_2O_2(aq)$ + 2 $I^-(aq)$ + 2 H_3O^+ = $I_2(aq)$ + 4 $H_2O(\ell)$				
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

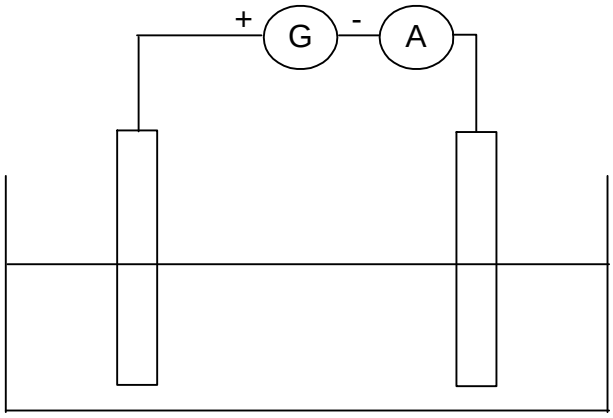


Figure 2

ANNEXE DE L'EXERCICE II

Question 1.2.3.

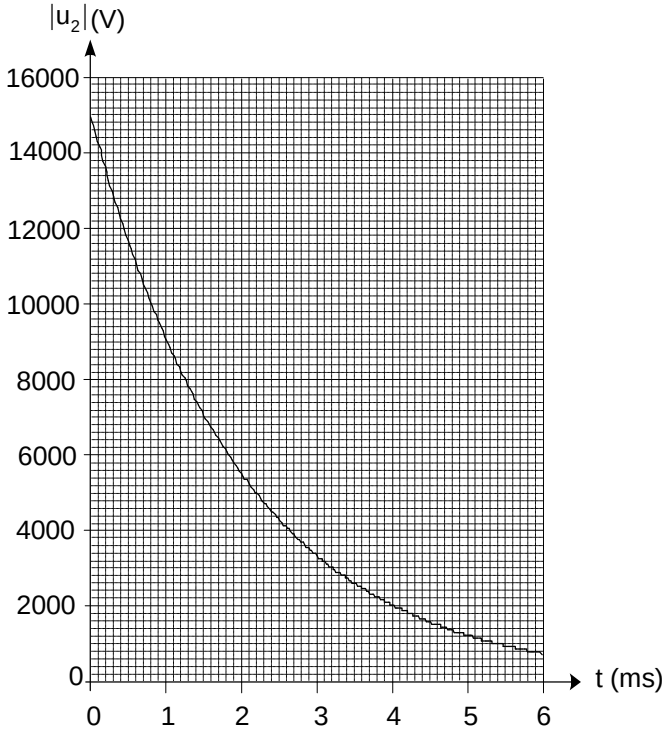


Figure 7

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III

Questions 1.2.1 et 1.2.4.

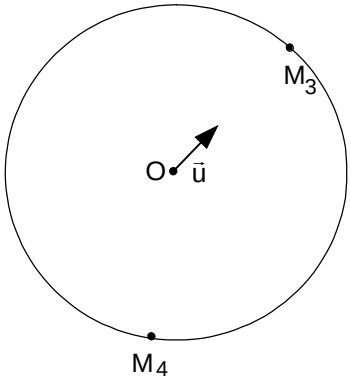


Figure 11

Questions 1.2.6. et 1.2.7.

$T^2 = f(r^3)$

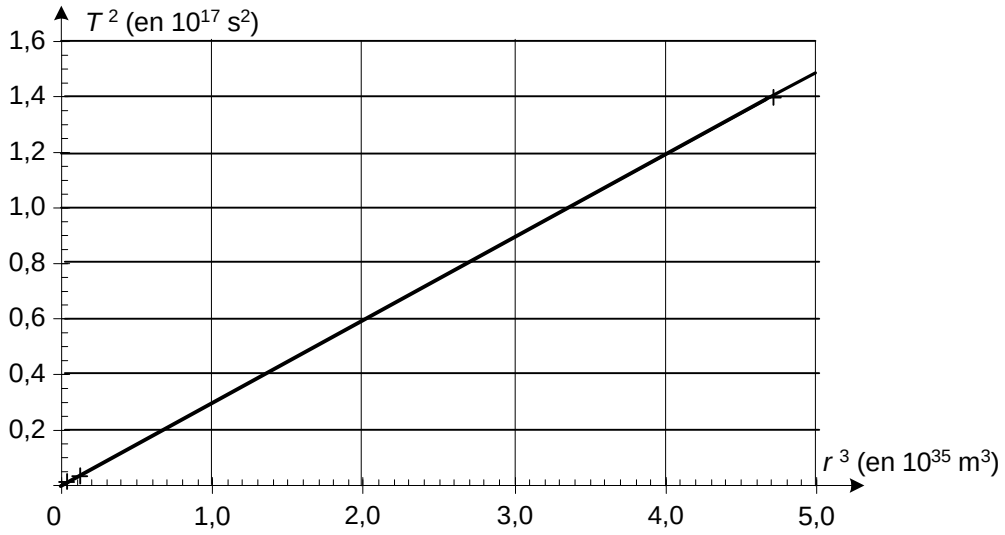


Figure 12

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Obligatoire

SESSION 2007

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 h 30 **Coefficient : 6**

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Ce sujet comporte 1 exercice de PHYSIQUE et 2 exercices de CHIMIE présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

Ce sujet comporte 6 annexes réparties sur 3 pages.

Le candidat doit traiter les 3 exercices, qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice n°1 : Le dioxyde de carbone atmosphérique (9,5 points)
Exercice n°2 : Synthèse de l'arôme d'abricot (2,5 points)
Exercice n°3 : Du chou dans l'abricot (4 points)

Il sera tenu compte de la qualité de la présentation et de l'expression des résultats numériques en fonction de la précision des données fournies par l'énoncé (emploi correct des chiffres significatifs).

Exercice n°1 (9,5 points)

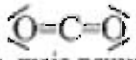
LE DIOXYDE DE CARBONE ATMOSPHERIQUE DE L'EFFET DE SERRE A LA RADIOCHRONOLOGIE

Note à l'attention du candidat : les trois parties du problème sont indépendantes.

Le dioxyde de carbone CO_2 entre dans la composition des gaz atmosphériques à hauteur de 0,04% en volume. Issus naturellement de la respiration du monde vivant – animal et végétal – sa présence dans l'atmosphère a régulièrement augmenté depuis environ 150 ans, ceci en raison des activités humaines, notamment industrielles. On sait maintenant que cette augmentation contribue à accroître l'effet de serre naturel de la Terre et contribue ainsi au réchauffement climatique global.
On se propose donc dans ce problème de comprendre pourquoi ce dioxyde de carbone est ce qu'on appelle couramment un « gaz à effet de serre ». On cherchera par la suite à voir comment ce même dioxyde de carbone atmosphérique permet indirectement la datation au carbone 14.

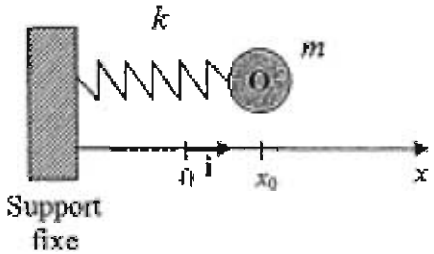
1. Vibration d'une molécule de dioxyde de carbone.

La molécule de dioxyde de carbone est une molécule linéaire dont la représentation de Lewis est la suivante :



Dans cette molécule, les atomes ne sont pas fixes, mais peuvent vibrer les uns par rapport aux autres. On peut ainsi modéliser cette molécule en considérant que les différents atomes de cette molécule sont des masses reliées entre elles par des ressorts, ressorts modélisant les deux liaisons chimiques. On aura ainsi le modèle suivant :

Pour simplifier davantage la mise en forme du problème, on considérera que seuls les atomes d'oxygène sont en mouvement unidirectionnel par rapport à l'atome de carbone, qui lui, reste fixe. L'étude sera donc portée sur le mouvement d'un seul atome d'oxygène, oscillant librement sans frottement par rapport à un support fixe. **L'action de la pesanteur est négligée dans ce problème**. Cette simplification conduit alors à une dernière modélisation représentée ci-dessous où le ressort de masse nulle a pour raideur k :



On se place dans un référentiel galiléen.
On écarte la masse m de sa position d'équilibre ($x = 0$ sur le schéma) en lui donnant l'abscisse x_0. La masse est alors abandonnée sans vitesse initiale.

1.1. Quelle est le nom de l'unique force mise en jeu dans ce problème compte tenu des simplifications de l'énoncé. Quelle est son expression littérale pour un allongement quelconque $x(t)$?

1.2. Sur la feuille fournie en **ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)** représenter cette force dans le cas où $x > 0$,

1.3. En appliquant une loi dont on donnera le nom, établir l'équation différentielle vérifiée par la position $x(t)$ de la masse m.

1.4. En considérant que l'expression $x(t) = x_0.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$ est solution de cette équation différentielle, déterminer l'expression littérale de T_0 en fonction de k et m. Quel est le nom de cette grandeur ?

1.5. En déduire l'expression littérale de la fréquence f_0 des oscillations. Faire l'application numérique avec $k = 422$ N.m^{-1} et $m = 2{,}66.10^{-26}$ kg.

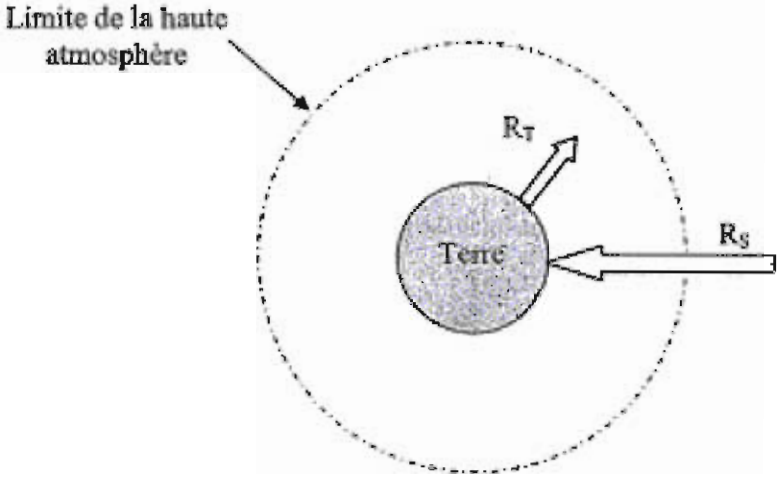
2. Dioxyde de carbone et effet de serre.

L'effet de serre est avant tout un phénomène naturel. Il permet à notre planète de maintenir une température moyenne à la surface du globe de 15°C. Sans celui-ci, cette température moyenne serait de l'ordre de -18°C. Il existe un effet de serre additionnel, dû à l'importance des rejets en dioxyde de carbone, qui risque de compromettre l'équilibre climatique.
Pour comprendre l'effet de serre, on retiendra la modélisation très simplifiée suivante :

- une énergie thermique R_S parvient à la surface de la Terre sous la forme de rayonnement électromagnétique solaire. Les fréquences de ces radiations sont principalement celles du spectre visible,

- la Terre recevant cette énergie doit la restituer vers l'espace. Cette restitution d'énergie R_T se fait sous la forme d'un rayonnement électromagnétique terrestre, essentiellement situé dans l'infrarouge. L'équilibre est assuré lorsque $R_S = R_T$,

- l'atmosphère peut alors jouer un rôle de couvercle pour ces radiations en absorbant les radiations R_T, retenant ainsi l'énergie émise par la Terre et la réémettant vers l'espace. Le dioxyde de carbone intervient dans ce processus.



2.1. Rappeler sur un axe gradué en longueurs d'onde, les valeurs limites du spectre visible dans le vide, ainsi que les couleurs associées à ces limites. Ces valeurs limites seront données en micromètre (µm) et nanomètre (nm).

2.2. Nommer et situer les domaines de radiations situés au-delà de chacune de ces limites ?

2.3. Pour une onde électromagnétique dans le vide, quelle relation littérale relie sa longueur d'onde λ_0, sa fréquence f et sa célérité c ?

Par la suite on considérera $c = 3{,}00.10^8$ m.s^{-1}

Pour comprendre les vibrations de la molécule de dioxyde de carbone, il faut considérer qu'elle absorbe certaines radiations électromagnétiques susceptibles de la mettre en mouvement vibratoire. Si la fréquence du rayonnement électromagnétique est la même que sa fréquence propre de vibration mécanique, alors il y a absorption de ce rayonnement.

2.4. La fréquence propre de vibration de la molécule de dioxyde de carbone vaut $f_0 = 2{,}00.10^{13}$ Hz. Déterminer la longueur d'onde λ_0 du rayonnement électromagnétique correspondant que peut absorber le dioxyde de carbone. On mettra la valeur calculée en micromètre.

2.5. Dans quelle gamme du spectre de la question 2.1 se situe la longueur d'onde calculée ?

2.6. Expliquer alors pourquoi le dioxyde de carbone atmosphérique peut piéger l'énergie thermique émise par la surface terrestre.

3. Des pingouins à Marseille !

On se propose dans cette dernière partie d'expliquer comment le dioxyde de carbone atmosphérique permet indirectement de comprendre le principe bien connu de datation au carbone 14.

Dans la haute atmosphère un atome d'azote du diazote atmosphérique N_2 est soumis à un rayonnement de neutrons. Lorsqu'un neutron entre en collision avec un atome d'azote, il s'en suit la formation d'un atome de carbone 14 et d'une autre particule que l'on nomme X.
On a ainsi l'équation suivante :

$$^{1}_{0}\mathbf{n} + {}^{14}_{7}\mathbf{N} \rightarrow {}^{14}_{6}\mathbf{C} + {}^{A}_{Z}\mathbf{X}$$

3.1. Énoncer les lois de conservation relatives à une transformation nucléaire. En déduire l'identité de la particule X produite lors de cette collision.

L'atome de carbone 14 ainsi produit se retrouve dans une molécule de dioxyde de carbone CO_2. Cette molécule peut alors être assimilée par un organisme végétal grâce à la photosynthèse. Tant que l'organisme est vivant, sa teneur en carbone 14 par rapport à l'isotope majoritaire carbone 12 reste constante. C'est à la mort de l'organisme que ce taux diminue en raison du caractère radioactif du carbone 14.

3.2. Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ? Citer les quatre types d'émissions qui caractérisent la radioactivité.

3.3. Sachant que le carbone 14 présente une radioactivité β^-, écrire l'équation traduisant sa désintégration.

En 1991, un plongeur amateur découvre près de Marseille l'ouverture d'une grotte sous-marine située à 37 m sous le niveau de la mer (la grotte COSQUER du nom de son découvreur). En remontant la grotte, il y trouva des cavités présentant des peintures rupestres, avec entre autres animaux des pingouins !
L'analyse du charbon ayant servi à ces peintures montre que le taux de carbone 14 présent n'est que de 9,20% par rapport à celui trouvé dans un organisme vivant.

On donne la demi-vie du carbone 14 à savoir $t_{1/2} = 5370\,ans$.

3.4. Rappeler la définition de la demi-vie.

On rappelle également la loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0.e^{-\lambda t}$ avec $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$

3.5. Quel nom donne-t-on à la constante λ ? Quelle est son unité compte tenu des données de l'énoncé ?

3.6. D'après le taux de carbone 14 donné, que vaut le rapport $\dfrac{N(t)}{N_0}$?

3.7. Quel est alors l'âge de ces peintures ?

On sait aujourd'hui que l'accroissement de l'effet de serre lié aux activités humaines risque de compromettre l'équilibre climatique pour le siècle à venir. Un des risques majeurs serait une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre, avec entre autres conséquences une fonte partielle des glaces polaires.

3.8. Que peut traduire la présence de ces animaux dans ces grottes quant au climat de cette époque ?
Pourquoi la grotte était-elle alors accessible aux hommes ?

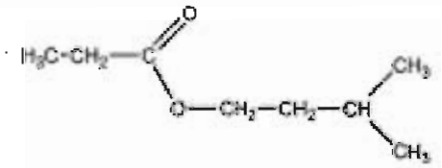
Exercice n°2 (2,5 points)

SYNTHÈSE DE L'ARÔME D'ABRICOT

Pour synthétiser l'arôme d'abricot (propanoate d'isoamyle), l'aide de laboratoire dispose d'un composé noté A, d'acide propanoïque, d'anhydride propanoïque et d'acide sulfurique.
Afin de comparer les actions de l'acide propanoïque et de l'anhydride propanoïque sur le composé A, il réalise deux synthèses dans lesquelles le composé A (qui sera le réactif limitant) est introduit en même quantité. Les courbes 1 et 2 de l'**ANNEXE 2** traduisent respectivement l'évolution de l'avancement chimique des synthèses n°1 et n°2 en fonction du temps.

1. SYNTHÈSE N°1 : ACTION DE L'ACIDE PROPANOÏQUE SUR LE COMPOSÉ A EN PRÉSENCE D'ACIDE SULFURIQUE.

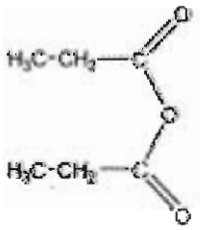
1.1. Le propanoate d'isoamyle est obtenu par action de l'acide propanoïque sur le composé A.
À partir de la formule développée du propanoate d'isoamyle, donner la formule semi-développée du composé A.



1.2. Préciser le nom systématique de ce composé.
1.3. Écrire l'équation de la réaction mettant en jeu le composé A et l'acide propanoïque en utilisant les formules semi-développées.
1.4. Nommer la transformation inverse qui est susceptible de se produire.
1.5. Justifier l'emploi d'un excès d'acide propanoïque.
1.6. Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?

2. SYNTHÈSE N°2 : L'ACIDE PROPANOÏQUE EST REMPLACÉ PAR L'ANHYDRIDE PROPANOIQUE (SANS ACIDE SULFURIQUE).

2.1. Encercler la fonction anhydride d'acide sur la formule développée de l'anhydride propanoïque que vous recopierez.



2.2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la synthèse n°2.
2.3. Quel est l'intérêt de l'emploi d'un anhydride d'acide ?
2.4. À partir de la courbe 2 de l'**ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)**, déterminer graphiquement l'avancement maximal x_{max} de la transformation chimique.

3. COMPARAISON DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.

À partir des courbes expérimentales 1 et 2 de l'**ANNEXE 2**, déterminer le rendement de la synthèse n°1.

Exercice n°3 (4 points)

DE CHOU DANS L'ABRICOT

Note à l'attention du candidat : les parties 1 et 2 sont indépendantes.

Les anthocyanes sont des colorants naturels présents dans de nombreux fruits rouges ou de pétales de fleurs.
Ils sont notamment présents dans les feuilles de chou rouge d'où il est aisé de les extraire.
La variation de structure des anthocyanes en fonction de l'acidité du milieu est une particularité de ces molécules.
Suivant le pH, 3 formes, avec des absorbances différentes, ont été mises en évidence (voir **ANNEXE 3**).

On souhaite utiliser le jus de chou rouge comme indicateur pour doser l'acide propanoïque utilisé dans la synthèse de l'arôme d'abricot.
Afin de vérifier que l'utilisation du jus de chou rouge est judicieuse, un premier dosage *à la date* t = 2 min. est réalisé par pH-métrie (voir **ANNEXE 4**).

1. ÉTUDE DU DOSAGE

1.1. Écrire l'équation bilan traduisant le titrage de l'acide propanoïque par une solution d'hydroxyde de sodium $(Na^+_{aq} + HO^-_{aq})$.

1.2. Déterminer, en faisant apparaître les constructions sur la courbe de l' **ANNEXE 4**, le volume V et le pH à l'équivalence.

1.3. Quelle est la couleur de la solution initiale une fois le jus de chou rouge introduit ? Justifier votre réponse à l'aide des documents donnés dans les **ANNEXES 3 et 4.**

1.4. Le chou rouge peut-il être utilisé comme indicateur coloré dans ce dosage ? Justifier la réponse.

1.5. Utilisation de la courbe pour déterminer la constante d'acidité de l'acide propanoïque :

1.5.1. Donner l'expression de la constante d'acidité de l'acide propanoïque.

1.5.2. Que peut-on dire des concentrations en acide propanoïque et en ion propanoate lorsque la moitié du volume équivalent a été versé ?

1.5.3. Donner alors l'expression de la constante d'acidité de l'acide propanoïque en fonction du pH lorsque la moitié du volume équivalent a été versé ?

1.5.4. À partir de la valeur du pH lue sur la courbe à la demi équivalence, déterminer la valeur de la constante d'acidité de l'acide propanoïque.

Les anthocyanes du chou rouge sont utilisés dans la suite pour réaliser les dosages de l'acide propanoïque par colorimétrie.

2. SUIVI TEMPOREL DE LA SYNTHÈSE.

De l'arôme d'abricot est synthétisé à chaud à partir du mélange d'un volume V_A = 20,0 mL d'alcool noté A et d'un volume V_B = 29,0 mL d'acide propanoïque ($CH_3CH_2CO_2H$) en présence de *1,0 mL* d'acide sulfurique. On note V_T = 50,0 mL le volume total du système. Les réactifs sont introduits à la date $t = 0$.
Les données utiles à la résolution de l'exercice sont données dans l'**ANNEXE 5 (à rendre avec la copie).**
La réaction chimique a pour équation :

$$C_2H_5CO_2H + C_5H_{12}O = C_8H_{16}O_2 + H_2O$$

Afin de suivre l'évolution de cette transformation en fonction du temps, des prises d'essai de volume $V_B^{'} = 3{,}0$ mL sont réalisées à intervalles de temps réguliers. Une trempe de chaque prise d'essai est effectuée dès son prélèvement ; cette opération consiste à ajouter une grande quantité d'eau distillée glacée à la prise d'essai.
Les acides (acide sulfurique et acide propanoïque restant) sont dosés par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 1{,}0$ mol.L^{-1} en présence de jus de chou rouge.

2.1. Expliquer l'intérêt de la trempe en précisant le(s) facteur(s) cinétique(s) mis en jeu.

2.2. Déterminer la quantité de matière d'acide propanoïque $n_B(0)$ introduite à la date $t = 0$.
La quantité de matière initiale d'alcool A est $n_A(0) = 18.10^{-2}$ mol.

2.3. Déterminer l'avancement maximum de la transformation chimique.

2.4. Établir la relation entre la quantité n_B d'acide restant à la date t, la quantité $n_B(0)$ et l'avancement x de la transformation à cette date.

2.5. Dans le tableau suivant sont reportés les volumes de réactif titrant versés pour doser uniquement l'acide propanoïque :

t (min.)	0	2	5	10	15	20	25	30
V (mL)	23,3	-	17,8	14,8	13,7	13,3	13,0	13,0

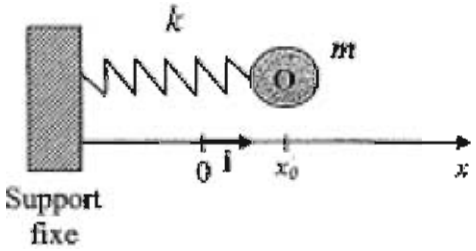
V étant le volume de réactif titrant ajouté à l'équivalence dans la prise d'essai de volume $V_B^{'}$.
Déterminer la quantité n'_B d'acide propanoïque présent dans la prise d'essai à la date t = 30 min.
En déduire la quantité n_B d'acide propanoïque restant dans le milieu réactionnel de volume $V_T = 50{,}0$ mL.

2.6. Le taux d'avancement noté τ (tau) d'une réaction chimique étant défini à la date t comme le rapport de l'avancement à la date t sur l'avancement maximal de la réaction, déterminer le taux d'avancement de la transformation étudiée à la date $t = 30$ min.

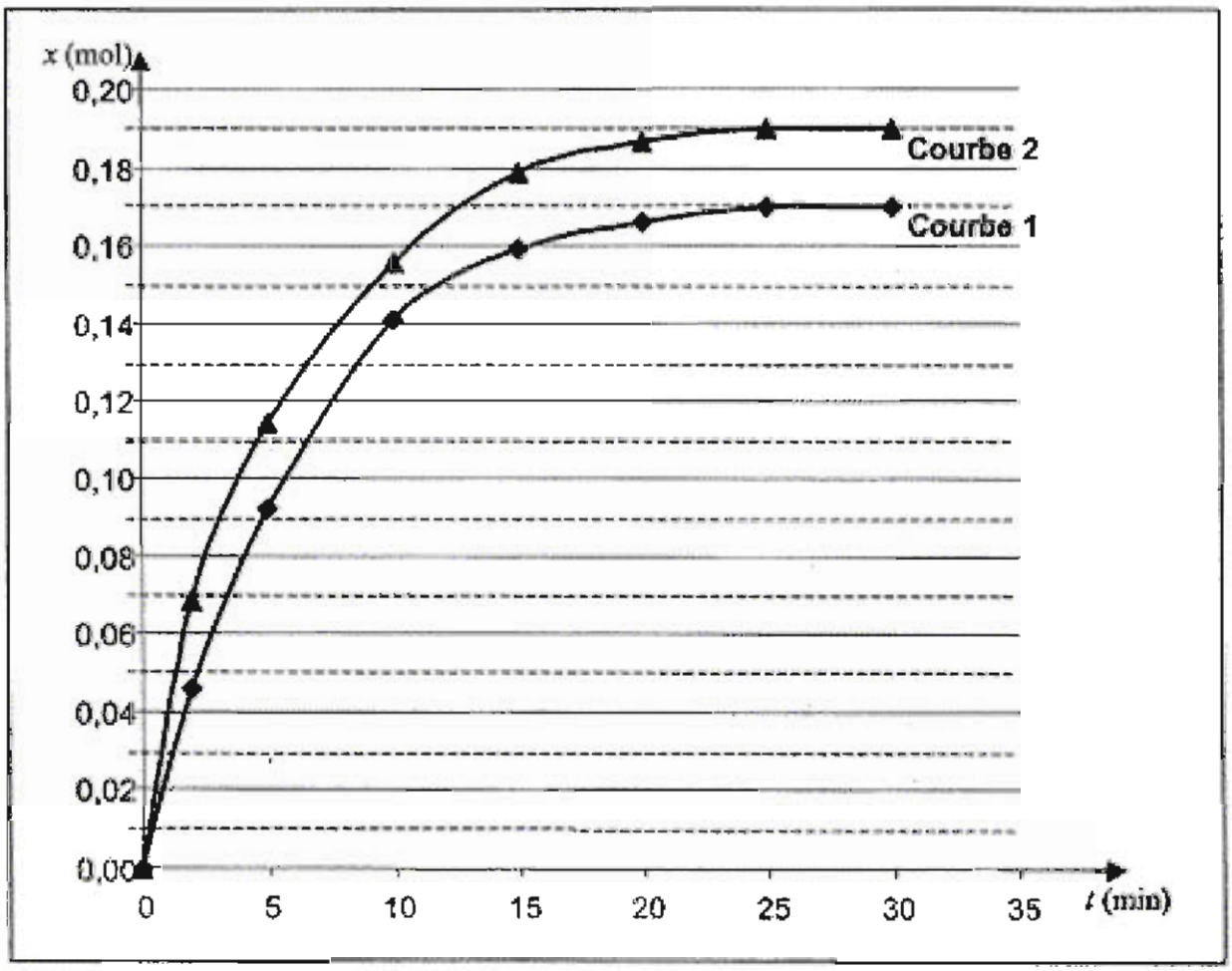
2.7. Après avoir placé sur la courbe de l'**ANNEXE 6 (à rendre avec la copie)** la valeur déterminée dans la question **2.5.**, tracer la courbe donnée en **ANNEXE 6**. Peut-on considérer que la transformation est terminée après 30 minutes de chauffage à reflux ? Justifier.

2.8. Définir et déterminer le temps de demi réaction.

ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)

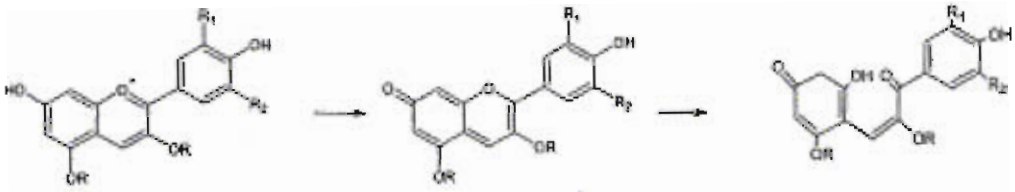


ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)



ANNEXE 3

Les anthocyanes du chou



Cation Flavylium Base quinonique Chalcone

Espèces chimiques	**Cation Flavylium**	**Base Quinonique**		**Chalcone**
pH	*3,0*	*6*	*8,5*	*13*
Couleur	*rouge*	*Bleu*	*vert*	*Jaune*

ANNEXE 4

réactifs et produits de la synthèse

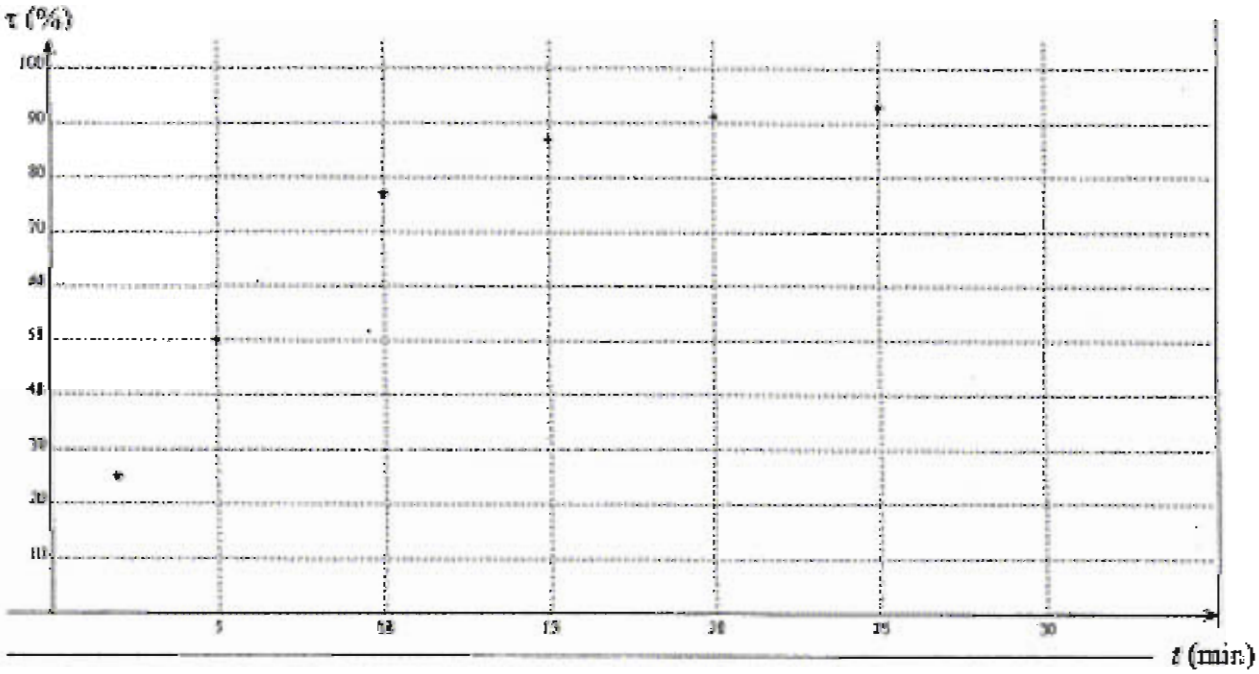
	M en g.mol^{-1}	*Masse volumique à 20°C en g.mL^{-1}*	*Température de fusion en °C*	*Température d'ébullition en °C*	*Solubilité avec l'eau*
Acide propanoique	*74,0*	*0,99*	*-20,8*	*141*	*infinie*
Alcool A	*88,2*	*0,81*	*-117*	*128,5*	*faible*
Éthanoate d'isoamyle	*130,2*	*0,87*	*-78,5*	*142*	*faible*

ANNEXE 5 (à rendre avec la copie)

Dosage pHmètrique à t = 2 min.

ANNEXE 6 (à rendre avec la copie)

Évolution du taux d'avancement en fonction du temps



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE - CHIMIE

Série S

ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

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

L'usage des calculatrices EST autorisé.

Ce sujet nécessite une feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 8 pages numérotées de 1 à 8, annexe comprise.

La feuille d'annexe (page 8) EST À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE.

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

Exercice 1 : Titrage avec une réaction lente (6,5 points)
Exercice 2 : Lampe à vapeur de sodium (5,5 points)
Exercice 3 : Le radon et ses effets néfastes (4 points)

EXERCICE 1 : Titrage avec une réaction lente (6,5 points)

On souhaite déterminer la concentration C_{com} en peroxyde d'hydrogène (ou eau oxygénée) contenue dans une solution commerciale.
Pour cela, on se propose d'étudier la réaction entre les ions iodure I^- et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 en milieu acide. Cette réaction est lente et totale.
Ces deux espèces chimiques appartiennent aux couples d'oxydoréduction $I_{2(aq)}$ / $I^-_{(aq)}$ et $H_2O_{2(aq)}$ / $H_2O_{(l)}$. Parmi ces espèces, seul le diiode est coloré (jaune) en solution aqueuse.
L'étude de la cinétique se fait par spectrophotométrie.

1. Étude de la réaction d'oxydoréduction et préparation de la solution

1.1. Écrire les demi-équations d'oxydoréduction des deux couples étudiés.

1.2. En déduire que la réaction entre ces deux couples a pour équation :

$$H_2O_{2(aq)} + 2I^-_{(aq)} + 2H^+_{(aq)} = 2H_2O_{(l)} + I_{2(aq)}$$

1.3. Comment évolue la coloration de la solution au cours du temps ?

1.4. Avant de faire réagir la solution commerciale d'eau oxygénée, on souhaite la diluer d'un facteur 10. Donner les principales étapes du protocole opératoire afin de préparer V_2 = 50 mL d'une solution d'eau oxygénée de concentration $C_2 = \frac{C_{com}}{10}$.

2. Étude d'une transformation par spectrophotométrie

2.1. On utilise le spectrophotomètre pour réaliser la mesure de l'absorbance d'une solution aqueuse de diiode de concentration $C_0 = 1{,}0.10^{-2}$ mol.L^{-1}. On mesure alors une absorbance A_0 = 0,60. Sachant que l'absorbance A est proportionnelle à la concentration en diiode, déterminer le coefficient de proportionnalité k.

2.2. A une date t = 0, on mélange dans un bécher une solution d'iodure de potassium de volume V_1 = 25 mL de concentration $C_1 = 5{,}0.10^{-2}$ mol.L^{-1} et acidifiée (les ions oxonium seront considérés en large excès) à une solution d'eau oxygénée de volume V_2 = 50 mL et de concentration inconnue C_2. On verse alors rapidement un faible volume (négligeable devant V_1 et V_2) de ce mélange réactionnel dans une cuve qu'on introduit dans le spectrophotomètre.

2.2.1. Compléter le tableau d'avancement donné en **annexe à rendre avec la copie**.

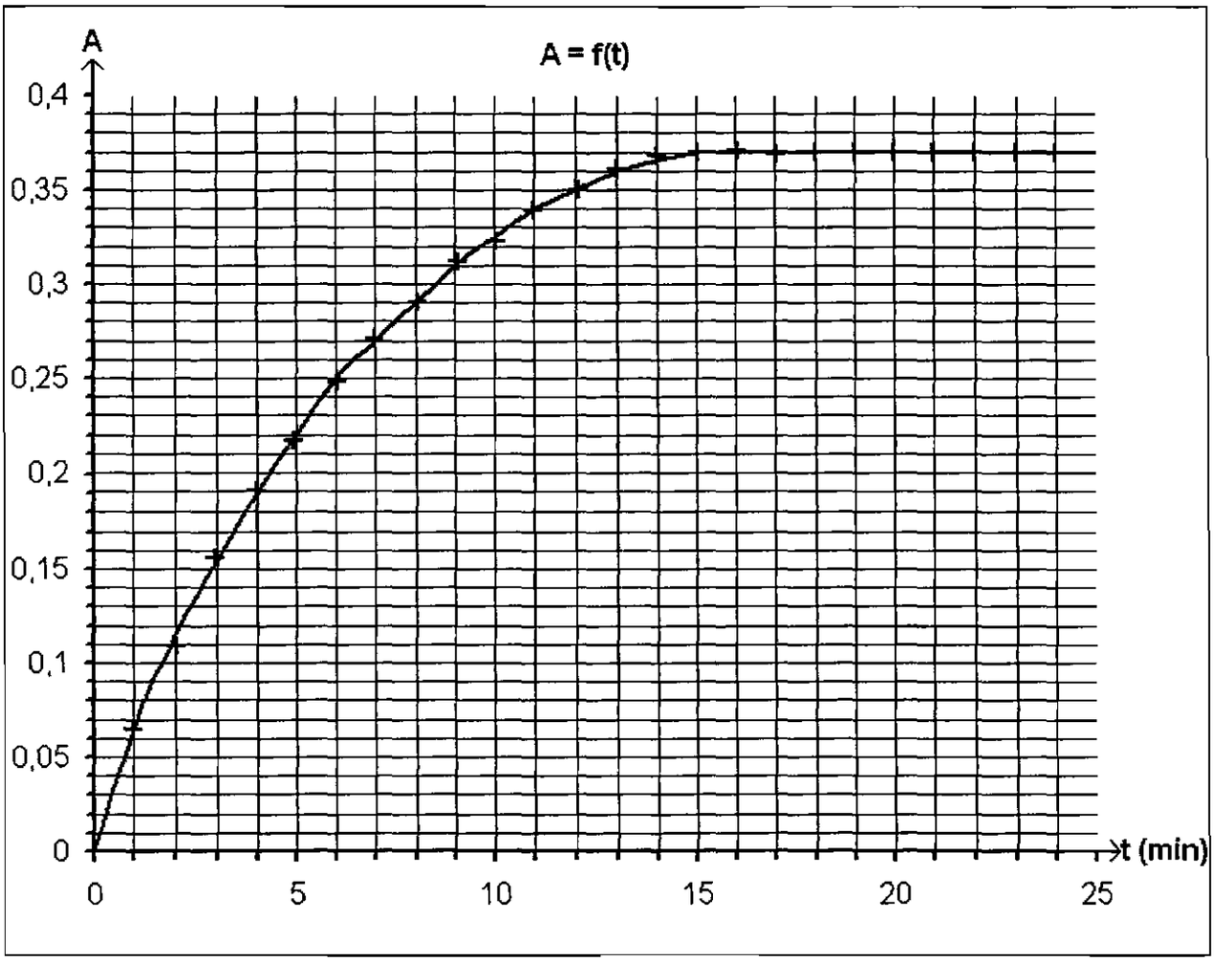
2.2.2. Quelle relation littérale existe-t-il entre l'avancement x et la concentration en diiode dans le mélange réactionnel ?

2.2.3. En déduire la relation littérale entre l'absorbance A et l'avancement x de la réaction étudiée.

2.2.4. En supposant que l'iodure de potassium est le réactif en défaut, quelle valeur numérique l'avancement devrait-il prendre lorsque le système chimique atteindra son état final ? En déduire la valeur finale de l'absorbance.

3. Exploitation de la courbe représentant l'absorbance au cours du temps

Le spectrophotomètre est relié à un ordinateur qui trace la courbe représentant l'absorbance au cours du temps, le résultat est le suivant :



3.1. Donner l'expression de la vitesse volumique de réaction v en fonction de V_1, V_2 et x. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme $v = \frac{1}{k} \cdot \frac{dA}{dt}$.

3.2. A partir de la courbe, dire comment évolue v au cours du temps. Interpréter cette évolution.

3.3. Expliquer pourquoi on peut considérer qu'au bout de 15 minutes, le système a atteint son état final.

3.4. Déterminer après l'avoir défini le temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

3.5. La valeur finale de l'absorbance est inférieure à la valeur trouvée à la question 2.2.4.

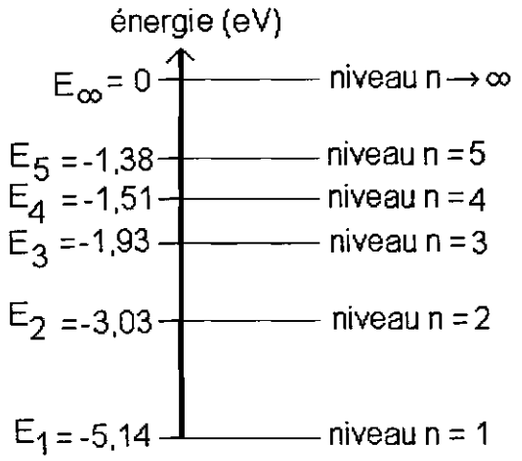
3.5.1. A partir de la valeur prise par l'absorbance dans l'état final, montrer que l'avancement maximal est $x_{max} = 4{,}6.10^{-4}$ mol.
L'hypothèse faite en 2.2.4. est-elle correcte ?

3.5.2. Déterminer la valeur de C_2, en déduire celle de C_{com}.

3.5.3. La réaction étudiée a-t-elle toutes les caractéristiques d'une réaction de titrage ? Conclure.

EXERCICE 2 : Lampe à vapeur de sodium (5,5 points)

Lors d'une séance de travaux pratiques, des élèves utilisent une lampe à vapeur de sodium. Celle-ci émet une lumière jaune-orangé. Afin de comprendre l'origine de cette couleur, ils consultent leur livre de physique dans lequel figure le diagramme énergétique simplifié de l'atome de sodium reproduit ci-dessous :



Le niveau n = 1 est celui de plus basse énergie.

Données :

- masse de l'électron : $m_e = 9,10.10^{-31}$ kg
- masse du proton : $m_p = 1,67.10^{-27}$ kg
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67.10^{-11}$ SI
- charge électrique élémentaire : $e = 1,60.10^{-19}$ C
- constante de Planck : $h = 6,63.10^{-34}$ J.s
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00.10^{8}$ m.s^{-1}.

1. Étude de l'atome de sodium

1.1. Donner la composition de l'atome de sodium $^{23}_{11}Na$.

1.2. Le diagramme énergétique simplifié de l'atome de sodium montre que l'énergie ne peut prendre que certaines valeurs. Comment qualifie-t-on alors l'énergie ? La mécanique de Newton permet-elle d'expliquer ces niveaux énergétiques ?

1.3. La couleur jaune-orangé correspond à une transition concernant les deux premiers niveaux (n = 1 et n = 2). Représenter cette transition par une flèche sur le diagramme énergétique donné en **annexe à rendre avec la copie** dans le cas d'une émission. Calculer la longueur d'onde λ de la radiation émise par la lampe.

1.4. Déterminer, d'après le diagramme, la plus courte longueur d'onde de la radiation que peut émettre l'atome de sodium. Préciser, en le justifiant, à quel domaine spectral appartient cette radiation.

2. Dispersion de la lumière émise

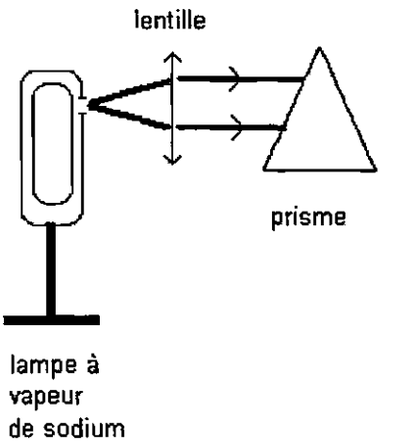
Afin d'étudier la radiation de couleur jaune-orangé, les élèves décident de l'isoler des autres radiations éventuellement émises par la lampe. Pour cela ils réalisent la dispersion de la lumière émise grâce à un prisme en verre.

2.1. Le verre est un milieu dispersif, expliquer ce terme.

2.2. La fréquence de la radiation jaune-orangé est-elle différente dans le verre et dans l'air ?

2.3. À cette fréquence, l'indice de réfraction du verre pour la radiation jaune-orangé est n = 1,52. Après avoir défini l'indice d'un milieu transparent, calculer la valeur de la longueur d'onde λ_{verre} de la radiation jaune-orangé dans le verre.

2.4. À la sortie du prisme, on sélectionne la radiation jaune-orangé de longueur d'onde λ. Comment qualifie-t-on une telle lumière ?



3. Diffraction de la lumière jaune-orangé

Les élèves décident d'utiliser le phénomène de diffraction pour vérifier la valeur de la longueur d'onde λ de la radiation jaune-orangé. Pour cela ils disposent une fente fine verticale sur le trajet de la lumière.

3.1. Les élèves ont à leur disposition trois fentes de largeur a différente. Quel doit être leur choix afin que le phénomène de diffraction soit le plus marqué possible ?

3.2. Le phénomène de diffraction existe-t-il dans d'autres domaines que celui de la lumière ? Si oui, donner un exemple avec un schéma explicatif.

3.3. Derrière la fente, à une distance D = 85 cm, les élèves disposent un écran perpendiculairement à la direction de propagation de la lumière. Dessiner l'allure de ce qu'on observe sur l'écran **sur l'annexe à rendre avec la copie**.

3.4. Dans la pratique, la figure de diffraction est peu lumineuse. La distance L, entre les deux extinctions de part et d'autre de la tache centrale, a néanmoins pu être mesurée à l'aide d'une lunette de visée. La valeur obtenue est L = 2,0 cm. Montrer que la longueur d'onde λ peut s'exprimer par $\lambda = \frac{aL}{2D}$. Faire l'application numérique sachant que la fente a une largeur a = 50 µm. Conclure.

EXERCICE 3 : Le radon et ses effets néfastes (4 points)

Voici un extrait d'un article du journal Ouest-France du 18 septembre 2006 à propos du radon 222 :

« Ce gaz radioactif, inodore et incolore, issu des entrailles de la Terre, est la deuxième cause d'apparition du cancer du poumon, après le tabac.

[...]

Qu'est ce que le radon ? C'est un gaz radioactif, sans odeur ni couleur, présent à l'état naturel. Il est issu de la désintégration de l'uranium 238. On peut le trouver partout à la surface de la Terre, principalement dans les régions granitiques. Quelques notions de chimie : l'uranium 238 se transforme en thorium , puis en radium et enfin en radon.

[...]

Comment mesure-t-on sa concentration ? On la calcule en Becquerel (Bq) par mètre cube d'air (unité de mesure de la radioactivité). Le seuil de précaution est de 400 Bq/m^3 et le seuil d'alerte de 1000 Bq/m^3.

[...]

Pourquoi est-il dangereux ? Radioactif, le radon laisse des traces parfois indélébiles dans l'organisme. Son inhalation augmente le risque de contracter un cancer.»

Données : Le tableau ci-dessous donne le nom, le symbole et le numéro atomique de quelques éléments.

Z	92	91	90	89	88	87	86	85
Symbole	U	Pa	Th	Ac	Ra	Fr	Rn	At
Nom	uranium	proactinium	thorium	actinium	radium	francium	radon	astate

Le radon dont il est question dans le texte est le radon 222.

1. De l'uranium 238 au radon 222

1.1. Écrire le symbole et donner la composition d'un noyau d'uranium 238.

1.2. L'uranium 238 présent dans le granit se désintègre naturellement. En vous aidant du texte et des données, écrire l'équation de désintégration. Montrer qu'il s'agit d'une radioactivité α.

1.3. Le thorium 234 est radioactif β^-.

1.3.1. Écrire l'équation de cette désintégration.

1.3.2. Le noyau fils créé est lui-même émetteur β^- formant ainsi de l'uranium 234. Montrer qu'une série de désintégrations α de l'uranium 234 conduit bien au radon 222.

1.3.3. Commenter alors la phrase « *Quelques notions de chimie : l'uranium 238 se transforme en thorium, puis en radium et enfin en radon* ».

2. Mesure de l'activité due au radon 222

Pour mesurer la concentration en radon dans une pièce, on prélève 120 mL d'air qu'on place dans une fiole où l'on a préalablement réalisé un vide partiel. La fiole est ensuite placée dans un détecteur qui compte le nombre total n_d de désintégrations α qu'on attribuera au seul radon 222. La durée de chaque comptage est $\Delta t = 500$ s.

2.1. La première mesure donne un nombre de désintégrations $n_{d0} = 68$ désintégrations pendant Δt. On recommence aussitôt une autre mesure, le résultat est $n_{d1} = 78$ désintégrations. Quel caractère de la désintégration radioactive est responsable de cet écart ?

2.2. On poursuit les mesures sur plusieurs jours, toujours avec la même durée de comptage, les résultats sont les suivants :

n_d	73	59	51	41	36	30	23	20	16	14
Date (en jours)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tracer sur papier millimétrique **à rendre avec la copie**, la courbe donnant $n_d = f(t)$. On choisira comme échelles : 1 cm $\leftrightarrow$ 0,5 jour et 1 cm $\leftrightarrow$ 5 désintégrations

2.3. Déterminer à l'aide du graphique la demi-vie $t_{1/2}$ du radon 222.

2.4. La durée de comptage Δt est-elle adaptée à l'étude du radon 222 ?

2.5. Déterminer l'activité de l'échantillon à la date t = 0, c'est à dire lors du prélèvement.

2.6. La concentration en radon 222 dans la pièce où l'on a effectué le prélèvement est-elle dangereuse ?

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

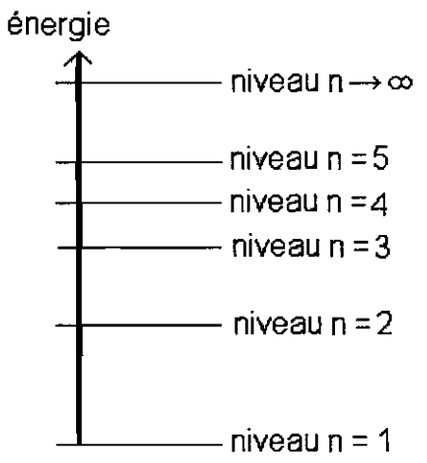
EXERCICE 1

2.2.1.

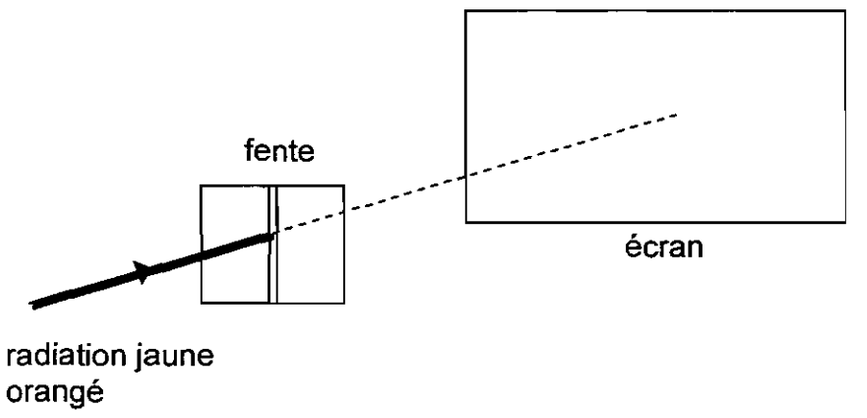
Équation chimique		$H_2O_{2(aq)}$ +	$2I^-_{(aq)}$ +	$2H^+_{(aq)}$ =	$2H_2O_{(l)}$ +	$I_{2(aq)}$
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)				
État initial	0					
État en cours de transformation	x					
État final	x_{max}					

EXERCICE 2

1.3.



3.3.



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** . – COEFFICIENT : **6**

L'usage des calculatrices EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique.

OBLIGATOIRE

Ce sujet comporte un exercice de PHYSIQUE, un exercice de CHIMIE et un exercice de PHYSIQUE et CHIMIE présentés sur 9 pages numérotées de 1 à 9, y compris celle-ci.
Les feuilles annexes (pages 7, 8 et 9) **SONT À RENDRE AVEC LA COPIE.**

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

I. Étude de satellites d'observation (5 points)
II. Cinétique chimique et lumière (7 points)
III. Transformations spontanées ou forcées (4 points)

EXERCICE I . ÉTUDE DE SATELLITES D'OBSERVATION (5 points)

Les satellites d'observation sont des objets spatiaux en orbite circulaire autour de la Terre. Leur mission principale est d'effectuer des observations de l'atmosphère, des océans, des surfaces émergées et des glaces, et de transmettre à une station terrestre les données ainsi obtenues.

1. ENVISAT : un satellite circumpolaire.

C'était le plus gros satellite européen d'observation lors de son lancement le 1er mars 2002. Ses capteurs peuvent recueillir des données à l'intérieur d'une bande de largeur au sol de 3000 km permettant une observation biquotidienne de l'ensemble de la planète.

Données : *Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ USI*

ENVISAT : masse : $m = 8200$ kg
altitude moyenne : $h = 800$ km
orbite contenue dans un plan passant par les pôles

TERRE : masse : $M = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg
rayon : $R = 6{,}38 \times 10^{3}$ km
période de rotation propre : 1436 minutes

On rappelle l'expression de la valeur de la force d'interaction gravitationnelle entre deux corps de masse m_A et m_B, de centres A et B, de répartition de masse à symétrie sphérique, distants de d = AB :

$$F = G\,\frac{m_A m_B}{d^2}$$

1.1.1. Représenter sur la **figure 1 de l'*ANNEXE, PAGE 7, À RENDRE AVEC LA COPIE*** la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre (sa répartition de masse étant supposée à symétrie sphérique) sur le satellite supposé ponctuel et noté S. Donner l'expression vectorielle de cette force en représentant le vecteur unitaire choisi sur la figure 1.

1.1.2. Calculer la valeur de cette force.

1.2. En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération du satellite dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de *M*, *h* et *R*.

1.3. **Sur la figure 2 de l'*ANNEXE, PAGE 7, À RENDRE AVEC LA COPIE***, représenter, sans souci d'échelle, le vecteur accélération à trois dates différentes correspondant aux positions A, B et C du satellite.

1.4. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, dont on admettra sans démonstration qu'il est uniforme, la vitesse du satellite a pour expression : $v = \sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}$.

1.5. Calculer la vitesse du satellite en $km.s^{-1}$.

1.6. Donner l'expression de la période de révolution du satellite en fonction de sa vitesse et des caractéristiques de la trajectoire *R* et *h*. Puis calculer sa valeur.

2. METEOSAT 8 : un satellite géostationnaire.

Ce satellite a été lancé par ARIANE 5 le 28 août 2002. Il est opérationnel depuis le 28 janvier 2004.
La position d'un satellite géostationnaire parait fixe aux yeux d'un observateur terrestre. Situé à une altitude H voisine de 36000 km, il fournit de façon continue des informations couvrant une zone circulaire représentant environ 42 % de la surface de la Terre.

2.1. Donner les trois conditions à remplir par METEOSAT 8 pour qu'il soit géostationnaire.

2 .2. *Troisième loi de Képler dans le cas général d'une trajectoire elliptique :*

Pour tous les satellites, le rapport entre le carré de la période de révolution T et le cube du demi-grand axe r de sa trajectoire est le même : $\frac{T^2}{r^3}$ = *constante = K.*

Dans le cas d'une trajectoire circulaire r correspond au rayon de la trajectoire.
En utilisant les réponses aux questions 1.4 et 1.6, établir l'expression de la constante *K* en fonction de *G* et *M* pour les satellites étudiés. Calculer *K* dans le système international d'unités.

2.3. En déduire, pour METEOSAT 8, la valeur de *R+H*, puis celle de *H*.

2.4. *La mise en place du satellite sur l'orbite géostationnaire s'effectue en plusieurs étapes.*
Tout d'abord, ARIANE 5 amène le satellite hors de l'atmosphère et le largue sur une orbite de transfert. L'orbite de transfert parcourue par le satellite est une ellipse (voir figure 3 ***de L'ANNEXE, PAGE 7, À RENDRE AVEC LA COPIE****) dont le périgée* ***P*** *se situe à une altitude voisine de 200 km et l'apogée* ***A*** *à l'altitude de l'orbite géostationnaire voisine de 36000 km.*
Ensuite le « moteur d'apogée » du satellite lui permettra d'obtenir la vitesse nécessaire à sa mise sur orbite géostationnaire lors des passages successifs par l'apogée.

2.4.1. À l'aide des données ci-dessus, calculer la longueur *r* du demi-grand axe de la trajectoire sur cette orbite de transfert.
2.4.2. À l'aide de la troisième loi de Képler, en déduire la période *T* du satellite sur cette orbite de transfert.

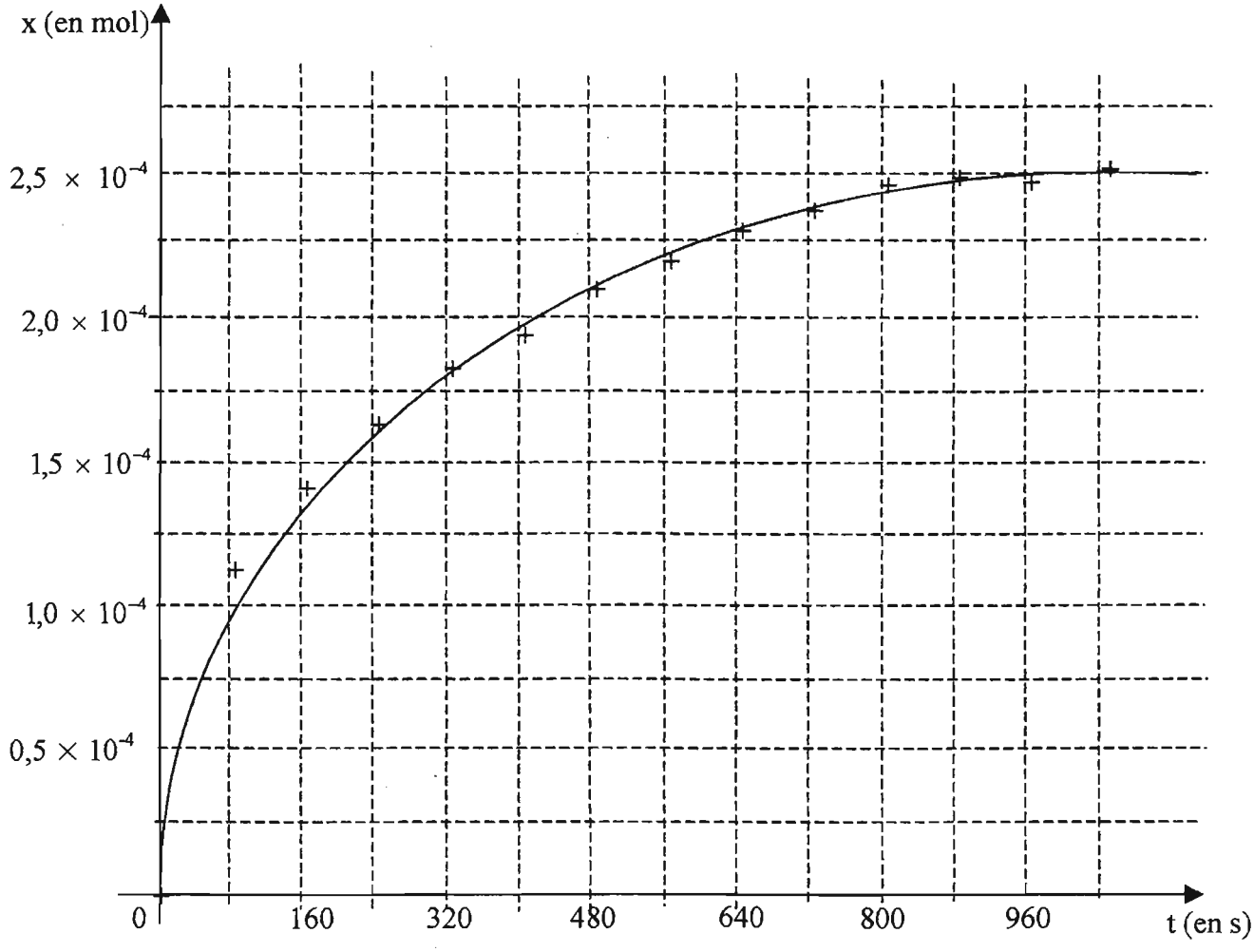
EXERCICE II . Cinétique chimique et lumière (7 points)

1. Étude spectrophotométrique d'une réaction chimique.

On se propose d'étudier la cinétique de la réaction entre l'eau oxygénée H_2O_2 et les ions iodure I^- en milieu acide.
Les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont : H_2O_2 (aq) / H_2O (aq) et I_2 (aq) / I^-(aq).
L'équation de la réaction est : $H_2O_2(aq) + 2\,I^-(aq) + 2\,H^+(aq) = 2\,H_2O(\ell) + I_2(aq)$.
Parmi les espèces chimiques présentes dans le système, seul le diiode I_2 est coloré.

1.1. Expliquer pourquoi on peut utiliser un spectrophotomètre pour suivre l'évolution de la transformation.
1.2. Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système fourni en figure 1 de ***L'ANNEXE, PAGE 8, À RENDRE AVEC LA COPIE***.

Les mesures effectuées avec le spectrophotomètre, réglé à la longueur d'onde λ = 580 nm, permettent de tracer la courbe représentant l'évolution de l'avancement x de la réaction en fonction du temps : x = f (t).



1.3. Déduire de la courbe la valeur de l'avancement final.
1.4. Déterminer l'avancement maximal, puis le taux d'avancement final. La transformation peut-elle être considérée comme totale ?
1.5. Définir de manière générale le temps de demi-réaction.
1.6. Déterminer graphiquement la valeur numérique du temps de demi-réaction.
1.7. *La vitesse volumique de réaction est définie par la relation :* $v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$.

Comment évolue la vitesse de réaction en fonction du temps ? Justifier en utilisant la courbe $x = f(t)$.

2. Étude de la lumière utilisée dans le spectrophotomètre.

La connaissance des réseaux n'est pas requise pour la suite du problème.
La célérité de la lumière dans le vide est : $c = 3{,}0 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$.
La constante de Planck vaut $h = 6{,}62 \times 10^{-34}\ J.s$.

2.1.1. *Lorsqu'une radiation monochromatique traverse une fente, l'écart angulaire θ du faisceau diffracté qu'il présente avec la direction moyenne de propagation est donné par :* $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$.

Que représente λ ? Que représente a ? Quelles sont les unités, dans le système international, de θ, λ, et a ?

2.1.2. *Le spectrophotomètre utilise une source de lumière blanche. Cette lumière est envoyée sur un réseau : ensemble de fentes très fines parallèles entre elles et équidistantes qui diffractent la lumière.*
Quelle condition sur la largeur d'une fente est nécessaire pour que le phénomène de diffraction soit nettement observable ?

3. Émission ou absorption d'une radiation par un atome.

Une fenêtre étroite qui peut se déplacer dans le spectre permet de sélectionner une radiation quasi monochromatique de longueur d'onde 580 nm. Celle-ci est choisie pour que l'absorption de la lumière par la solution colorée soit maximale afin que les mesures soient les plus précises possibles.
Une radiation de longueur d'onde donnée peut être émise par un atome dont l'énergie diminue.

3.1. Quelle est la relation entre la fréquence ν de la radiation et sa longueur d'onde dans le vide ?
3.2. La radiation utilisée dans le spectrophotomètre ayant pour longueur d'onde dans le vide 580 nm, calculer sa fréquence.
3.3. *La relation exprimant l'énergie perdue par l'atome est* $\Delta E = h.\nu$.
Préciser la signification de chaque terme et leur unité dans le système international.
3.4. Calculer l'énergie perdue par un atome qui émet la radiation de longueur d'onde dans le vide 580 nm.
Exprimer cette énergie en électron-volt.
Donnée : $1\ eV = 1{,}6 \times 10^{-19} J$.
3.5. *Le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome considéré est donné en figure 2 de* ***L'ANNEXE, PAGE 8, À RENDRE AVEC LA COPIE.***

3.5.1. *L'atome dans son état fondamental reçoit une radiation dont le quantum d'énergie est 2,1 eV.* Cette radiation peut-elle interagir avec l'atome ? Justifier.
3.5.2. Représenter, sur le diagramme donné en figure 2 de ***L'ANNEXE, PAGE 8, À RENDRE AVEC LA COPIE***, la transition associée par une flèche.
3.5.3. Cette transition correspond-elle à une émission ou à une absorption ?
3.5.4. Que se passe-t-il pour l'atome si, dans son état fondamental, il reçoit une radiation dont le quantum d'énergie est de 3,0 eV ? Justifier.

EXERCICE III : Transformations spontanées ou forcées ? (4 points)

Données *: masse molaire atomique du cuivre : $M(Cu) = 63,5\ g.mol^{-1}$; faraday : 1 faraday = 96500 $C.mol^{-1}$; charge électrique élémentaire : $e = 1,602\times10^{-19}$ C ; constante d'Avogadro : $N_A = 6,02\times10^{23}\ mol^{-1}$.*
On considérera que $8,3 \times 10^{-26} \simeq 0$.

1. Réaction entre le cuivre métal et le dibrome en solution aqueuse.

Dans un becher, on verse 100 mL de solution aqueuse jaune de dibrome ($Br_2(aq)$) telle que $[Br_2] = 1,0\times10^{-2}\ mol.L^{-1}$ et on y ajoute, sans variation de volume, de la poudre de cuivre en excès. On place sous agitation. Après filtration, on observe la disparition de la coloration jaune et on obtient un filtrat de couleur bleue.
L'équation de l'équation associée à la transformation est : $Cu(s) + Br_2(aq) = Cu^{2+}(aq) + 2\ Br^-(aq)$. La constante d'équilibre associée à cette réaction est $K_1 = 1,2 \times 10^{25}$.

1.1. Donner l'expression du quotient de réaction initial . Calculer sa valeur.
1.2. Dans quel sens le système va-t-il évoluer ? Justifier la réponse.
1.3. La transformation est-elle forcée ou spontanée ?

2. La solution aqueuse de bromure de cuivre (II).

Dans un becher, on verse 100 mL d'une solution aqueuse de bromure de cuivre (II). Les concentrations des ions en solution sont : $[Cu^{2+}_{(aq)}] = 0,50\ mol.L^{-1}$ et $[Br^-_{(aq)}] = 1,0\ mol.L^{-1}$.
Au sein de cette solution, on pourrait envisager une réaction entre les ions $Cu^{2+}(aq)$ et $Br^-(aq)$. L'équation de cette réaction serait : $Cu^{2+}(aq) + 2\ Br^-(aq) = Cu(s) + Br_2(aq)$. La constante d'équilibre associée à cette réaction est $K_2 = 8,3 \times 10^{-26}$.

2.1. Calculer la valeur du quotient de réaction initial.
2.2. Quelle sera la valeur de ce quotient à l'équilibre ?
2.3. Justifier l'affirmation "la solution aqueuse de bromure de cuivre (II) est stable".

3. Électrolyse de la solution aqueuse de bromure de cuivre (II).
Pour conduire cette électrolyse, on réalise le montage représenté sur ***L'ANNEXE, PAGE 9, À RENDRE AVEC LA COPIE.***

3.1. Étude qualitative.
Sur le schéma du montage représenté sur ***L'ANNEXE, PAGE 9, À RENDRE AVEC LA COPIE***, est indiqué le sens conventionnel du courant électrique imposé par le générateur.

3.1.1. Identifier l'anode et la cathode sur ***L'ANNEXE, PAGE 9, À RENDRE AVEC LA COPIE***.
3.1.2. Écrire la demi équation de la réaction qui a lieu à l'anode.
3.1.3. Écrire la demi équation de la réaction qui a lieu à la cathode.
3.1.4. Écrire l'équation de la réaction d'électrolyse.
3.1.5. La transformation associée à la réaction d'électrolyse est-elle spontanée ou forcée ? Aucune justification n'est demandée.

3.2. Étude quantitative.
L'électrolyse est effectuée pendant 1 heure avec un intensité constante I = 1,00 A.
Calculer :
3.2.1. La quantité d'électricité Q qui a traversé la solution de bromure de cuivre (II).
3.2.2. La quantité de matière (en mol) d'électrons qui a été mise en jeu.
3.2.3. La quantité de matière (en mol) de cuivre qui s'est formée. On pourra s'aider d'un tableau d'évolution du système.
3.2.4. La masse de cuivre obtenue.

ANNEXE DE L'EXERCICE I

À RENDRE AVEC LA COPIE

figure 1 :

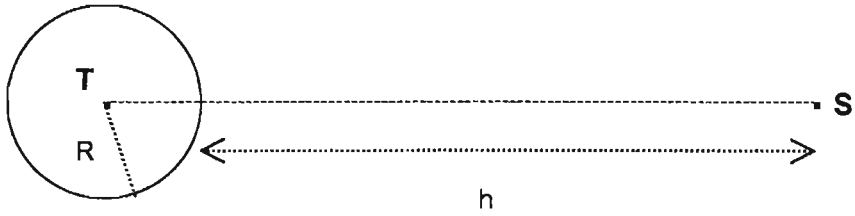


figure 2 :

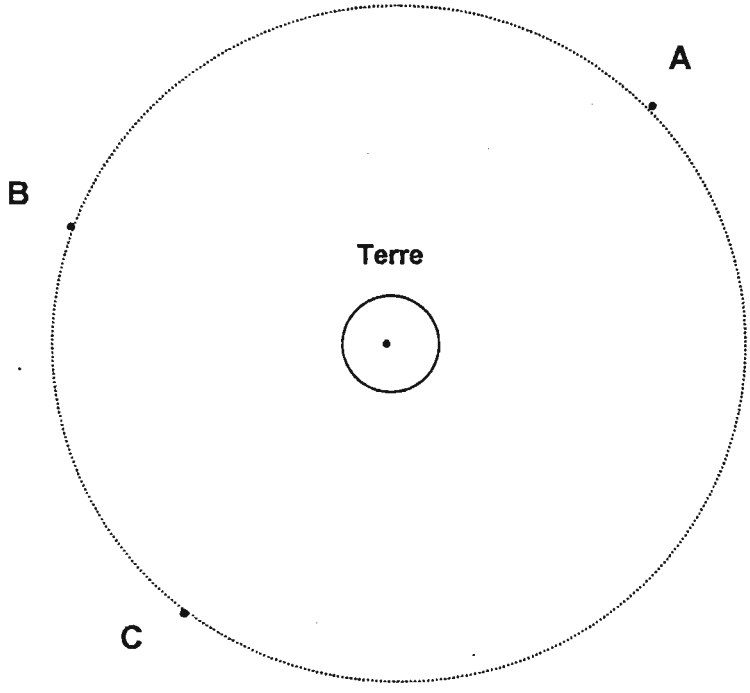
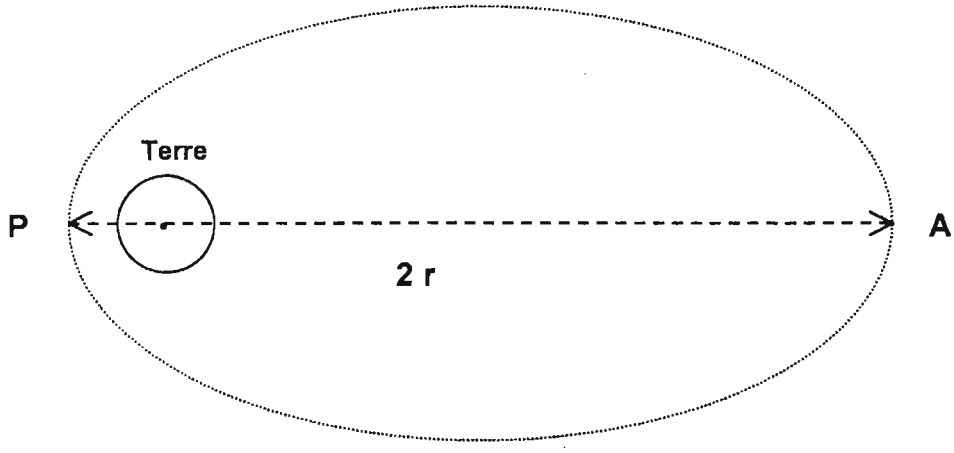


figure 3 :



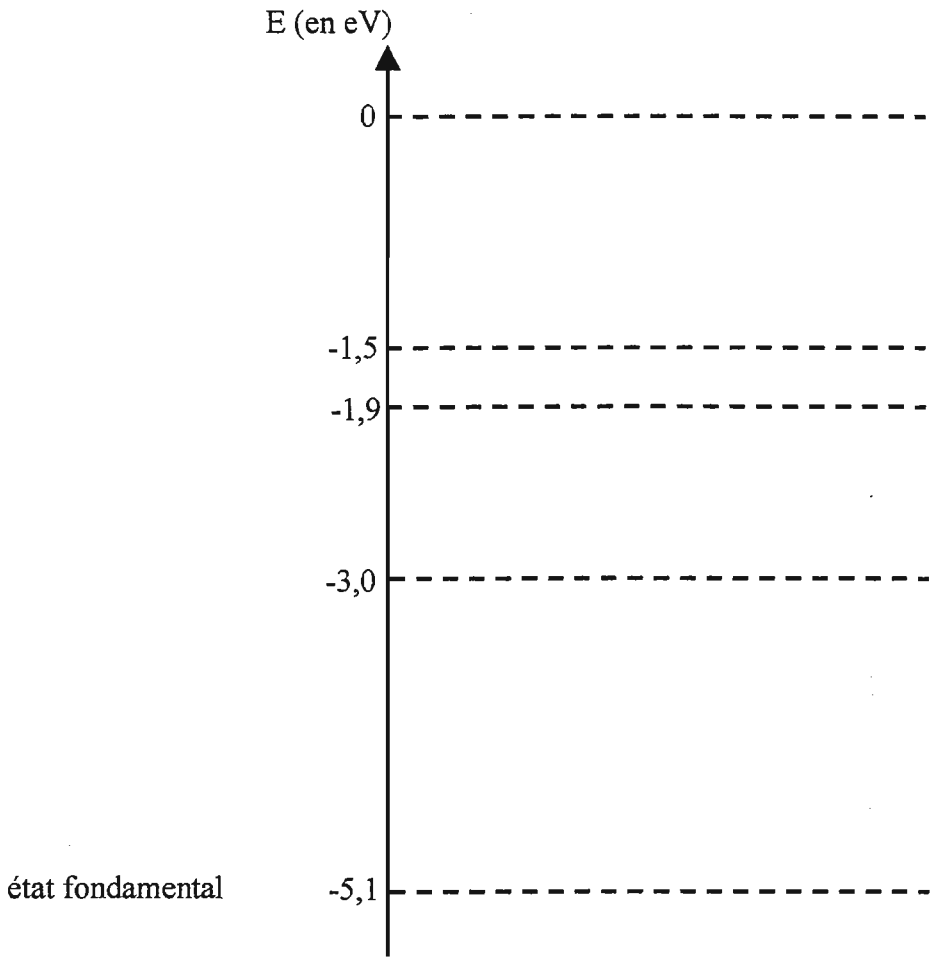
ANNEXE DE L'EXERCICE II

À RENDRE AVEC LA COPIE

FIGURE 1

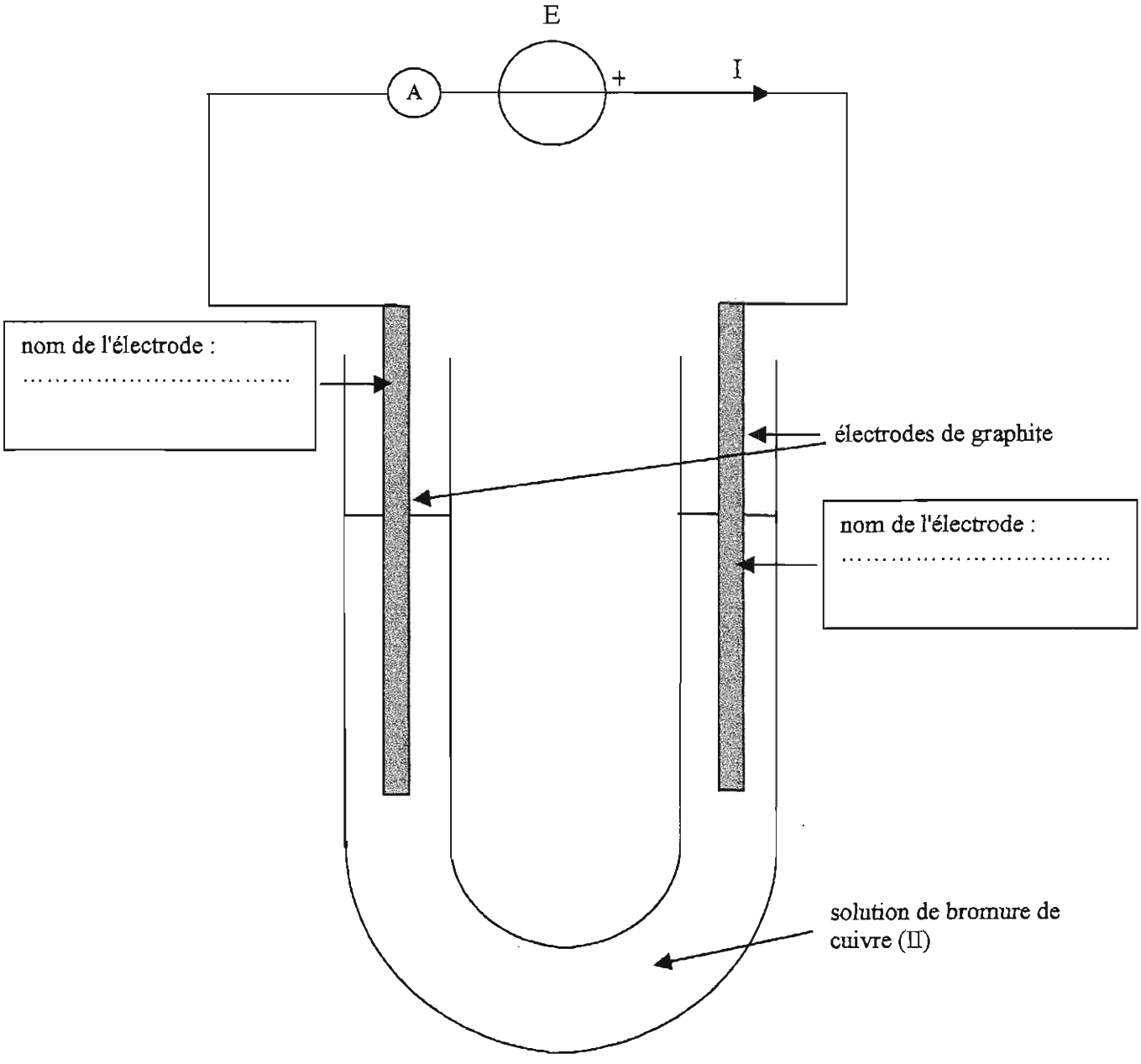
Équation de la réaction		$H_2O_2(aq)$ +	$2\,I^-(aq)$ +	$2H^+(aq)$ =	$2H_2O(\ell)$ +	$I_2(aq)$
État du système	Avancement en mol	Quantité de matière en mol				
État initial	0	$2{,}5 \times 10^{-4}$	$1{,}5 \times 10^{-3}$	excès	excès	0
État final	x_f			excès	excès	

FIGURE 2



ANNEXE DE L'EXERCICE III

À RENDRE AVEC LA COPIE



EXERCICE I. CHIMIE ET MOUVEMENT POUR UN PROJET SCIENTIFIQUE (5,5 points)

Dans le cadre d'un atelier scientifique ayant pour thème « Espace et mouvement », trois élèves s'interrogent sur les expériences qu'ils vont effectuer pour étudier des mouvements rectilignes :

Élodie : – Nous devrions étudier un mouvement ascendant et un mouvement descendant.
Arthur : – J'ai une idée. Pour étudier le mouvement ascendant nous pourrions filmer le mouvement dans l'eau de bulles de gaz.
Charlotte : – Et si par exemple nous filmions le mouvement ascendant de bulles de dihydrogène produites par réaction de l'acide chlorhydrique avec le magnésium ?
Arthur : – Et ensuite, pour comparer, nous pourrions filmer le mouvement d'une bille métallique lâchée dans l'air.

À l'aide d'une caméra reliée à un ordinateur, les élèves filment la transformation chimique entre l'acide chlorhydrique et le magnésium produisant du dihydrogène. Le schéma de l'expérience est reproduit ci-dessous (figure 1).

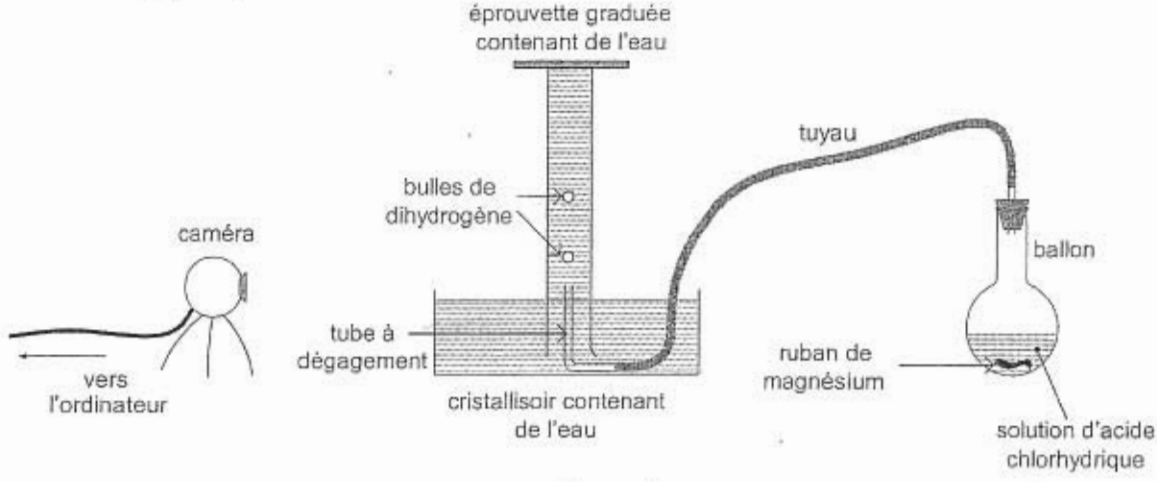


Figure 1

Les parties 1. , 2. et 3. sont indépendantes.

1. Étude de la transformation chimique

À l'instant de date t = 0 s, le ruban de magnésium est mis en contact avec la solution d'acide chlorhydrique.
Les données nécessaires à la résolution de cette partie sont rassemblées dans le tableau suivant :

Solution d'acide chlorhydrique	*Magnésium*
Concentration : 0,50 mol.L^{-1} *Volume : 40 mL*	*Masse du ruban : 0,12 g* *Masse molaire : 24 g.mol^{-1}*
Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience : V_m = 24 L.mol^{-1}	

L'équation de la réaction associée à la transformation chimique qui a lieu dans le ballon s'écrit :

$$Mg\,(s) + 2\,H^+(aq) = Mg^{2+}(aq) + H_2\,(g)$$

1.1. Identifier les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans cette équation.

1.2. À partir des quantités de matière de réactifs introduites à l'instant de date t = 0 s, montrer que l'avancement maximal est $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol (on pourra s'aider d'un tableau descriptif de l'évolution du système chimique).

1.3. *La figure 2 de l'**ANNEXE PAGE 13**, représente la variation de la valeur du volume de dihydrogène dégagé au cours du temps.*
Déterminer graphiquement la valeur du volume de dihydrogène à l'état final et en déduire l'avancement final x_f de la réaction.

1.4. La transformation est-elle totale ? Justifier.

1.5. Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction $t_{1/2}$. La méthode doit apparaître sur la figure 2 de l'**ANNEXE PAGE 13.**

1.6. *Afin de mieux suivre le mouvement ascendant des bulles de dihydrogène dans l'éprouvette graduée, on souhaite augmenter le temps de demi-réaction $t_{1/2}$.* Proposer une méthode pour arriver à ce résultat.

2. Étude du mouvement ascendant d'une bulle de dihydrogène

Après avoir purgé le dispositif pour chasser l'air, on surmonte le tube à dégagement d'une éprouvette graduée contenant de l'eau. Le film vidéo obtenu à la fin de l'expérience représentée figure 1 page 2 est analysé à l'aide d'un logiciel de pointage.
On choisit une nouvelle origine des dates à l'aide du logiciel.
On peut donc suivre, image par image, la position du centre d'inertie G_i à l'instant de date t_i, d'une bulle de dihydrogène au cours de son ascension dans l'éprouvette graduée.
Le mouvement de la bulle s'effectue selon la direction verticale d'axe Oz, orienté vers le haut.
On néglige les variations de pression dans l'éprouvette. Le dihydrogène est pratiquement insoluble dans l'eau : on peut donc considérer le volume d'une bulle comme constant.

Données et notations :

- *bulle de dihydrogène*
  - *volume d'une bulle : V_b*
  - *masse volumique du dihydrogène dans les conditions de l'expérience : $\rho = 0{,}083\ kg.m^{-3}$*
- *masse volumique de l'eau dans les conditions de l'expérience : $\rho_0 = 1{,}0 \times 10^3\ kg.m^{-3}$*
- *intensité de la pesanteur : g*

2.1. Évolution de la vitesse au cours du temps

Les mesures successives de la coordonnée z(t) sont exploitées à l'aide d'un tableur-grapheur.
On obtient la courbe de la figure 3 ci-dessous représentant l'évolution de la valeur de la vitesse v en fonction du temps. R1 et R2 désignent les deux régimes successifs observés lors du mouvement.

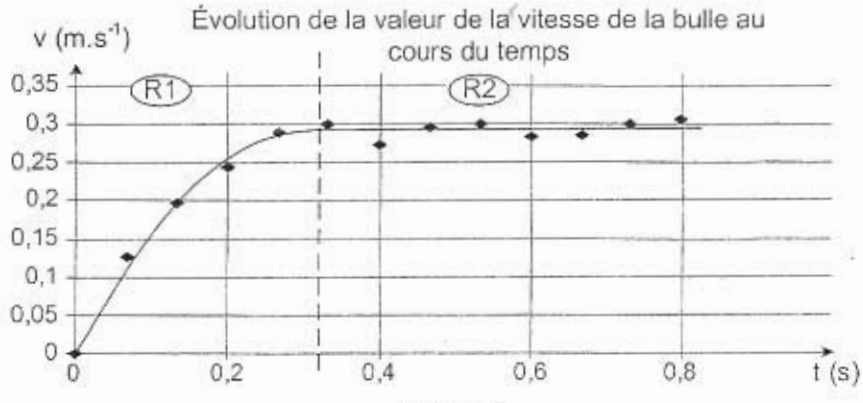


Figure 3

2.1.1. Quel nom donne-t-on au régime R2 ?
2.1.2. Déterminer graphiquement la valeur v_{lim} de la vitesse limite.

2.2. Bilan des forces

2.2.1. Donner l'expression de la valeur π de la poussée d'Archimède, due à l'immersion de la bulle dans l'eau, en utilisant les notations des données.

2.2.2. *P désigne la valeur du poids de la bulle.*

Déduire du rapport $\frac{P}{\pi}$, exprimé en fonction de ρ et de ρ_0, que l'on peut négliger le poids de la bulle devant la poussée d'Archimède.

Lors du mouvement de la bulle de dihydrogène, on ne considère donc que deux forces :

- *la poussée d'Archimède notée* $\vec{\pi}$
- *une force de frottement fluide, notée* $\vec{f}$ *, de même direction et de sens opposé au vecteur vitesse* $\vec{v}$ *et dont la valeur augmente avec la vitesse.*

2.2.3. Parmi les trois représentations suivantes (figure 4) des forces exercées sur la bulle pendant le régime R1, choisir celle qui est correcte. Justifier.

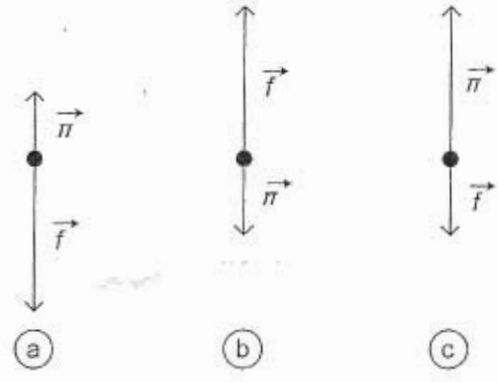


Figure 4

2.2.4. Que peut-on dire de ces forces lorsque le régime R2 est atteint ? Justifier.

3. Étude du mouvement vertical d'une bille d'acier dans l'air

Les élèves étudient le mouvement vertical du centre d'inertie G d'une bille d'acier de masse m dans l'air. Les frottements ainsi que la poussée d'Archimède peuvent être négligés lors de ce mouvement.

Le repère d'étude choisi est l'axe Oy vertical descendant.

À l'instant de date t = 0 s, le vecteur vitesse initiale $\vec{v_0}$ *est tel que* $\vec{v_0} = v_{0y}\,\vec{j}$,

v_{0y} étant une valeur algébrique.

3.1. Quel nom donne-t-on à ce type de mouvement ?

3.2. En appliquant la deuxième loi de Newton à la bille, établir l'expression de la coordonnée $v_y(t)$ du vecteur vitesse du centre d'inertie de la bille.

3.3. Parmi les courbes (figure 5) pouvant représenter $v_y(t)$, choisir celle qui correspond à chacune des conditions initiales proposées ci-dessous. Justifier.

Conditions initiales : a) La bille est lâchée sans vitesse initiale
b) La bille est lancée verticalement vers le haut
c) La bille est lancée verticalement vers le bas

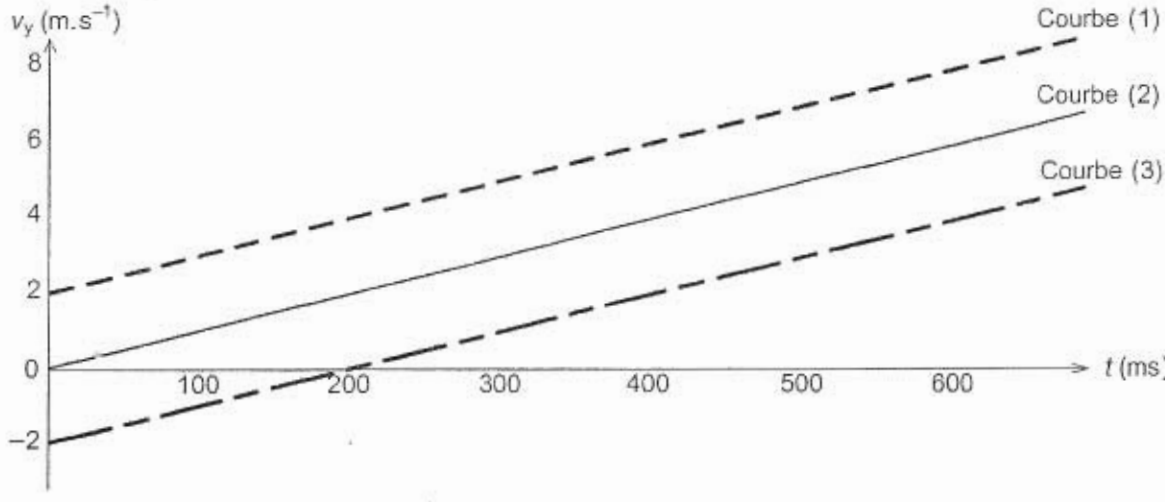


Figure 5

4. La présentation orale du projet scientifique

Lors de la présentation orale, l'un des spectateurs pose la question suivante :
« Vous avez étudié la chute d'une bille. Pourriez-vous décrire la chute de deux objets, l'un étant beaucoup plus lourd que l'autre, dans un tube dans lequel on a préalablement fait le vide ? ».
Arthur : – l'objet lourd tombera plus vite que l'objet léger.

Que pensez-vous de la réponse d'Arthur ?

EXERCICE II. RADIOACTIVITÉ TELLURIQUE (6,5 points)

Les parties 1, 2 et 3 de cet exercice sont indépendantes.

1. Le compteur Geiger Müller

Le tube compteur Geiger Müller, mis au point en 1928, est aujourd'hui encore un appareil indispensable pour la mise en évidence d'un rayonnement radioactif.

Il est constitué d'un tube cylindrique rempli d'argon sous faible pression, dans lequel un fil conducteur est tendu le long de son axe (le schéma est représenté sur la figure 6a).

Une tension U de quelques centaines de volts est appliquée en permanence entre la paroi cylindrique du tube, qui sert de cathode, et le fil, qui joue le rôle de l'anode via un conducteur ohmique de résistance R.

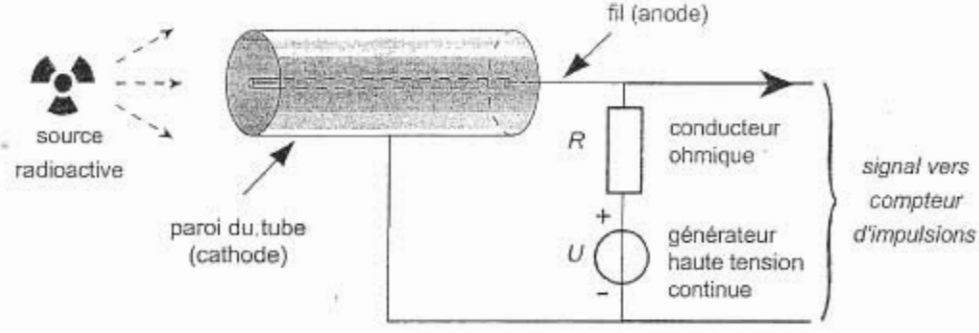


Figure 6a

1.1. Circuit RC

Le tube constitué de la paroi extérieure et du fil central, rempli d'argon, soumis à la tension U = 500 V, forme un condensateur de forme cylindrique, de faible capacité $C = 1{,}0\times10^{-11}$ F. L'association du tube et du conducteur ohmique constitue donc un circuit RC série schématisé sur la figure 6b ci-dessous. Par souci de simplification, le tube est modélisé par un condensateur plan.

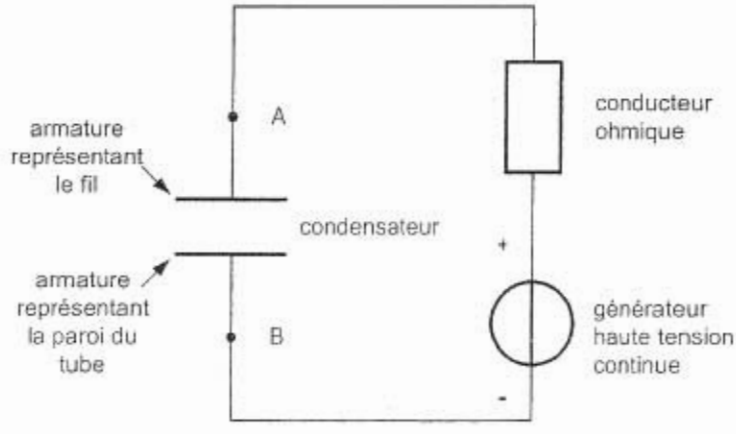


Figure 6b

1.1.1. Sur le schéma électrique du circuit reproduit en ***ANNEXE PAGE 13***, représenter la flèche tension u_c aux bornes du condensateur en respectant la convention récepteur, q désignant la charge du condensateur.

1.1.2. Rappeler l'expression de l'intensité i du courant électrique en fonction de la charge q. En déduire la valeur de l'intensité I du courant, une fois que le condensateur a atteint sa charge maximale Q. Justifier.

1.1.3. Calculer la valeur de la charge Q du condensateur dans ces conditions.

1.1.4. En raisonnant sur le schéma simplifié de ***l'ANNEXE PAGE 13***, indiquer par des signes (+) et (–), la répartition des charges sur les armatures du condensateur lorsqu'il est chargé.

1.2. Impulsion de décharge

Dans le tube, une particule émise par désintégration radioactive ionise des atomes d'argon sur sa trajectoire. Chaque atome ionisé donne naissance à deux particules : un ion argon et un électron. Les ions positifs dérivent vers la paroi du tube. Les électrons sont accélérés vers le fil et provoquent par collisions successives d'autres ionisations. Il en résulte alors une brève diminution de tension entre les électrodes du tube, appelée « impulsion de décharge ». Un compteur enregistre le nombre d'impulsions relevées pendant une durée de comptage donnée.

1.2.1. *La durée moyenne d'une impulsion de décharge consécutive à la détection d'une particule est Δt = 0,10 ms. Pour un bon fonctionnement du compteur Geiger Müller, la valeur de la constante de temps τ du circuit RC vérifie la condition : $\tau = 2\Delta t$.*

Calculer la valeur de la résistance *R*.

1.2.2. Montrer que la charge de l'anode diminue pendant la traversée de la particule.

1.2.3. Expliquer l'affirmation du texte : « *Il en résulte alors une brève diminution de tension entre les électrodes du tube* ».

1.2.4. *Pour modéliser le phénomène, on considère que le passage de la particule dans le tube engendre N électrons et N ions argon.*

Montrer que la diminution de tension entre les bornes du condensateur est :

$$\Delta u_c = -\frac{N.e}{C} \qquad \text{avec } e \text{ : charge élémentaire.}$$

2. Le Radon « pollueur » des sous-sols

Les roches de l'écorce terrestre renferment de l'uranium 238 radioactif. Après plusieurs désintégrations successives, il se forme du radon 222, principal responsable de la radioactivité dite tellurique. Ce radon s'échappe, à l'état gazeux, des roches et s'infiltre dans les fissures des fondations des bâtiments et s'accumule dans les locaux non ventilés.

2.1. Famille de l'uranium 238

Les descendants du radon 222 appartiennent à la famille décrite dans la figure 7 ci-dessous : chaque flèche pleine désigne une désintégration, les flèches en pointillés représentent une succession de désintégrations.

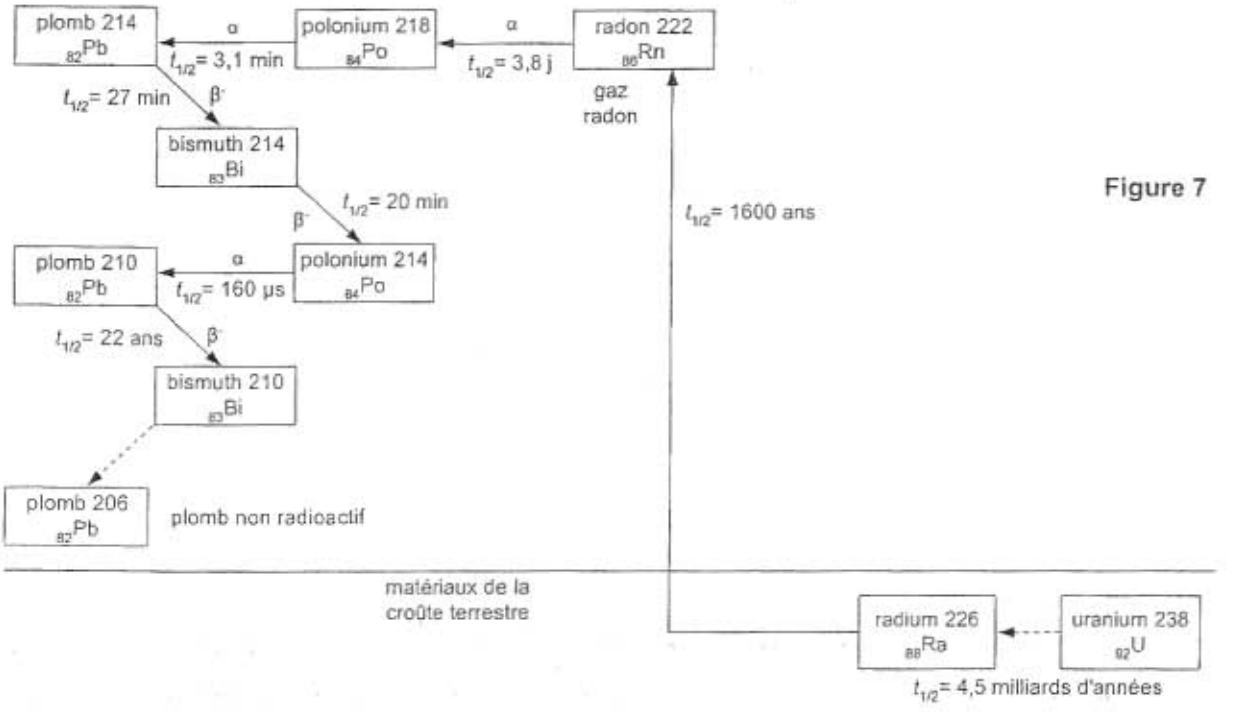


Figure 7

2.1.1. Indiquer la composition du noyau de radon 222.

2.1.2. Que peut-on dire des noyaux représentés sur une même verticale de la figure 7 page 7 ? Justifier.

2.1.3. Écrire l'équation de désintégration du radon 222 et celle du plomb 214.

2.1.4. Quel est le nom et la signification de la grandeur $t_{1/2}$ reportée sur la flèche de désintégration de chaque noyau de la figure 7 page 7 ? Donner sa valeur pour le polonium 218.

2.2. Détection par le compteur

Un aspirateur muni d'un filtre permet de récupérer des poussières de l'air ambiant. On étudie alors l'évolution temporelle de la radioactivité de ces poussières à l'aide d'un compteur Geiger Müller. L'activité mesurée est celle des noyaux descendants du radon 222, fixés sur des microparticules piégées dans le filtre.

L'objectif de cette partie est de montrer que deux noyaux descendants de la famille de l'uranium 238 sont principalement détectés par le compteur Geiger Müller.

2.2.1. *On transporte le filtre et on le dépose dans le détecteur une dizaine de minutes après l'aspiration.*

Par combien est approximativement divisé le nombre de noyaux de polonium 218 entre la fin de l'aspiration et le début des mesures dans le détecteur : par 2, 4, 6 ou 8 ? Justifier.

2.2.2. *On admet que l'activité du polonium 218 dans le local aspiré, proportionnelle au nombre de noyaux ^{218}Po, est comparable à celle des autres noyaux.*

En déduire que la contribution du polonium 218 à la radioactivité de l'échantillon introduit plus tard dans le détecteur peut être négligée.

2.2.3. *Ayant pris soin de ne pas soulever les poussières déposées depuis très longtemps dans le local où l'air ambiant est aspiré, on admettra que le plomb 210 ne participe pas à la radioactivité de l'échantillon recueilli, ni ses descendants.*

En conclusion, quels sont les seuls noyaux radioactifs émetteurs β^- qui contribuent à l'activité mesurée par le détecteur ?

3. Évolution temporelle

On se propose d'étudier l'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs de plomb 214.

3.1. Loi de décroissance

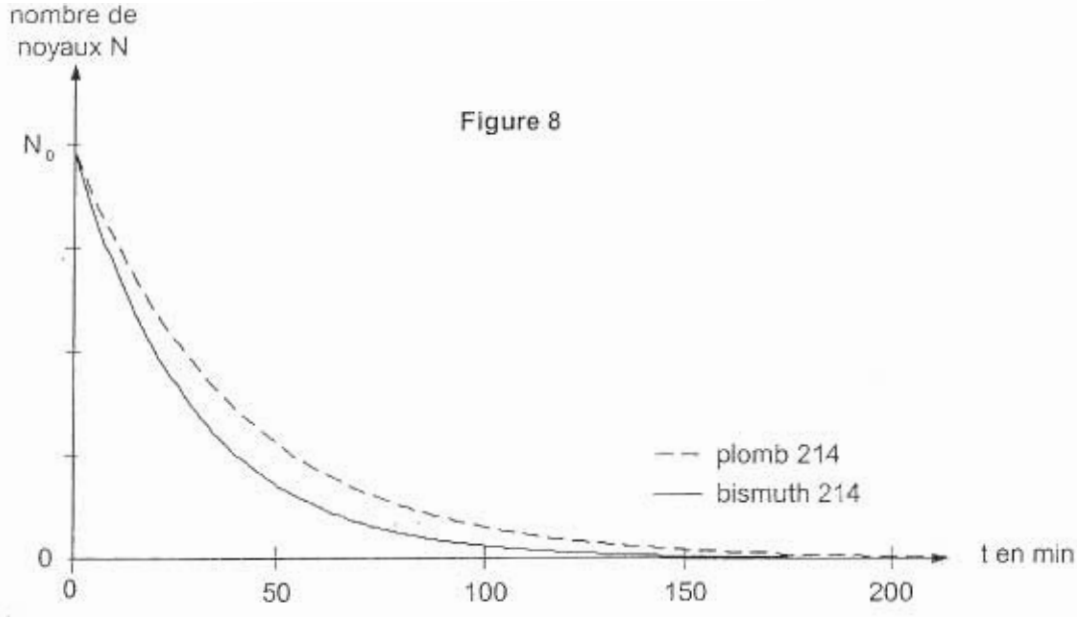
3.1.1. Rappeler l'expression mathématique de l'évolution temporelle du nombre de noyaux N d'une population de noyaux de constante radioactive λ.

3.1.2. *On rappelle que le nombre de désintégrations par seconde d'une population de noyaux radioactifs est définie par l'activité A (en becquerels Bq) :* $A(t) = -\dfrac{dN(t)}{dt}$.

En déduire que la relation entre activité et nombre de noyaux est : $A(t) = +\lambda N(t)$.

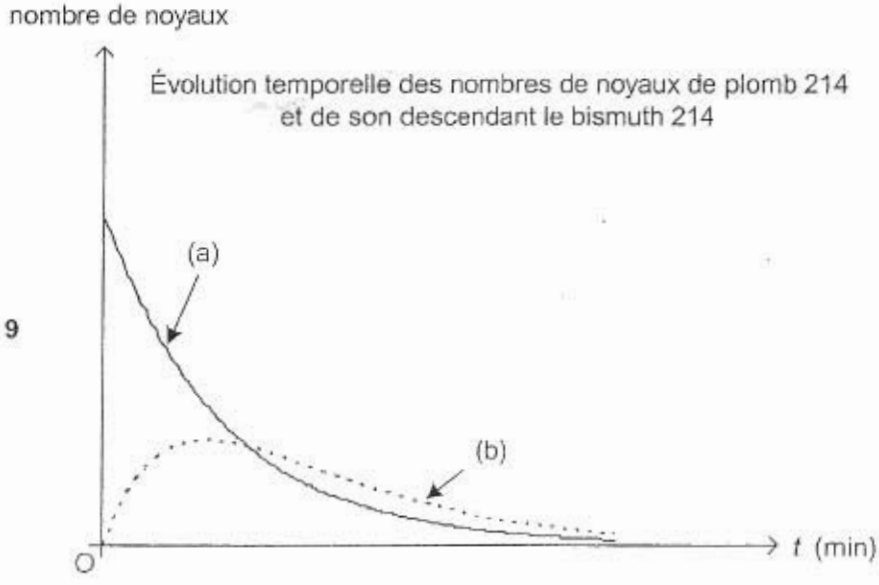
3.1.3. En utilisant la figure 8 page 9, comparer graphiquement et sans calcul l'activité de la population de plomb 214 aux instants de dates t_1 = 25 min et t_2 = 50 min. Justifier la réponse.

3.1.4. En utilisant la figure 8 page 9, comparer graphiquement et sans calcul l'activité de $\dfrac{N_0}{2}$ noyaux de plomb 214 à celle du même nombre de noyaux de bismuth 214. En déduire lequel des deux radioéléments a la constante radioactive la plus grande.



3.2. *Le descendant (noyau fils) du noyau de plomb 214 est le noyau de bismuth 214, lui même émetteur β^-.*
On a tracé sur la figure 9 ci-dessous les courbes représentant l'évolution temporelle des nombres de noyaux d'un même échantillon renfermant à la fois des noyaux de plomb 214 et les noyaux fils de bismuth 214 descendants des noyaux de plomb qui se désintègrent.

Figure 9



3.2.1. Identifier les deux noyaux (plomb 214 et bismuth 214) correspondant à chacune des deux courbes (a) et (b) figure 9. Justifier ce choix en décrivant qualitativement l'évolution temporelle de la courbe (b).
3.2.2. Indiquer, en justifiant la réponse, quelle est l'équation différentielle qui régit dans ces conditions l'évolution temporelle du nombre de noyaux de bismuth 214.

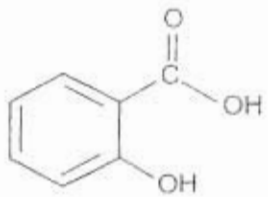
(1) $\frac{dN_{Bi}}{dt} = -\lambda_{Bi}.N_{Bi}$ (2) $\frac{dN_{Bi}}{dt} = +\lambda_{Pb}.N_{Pb} - \lambda_{Bi}.N_{Bi}$ (3) $\frac{dN_{Bi}}{dt} = -\lambda_{Pb}.N_{Pb}$

EXERCICE III. ASPIRINE DE SYNTHÈSE (4 points)

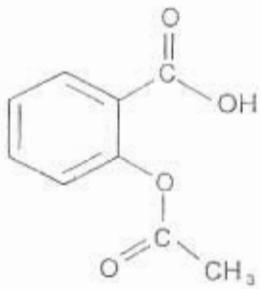
En 1825, un pharmacien italien, Francesco Fontana, isole le « principe actif » de l'écorce de saule et le baptise salicine. Par la suite, la salicine donnera de l'acide salicylique, plus efficace, puis un procédé de synthèse à partir de l'acide salicylique produira l'acide acétylsalicylique. C'est la naissance de l'aspirine mise sur le marché en 1899.

Données :
Formules chimiques :

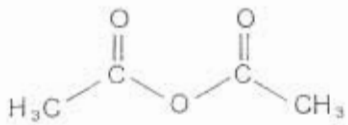
Acide salicylique



Acide acétylsalicylique



Anhydride éthanoïque



Masses molaires : M(acide salicylique) = 138 g.mol^{-1} ; M(anhydride éthanoïque) = 102 g.mol^{-1} ; M(acide acétylsalicylique) = 180 g.mol^{-1}.
Masse volumique de l'anhydride éthanoïque : $\mu = 1{,}08 \times 10^3$ kg.m^{-3}.
pKa du couple acide acétylsalicylique./ ion acétylsalicylate : 3,5 à la température de l'expérience.
L'acide acétylsalicylique est très peu soluble dans l'eau.

1. Nécessité de l'aspirine de synthèse

Chaque année, environ quarante mille tonnes d'aspirine sont consommées à travers le monde.
Un saule nécessite une superficie de terre d'environ 20 m^2 pour son développement et pourrait fournir 2,6 kg d'aspirine. À titre d'exemple, la superficie de la ville de Paris couvre 10 500 hectares.

Sur quelle surface de terre exprimée en hectares (1 ha = 10 000 m^2) devrait-on abattre des saules, chaque année, pour produire l'aspirine uniquement à partir des saules ? Le résultat confirme-t-il la nécessité de synthétiser l'aspirine ?

Aide aux calculs : $\frac{40}{2{,}6} = 15$; $40 \times 2{,}6 = 104$

2. Synthèse de l'aspirine en laboratoire

On réalise la synthèse de l'aspirine à partir de l'anhydride éthanoïque et de l'acide salicylique. Les produits de la transformation sont l'aspirine et l'acide éthanoïque.

2.1. Sur le schéma de la molécule d'acide acétylsalicylique, donné en ***ANNEXE PAGE 14,*** nommer les groupes caractéristiques entourés.

2.2. *Les étapes du protocole de la synthèse de l'aspirine sont données en désordre ci-dessous :*

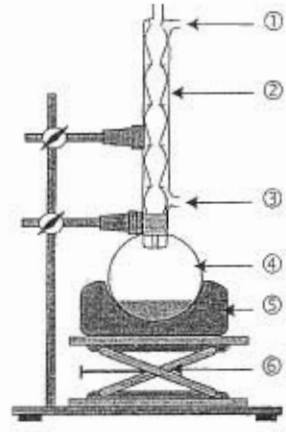
Étape A – *Ajouter de l'eau froide dans le milieu réactionnel.*
Étape B – *Réaliser un montage de chauffage à reflux et chauffer pendant une vingtaine de minutes.*
Étape C – *Les cristaux récupérés sont impurs. Les purifier par recristallisation. Filtrer de nouveau sur büchner et peser les cristaux récupérés.*
Étape D – *Introduire dans un ballon 5,0 g d'acide salicylique, 10 mL d'anhydride éthanoïque et quelques gouttes d'acide sulfurique.*
Étape E – *Filtrer sur büchner le mélange obtenu et récupérer les cristaux d'aspirine.*

Indiquer l'ordre des étapes qu'il faut mener pour réaliser la synthèse de l'aspirine au laboratoire de chimie.

2.3. Par quel autre composé aurait-on pu remplacer l'anhydride éthanoïque ? Quel(s) avantages(s) apporte l'utilisation de l'anhydride éthanoïque ?

2.4. Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?

2.5. *Le montage du chauffage à reflux est schématisé ci-dessous.* Nommer sur la copie les points du montage numérotés de ① à ⑥. Quel est l'intérêt du montage à reflux ?



2.6. Lors d'une séance de Travaux Pratiques, un groupe d'élèves applique le protocole ci-dessus. Il étudie l'évolution du système chimique à l'aide du tableau fourni en ***ANNEXE PAGE 14.***

2.6.1 Vérifier que l'anhydride éthanoïque est en excès au début de la transformation.

Aide aux calculs : $\frac{5}{138} = 0{,}036$; $\frac{10{,}8}{102} = 0{,}11$; $5 \times 138 = 690$; $\frac{102}{10{,}8} = 9{,}44$

2.6.2 *La masse de cristaux d'aspirine obtenue est de 6,0 g.*
Compléter et utiliser le tableau d'avancement fourni en **ANNEXE PAGE 14** pour déterminer le rendement de la transformation.

Aide aux calculs : $\frac{6}{180} = 0{,}033$; $\frac{36}{33} = 1{,}1$; $\frac{33}{36} = 0{,}92$

3. Mise en solution d'un comprimé d'aspirine simple

Les médicaments à base d'aspirine se présentent actuellement sous diverses formulations : comprimés, poudre, comprimés effervescents ...
On notera, dans cette partie, l'acide acétylsalicylique AH et l'ion acétylsalicylate A^-.

3.1. *On dissout un comprimé contenant 500 mg d'aspirine simple dans de l'eau distillée de façon à obtenir un volume V_S de 200 mL de solution S.*
L'acide acétylsalicylique AH réagit avec l'eau.
Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation.

3.2. Calculer la concentration molaire c_S en soluté apporté de la solution S.

Aide aux calculs : $\frac{2{,}5}{180} = 1{,}4 \times 10^{-2}$; $2{,}5 \times 180 = 4{,}5 \times 10^{-2}$

3.3. *Le pH de l'estomac d'un individu est d'environ 2.*

3.3.1. Tracer le diagramme de prédominance des espèces chimiques du couple AH / A^-.

3.3.2. Sous quelle forme, AH ou A^-, l'organisme de cet individu assimile-t-il l'aspirine dans l'estomac ?

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

Questions 1.3. et 1.5.

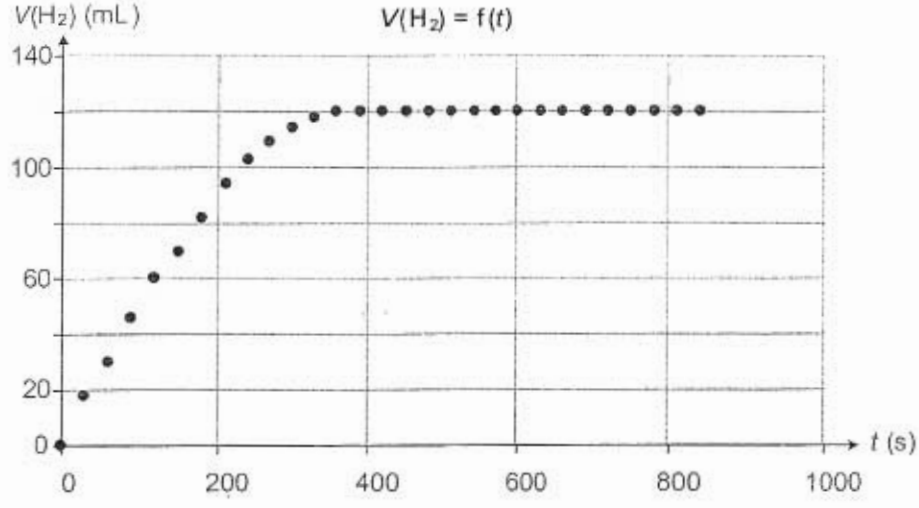
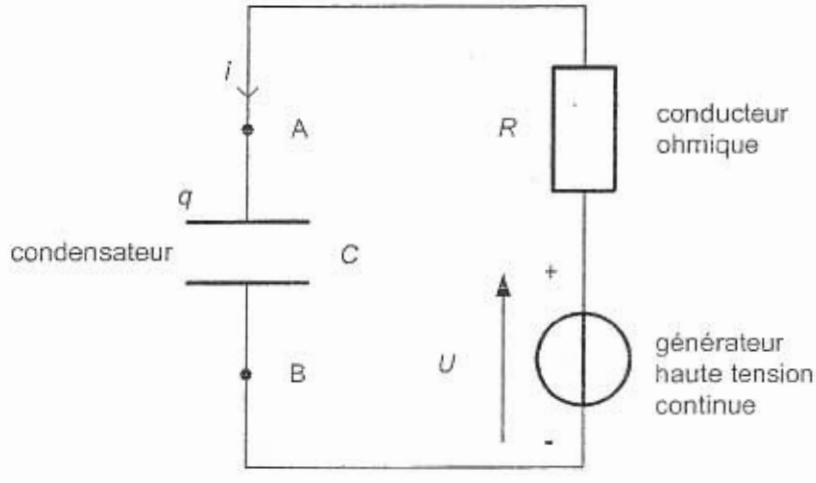


Figure 2

ANNEXE DE L'EXERCICE II

Question 1.1.1. :

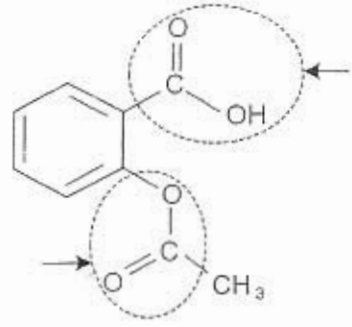


ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

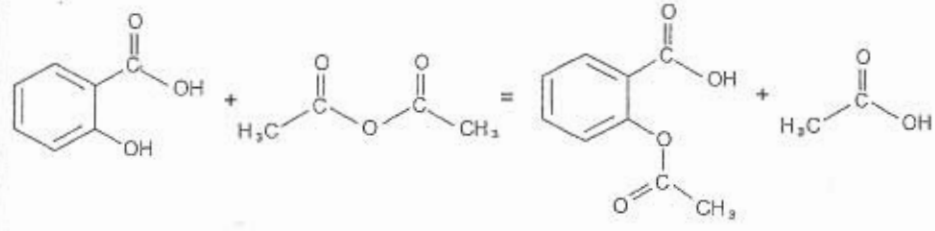
ANNEXE DE L'EXERCICE III

Question 2.1.

Acide acétylsalicylique :



Question 2.6.2.
Tableau à compléter :

Équation chimique :				
	Avancement	Quantités de matière (en mol)			
Etat initial	0				
Etat intermédiaire	x				
Etat final	x_f				

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

obligatoire

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 PHYSIQUE et CHIMIE, un exercice de PHYSIQUE et un exercice de CHIMIE présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci.

Les pages d'annexes (pages 11 et 12) 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. Stockage de « l'énergie solaire » (6,5 points)
II. Science et sport (5,5 points)
III. Un conservateur alimentaire (4 points)

EXERCICE I. STOCKAGE DE « L'ÉNERGIE SOLAIRE » (6,5 points)

« Le Soleil est une étoile quelconque mais, pour la vie sur Terre, sa présence est indispensable… L'énergie solaire reçue par la Terre représente par an près de 15 000 fois la totalité de la consommation énergétique mondiale actuelle ! » (CRDP Nantes)

Une partie de cette énergie abondante peut être transformée en énergie électrique par une cellule photovoltaïque (capteur solaire). Cette énergie électrique doit être stockée car la demande énergétique peut être décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport en énergie solaire (utilisation par exemple, d'un éclairage la nuit).

Dans cet exercice, on étudie deux types de stockage de l'énergie électrique fournie par une cellule photovoltaïque :

- *le stockage de l'énergie électrique dans un condensateur de grande capacité.*
- *la production par électrolyse d'un combustible pour une pile électrochimique.*

Les deux parties correspondant aux deux types de stockage sont indépendantes. La charge et la décharge du condensateur peuvent êtres traitées indépendamment.

1. Utilisation d'un condensateur de très grande capacité

Le fabriquant du condensateur utilisé indique une valeur de capacité C = 100 000 µF ± 10%.

1.1. Charge du condensateur à courant constant

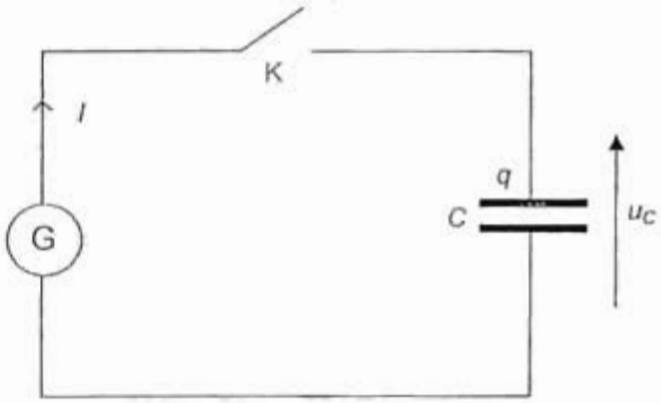
Les caractéristiques de la cellule photovoltaïque en régime normal de fonctionnement sont indiquées ci-dessous (toutes les données ne sont pas utiles) :

- *Puissance : 0,6 W*
- *Intensité : 270 mA*
- *Tension maximale : 2,25 V*
- *Dimensions : 394 x 127 x 20 mm*
- *Masse : 0,41 kg*
- *Plage de température : - 40 °C à + 60 °C*

La cellule photovoltaïque se comporte comme un ***générateur G*** *débitant un courant* ***d'intensité constante*** *I = 0,27 A, tant que la tension à ses bornes reste inférieure à la tension maximale* U_{max} *= 2,25 V.*

La cellule photovoltaïque est branchée aux bornes du condensateur (figure1).

À la date t_0 *= 0 s, on ferme l'interrupteur K et on débute l'enregistrement informatisé des variations de la tension aux bornes du condensateur* $u_C(t)$ *en fonction du temps. On obtient le graphe de la figure 2, page suivante.*



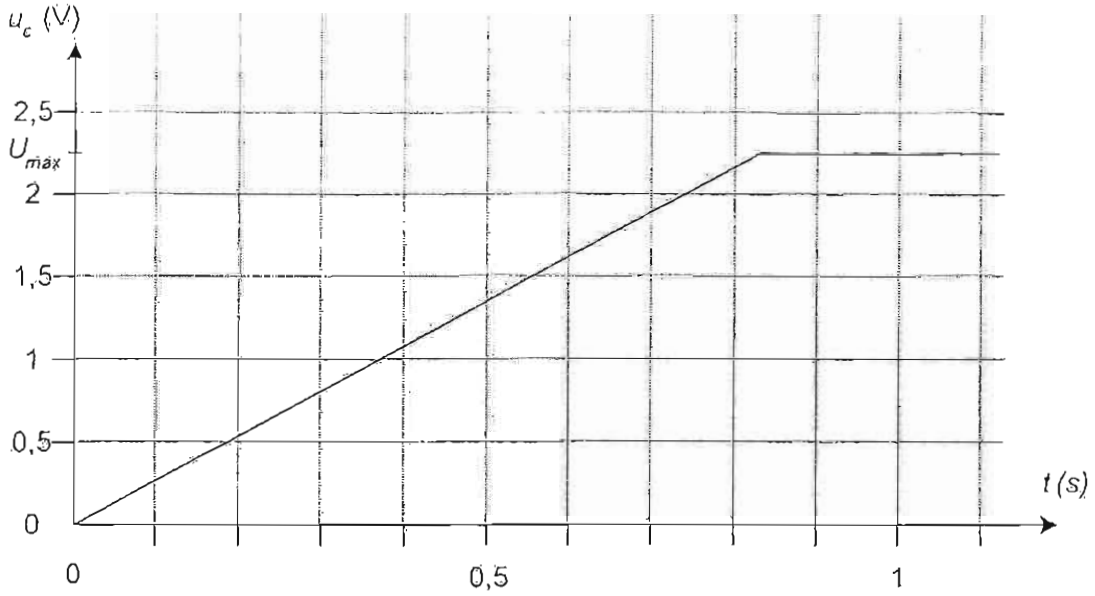


Figure 2 : charge du condensateur

1.1.1. Nommer les deux régimes observables sur le graphe de $u_C = f(t)$ représenté en figure 2.

1.1.2. Donner l'expression de u_C en fonction de C et de la charge q du condensateur.

1.1.3. *Le condensateur est initialement déchargé.* Donner l'expression de la charge du condensateur q en fonction l'intensité I et de la date t lorsque u_C est inférieure à U_{max} (charge à courant constant).

En déduire que $u_C = \dfrac{I \cdot t}{C}$ tant que u_C est inférieure à U_{max}.

1.1.4. Déterminer la valeur et préciser l'unité du coefficient directeur, noté k, de la portion de droite de la figure 2 lorsque u_C est inférieure à U_{max}. Utiliser ce résultat pour vérifier que la valeur de C est compatible avec les indications du constructeur.

1.1.5. Calculer la quantité d'énergie électrique stockée dans le condensateur lorsque la charge est terminée.

1.2. Décharge du condensateur dans un conducteur ohmique

L'énergie stockée dans le condensateur peut être utilisée pour faire fonctionner une lampe (L) de faible puissance que l'on assimile à un conducteur ohmique de résistance R.

On branche en série le condensateur et le conducteur ohmique (figure 3). À l'instant de date $t = 0$, le condensateur a une tension à ses bornes égale à U_{max} et on ferme l'interrupteur K'.

Le graphe donnant $u_C = f(t)$ est donné sur la figure 4 de l'ANNEXE EN PAGE 11.

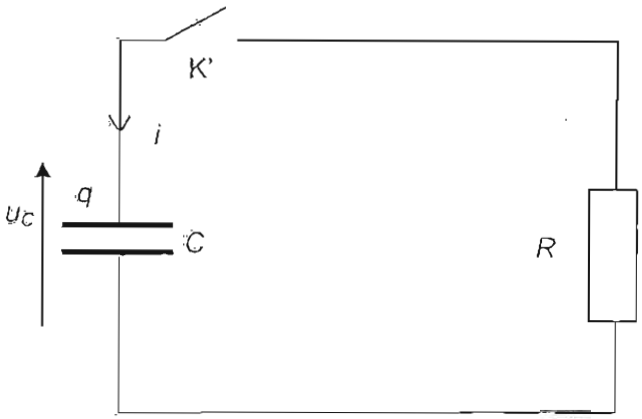


Figure 3

1.2.1. En respectant les conventions de la figure 3, établir l'expression de i en fonction de u_c.

1.2.2. Montrer que l'expression de l'équation différentielle à laquelle satisfait u_C lors de la décharge peut s'écrire : $u_c + RC\dfrac{du_C}{dt} = 0$.

1.2.3. Vérifier que $u_C = U_{max} \cdot e^{-t/RC}$ est une solution de l'équation différentielle précédente.

1.2.4. Quel est le signe de $i(t)$ lors de la décharge ? Justifier la réponse.

1.2.5. Déterminer, en faisant apparaître clairement la méthode sur la figure 4 de l'ANNEXE EN PAGE 11, la valeur de la constante de temps τ du système électrique.

Déduire de la valeur de la constante de temps τ la valeur de la résistance R.

1.2.6. *On considère que la lampe (L) fonctionne correctement si la tension imposée par le condensateur entre ses bornes est supérieure à 1,0 V. On rappelle que l'on assimile la lampe au conducteur ohmique de résistance R.*

Déterminer, en utilisant la figure 4 de l'ANNEXE EN PAGE 11, la durée Δt durant laquelle la lampe fournit une quantité de lumière suffisante. Conclure sur l'utilisation de ce condensateur pour un éclairage la nuit.

2. Utilisation d'une pile à combustible

L'énergie électrique fournie par une cellule photovoltaïque permet la production de dihydrogène gazeux $H_2(g)$ par électrolyse de l'eau. Le dihydrogène produit est stocké, puis utilisé dans une pile à combustible.

2.1. Électrolyse de l'eau

Afin de réaliser l'électrolyse de l'eau, les bornes de la cellule photovoltaïque sont reliées à deux électrodes de platine immergées dans une solution diluée d'acide sulfurique. Les gaz formés sont récupérés.

L'équation modélisant la transformation ayant lieu lors de l'électrolyse est : $2\ H_2O(\ell) = 2\ H_2(g) + O_2(g)$

Les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont $O_2(g) / H_2O(\ell)$ et $H^+(aq) / H_2(g)$.

2.1.1. L'électrolyse de l'eau est-elle une transformation spontanée ? Justifier.

2.1.2. Écrire les deux équations d'oxydoréduction correspondant aux transformations ayant lieu aux électrodes.

2.1.3. Quel type de réaction a lieu à l'électrode reliée à la borne négative de la cellule photovoltaïque ? Nommer cette électrode.

2.2. Fonctionnement de la pile

Après douze heures de fonctionnement, l'électrolyseur a produit une quantité de dihydrogène $n(H_2) = 6{,}0 \times 10^{-2}$ mol. Ce dihydrogène est entièrement utilisé comme combustible dans une pile schématisée sur la figure 5 de l'ANNEXE EN PAGE 11. La pile consomme, lors de son fonctionnement, du dihydrogène et du dioxygène gazeux qui sont introduits au contact d'électrodes poreuses séparées par une solution acide jouant le rôle d'électrolyte. Le seul produit formé est de l'eau.

L'équation modélisant la transformation ayant lieu lors de l'électrolyse est :

$$2\ H_2(g) + O_2(g) = 2\ H_2O(\ell).$$

La valeur d'un faraday est $F = 9{,}65 \times 10^4\ C.mol^{-1}$.

2.2.1. Indiquer sur la figure 5 donnée sur l'ANNEXE EN PAGE 11 les bornes positive et négative du générateur ainsi que la nature et le sens de circulation des porteurs de charges hors de la pile.

2.2.2. Donner l'expression de la quantité d'électrons $n(e^-)$ échangée lors de la « combustion » de la quantité $n(H_2)$ de dihydrogène dans la pile. En déduire la valeur de la quantité d'électricité Q échangée.

2.2.3. *La pile permet de faire fonctionner correctement la lampe (L) avec une tension à ses bornes de 1,0 V et une intensité constante du courant de 0,70 A.*

Déterminer la durée de fonctionnement de la pile pour cette intensité. Commenter ce résultat en comparant cette durée à celle obtenue à la question 1.2.6..

EXERCICE II. SCIENCE ET SPORT (5,5 points)

Les parties 1 et 2 de cet exercice sont indépendantes.

Du 13 au 27 juillet 2003 ont eu lieu les dixièmes championnats du monde de natation à Barcelone et parmi les disciplines représentées figurait celle du plongeon. Dans cet exercice on se propose d'étudier, dans un premier temps, le mouvement du centre d'inertie G d'un plongeur, de masse m = 70,0 kg, lors de son saut et dans une deuxième partie, son évolution dans l'eau.

Dans tout l'exercice le mouvement du centre d'inertie du plongeur est étudié dans le repère d'axes (Ox,Oy) représenté sur la figure 6. Le point O est au niveau de la surface de l'eau et l'altitude du centre d'inertie G du plongeur est notée y.
On prendra pour la valeur du champ de pesanteur $g = 9{,}80\ m.s^{-2}$ et on considérera que le référentiel terrestre est galiléen.

1. Saut du plongeur

Dans toute cette première partie on néglige l'action de l'air sur le plongeur au cours de son mouvement et on admet que lors du saut, les mouvements de rotation du plongeur ne perturbent pas le mouvement de son centre d'inertie G.

On note y_0 l'ordonnée du centre d'inertie du plongeur juste avant le saut et $\vec{v_0}$ sa vitesse initiale.
On donne $v_0 = 4{,}0\ m.s^{-1}$ et $y_0 = 4{,}0\ m$.

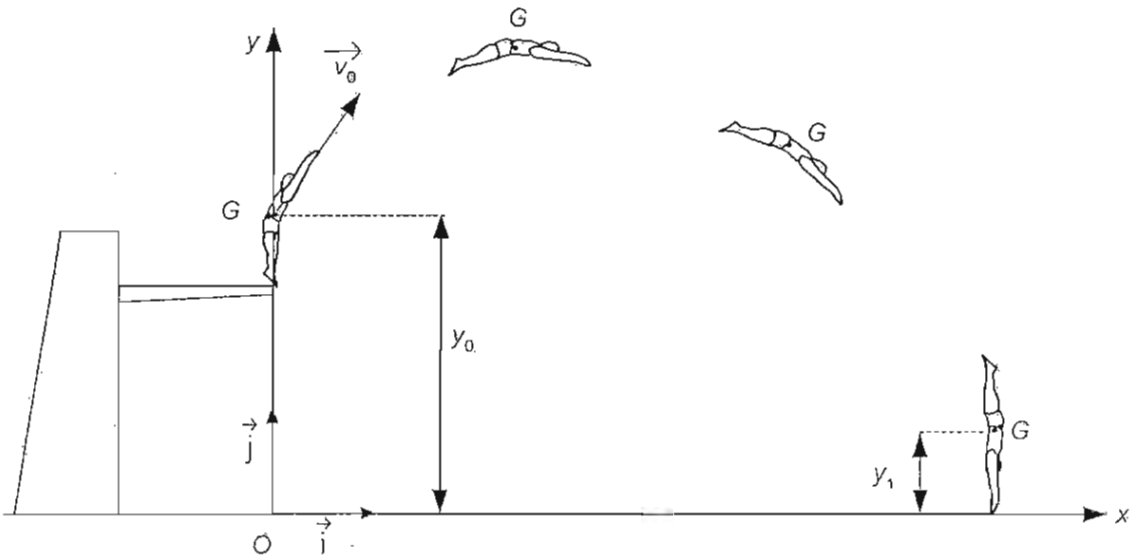


Figure 6

1.1. *On considère le système {plongeur} dans le champ de pesanteur terrestre. On a représenté en figure 7, page suivante, l'évolution de l'énergie potentielle de pesanteur du système au cours du temps lors d'une partie de la phase de mouvement étudiée. On précise que la référence de l'énergie potentielle E_{pp} est prise au niveau de la surface de l'eau. On rappelle que, dans ces conditions, l'énergie potentielle de pesanteur du système, à l'altitude y, a pour expression : $E_{pp} = mgy$.*

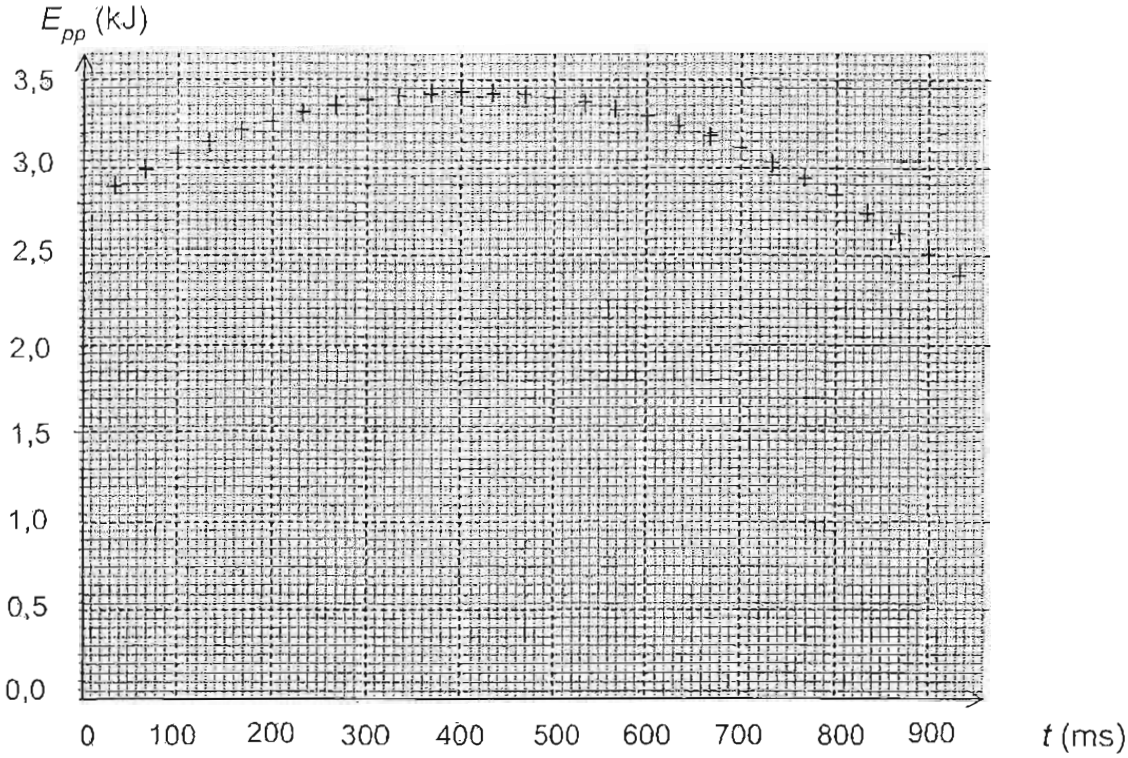


Figure 7

On note t_S la date à laquelle l'énergie potentielle de pesanteur est maximale.

En utilisant le graphique ci-dessus déterminer l'altitude y_S à laquelle se situe le centre d'inertie G du plongeur à l'instant de date t_S .

1.2. *Le but de cette question est de déterminer la valeur de la vitesse du centre d'inertie du plongeur au moment où ses mains touchent l'eau.*

1.2.1. Donner l'expression de l'énergie mécanique du système {plongeur en interaction avec la Terre} en fonction des grandeurs m, g, y et de la valeur de la vitesse v du centre d'inertie du plongeur.

1.2.2. En justifiant la réponse, dire comment cette énergie évolue au cours du temps.

On rappelle que, dans cette partie, l'action de l'air sur le plongeur est négligée.

1.2.3. *Lorsque les mains du plongeur entrent en contact avec l'eau, le centre d'inertie du plongeur se situe à une hauteur y_1 au dessus de l'eau (voir figure 6).*

À cet instant de date t_1 donner l'expression, en justifiant la réponse, de l'énergie cinétique du plongeur en fonction de v_0, m, g, y_0 et y_1.

Calculer sa valeur sachant que y_1 = 1,0 m.

1.2.4. En déduire l'expression de la valeur de la vitesse v_1 à l'instant de date t_1. Calculer sa valeur.

2. Mouvement dans l'eau

Le mouvement du centre d'inertie G du plongeur est considéré comme vertical dans cette partie. La profondeur du bassin dans lequel évolue le plongeur est de 5,0 m.

2.1. *La figure 8 page suivante, résulte d'une simulation et représente l'évolution de l'altitude y du centre d'inertie du plongeur au cours du temps. On précise que l'on a pris comme origine des dates l'instant où le centre d'inertie du plongeur atteint la surface de l'eau.*

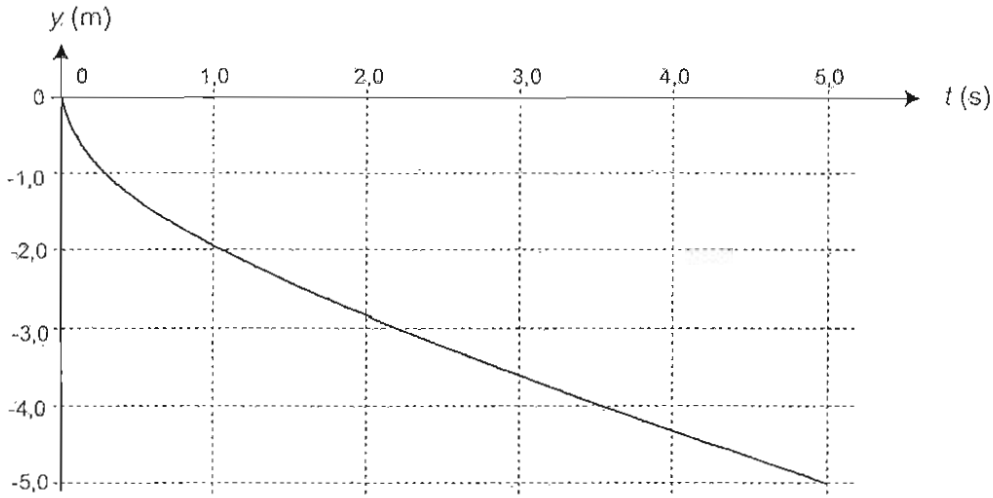


Figure 8

Pour pouvoir remonter, le plongeur doit redresser son buste. On estime que le plongeur agit activement pour amorcer sa remontée 1,0 s après que son centre d'inertie a atteint la surface de l'eau. De plus, on considère que le centre d'inertie du plongeur se situe toujours à 1,0 m de ses mains tendues.

Au moment où il amorce sa remontée, les mains du plongeur ont-elles atteint le fond du bassin ? Justifier la réponse.

2.2. *On se propose de modéliser le mouvement du centre d'inertie du plongeur dans l'eau s'il n'amorçait pas de remontée. On note V le volume du plongeur et ρ la masse volumique de l'eau de la piscine. Le plongeur est soumis, entre autres, à une force de frottement fluide dont le sens est opposé à celui du vecteur vitesse* $\vec{v}$ *et dont la valeur peut être modélisée par* $f = k.v^2$ *(où l'on considère k comme une constante).*

2.2.1. Nommer les forces qui s'exercent sur le plongeur lors de ce mouvement. Les représenter, sans souci d'échelle, en son centre d'inertie *G*.

2.2.2. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation différentielle qui régit le mouvement du centre d'inertie du plongeur est donnée par :

$\frac{dv_y}{dt} - \frac{k}{m}v_y^2 + g\,(1 - \frac{\rho V}{m}) = 0$ où v_y est la composante du vecteur vitesse du centre d'inertie sur l'axe vertical orienté vers le haut. On précise que, dans le cas étudié, $v = |v_y|$.

2.2.3. En déduire, en la justifiant, l'expression en régime permanent de la valeur v_p du vecteur vitesse.

2.2.4. Calculer v_p. *On prendra* $\rho = 1{,}00 \times 10^3\ kg.m^{-3}$, $V = 6{,}50 \times 10^{-2}\ m^3$ *et* $k = 150\ kg.m^{-1}$.

2.2.5. En exploitant la **figure 8** dire si le plongeur a atteint le régime permanent avant que ses mains ne touchent le fond.

On rappelle que $v_y = \frac{dy}{dt}$.

2.3. *Une méthode de résolution numérique possible, la méthode d'Euler, permet de calculer de façon approchée la valeur algébrique de la vitesse instantanée verticale* v_y *à différentes dates.*

On note $v_y(t_n)$ *la valeur algébrique de la vitesse à l'instant de date* t_n *; la valeur algébrique* $v_y(t_{n+1})$ *à la date* $t_{n+1} = t_n + \Delta t$ *est calculée en utilisant la* ***relation (1)*** *suivante :*

$$\boxed{v_y(t_{n+1}) = v_y(t_n) + a_y(t_n) \cdot \Delta t}$$

où $a_y = \frac{dv_y}{dt}$ *est la composante de l'accélération selon l'axe (Oy) et* Δt *est le pas de calcul.*

Compte tenu des valeurs numériques, l'équation différentielle obtenue en 2.2.2. permet d'obtenir la ***relation (2)*** *suivante :*

$$\boxed{a_y(t) = 2,14 \times v_y^2(t) - 0,700}$$

La valeur du pas de calcul Δt sera choisie égale à la durée $\Delta t = 1,20 \times 10^{-2}$ s.

En utilisant la relation (1) pour le calcul de $v_y(t_{n+1})$ et la relation (2) pour celui de $a_y(t_n)$, compléter avec des valeurs numériques le tableau 1 de l'**ANNEXE EN PAGE 12.**

EXERCICE III. UN CONSERVATEUR ALIMENTAIRE (4 points)

L'acide benzoïque est un conservateur utilisé dans de nombreux cosmétiques et produits pharmaceutiques. Il est naturellement présent dans le propolis (sous-produit du miel) et dans les canneberges (arbustes à baies rouges comestibles). Il est aussi souvent utilisé comme conservateur (E 210) dans certains aliments tels que les jus de fruits.
L'acide benzoïque et ses sels (benzoate de sodium ou de potassium) sont efficaces contre les levures et à un moindre degré, contre les moisissures. Ils sont peu actifs contre les bactéries mais agissent tout de même sur les bactéries lactiques.

La solubilité d'une espèce chimique représente, à une température donnée, la quantité de matière maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre par litre de solution. Il s'agit ici d'étudier l'évolution de la solubilité de l'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H(s)$ dans l'eau en fonction de la température.
La solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau augmente quand la température augmente. Cette propriété est utilisée dans un procédé de purification des produits : la recristallisation.

Données : Masse molaire moléculaire de l'acide benzoïque $M = 122\ g.mol^{-1}$
Conversion de degré celsius en kelvin : $T(K) = \theta(°C) + 273$

1. Composition d'une solution saturée d'acide benzoïque

L'acide benzoïque se présente à l'état pur sous la forme de cristaux blancs.
La dissolution de l'acide benzoïque dans l'eau se traduit par l'équation suivante :

$$C_6H_5CO_2H(s) = C_6H_5CO_2H(aq)$$

Une solution saturée est obtenue lorsque l'acide benzoïque solide reste présent dans la solution.
À 24°C, on peut dissoudre au maximum 3,26 g d'acide benzoïque par litre de solution.

1.1. *L'acide benzoïque appartient au couple acido-basique $C_6H_5CO_2H(aq)/C_6H_5CO_2^-(aq)$.* Écrire l'équation de la réaction entre l'acide benzoïque et l'eau.
1.2. Déterminer la concentration molaire apportée c dans un litre de solution saturée d'acide benzoïque à 24°C. En déduire en utilisant la définition donnée dans le texte, la valeur de la solubilité s de l'acide benzoïque à 24°C exprimée en $mol.L^{-1}$.
1.3. Déterminer l'avancement maximal de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau dans un volume de 20,0 mL de solution saturée. On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.
1.4. Le pH de cette solution vaut 2,9. Déterminer l'avancement final puis le taux d'avancement final de la réaction. La transformation correspondante est-elle totale ?
1.5. Choisir, en justifiant, la conclusion adaptée parmi les deux suivantes :
(a) dans une solution saturée d'acide benzoïque à l'équilibre, la concentration en ion benzoate est sensiblement égale à la concentration en acide benzoïque.
(b) dans une solution saturée d'acide benzoïque à l'équilibre, la concentration en acide benzoïque dans la solution à l'équilibre est sensiblement égale à la concentration apportée en acide benzoïque.

2. Titrage des solutions saturées d'acide benzoïque

Plusieurs solutions saturées d'acide benzoïque sont préparées selon le protocole suivant:
- À une masse de 0,55 g d'acide benzoïque placée dans un erlenmeyer, ajouter 100 mL d'eau distillée.
- Chauffer au bain marie afin de dissoudre l'acide benzoïque.
- Refroidir sous courant d'eau froide jusqu'à une température supérieure de 5°C à la température θ souhaitée.
- Verser le contenu de l'erlenmeyer dans un bécher thermostaté à la température θ. Attendre que la température se stabilise.
- Prélever un volume V_p = 20,0 mL de solution surnageante. Placer cette solution dans un bécher thermostaté.

Différentes solutions saturées d'acide benzoïque sont ainsi obtenues à différentes températures θ allant de 24°C à 50°C. Chacune des solutions est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c_b = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1} ; le volume titré est $V_p = 20{,}0$ mL.
*On s'intéresse ici au titrage de la solution obtenue à 24°C. La courbe obtenue lors de ce titrage donnant l'évolution du pH en fonction du volume V_b d'hydroxyde de sodium versé est représentée sur la figure 9 de l'**ANNEXE EN PAGE 12**.*

2.1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu lors du titrage de l'acide benzoïque.
2.2. Définir l'équivalence du titrage.
2.3. Déterminer par une méthode graphique que l'on fera apparaître sur la figure 9 de l'**ANNEXE EN PAGE 12** le volume V_{bE} de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.
2.4. Calculer la concentration molaire c d'acide benzoïque dissous dans la solution. En déduire la valeur de la solubilité de l'acide benzoïque à 24°C.
2.5. En déduire la masse maximale d'acide benzoïque que l'on peut dissoudre dans 100 mL de solution à 24°C. Comparer cette masse à celle introduite initialement et expliquer alors l'expression « solution saturée » employée.

3. Variation de la solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau en fonction de la température

Les valeurs des solubilités des différentes solutions ont été mesurées suivant la même méthode, puis traitées par un tableur grapheur. La figure 10 représente l'évolution de la solubilité s en fonction de la température T exprimée en kelvin.

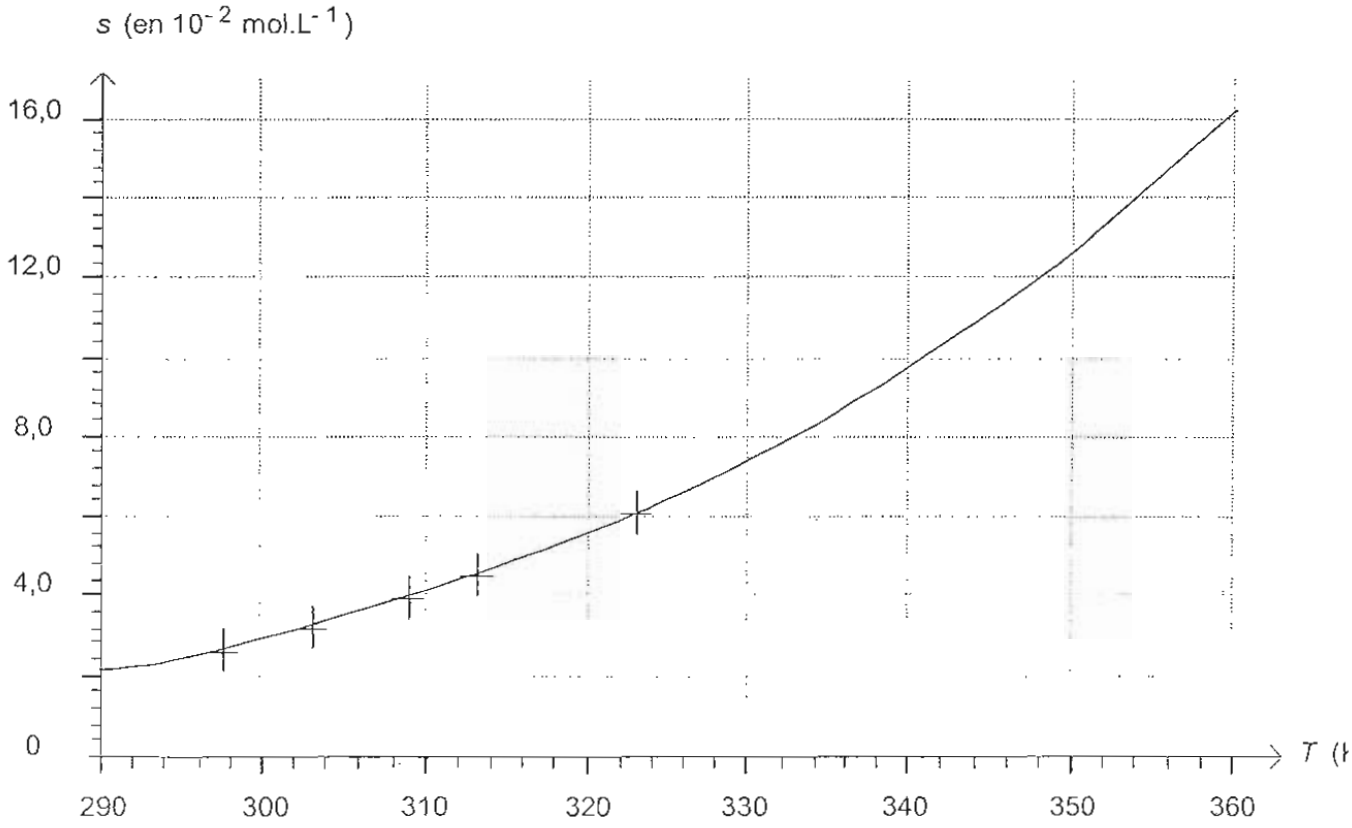


Figure 10

3.1. Parmi les quatre équations proposées ci-dessous, une seule peut modéliser la courbe de la figure 10. Choisir l'expression correcte. Justifier.

(1) $s = a \cdot T + b$; (2) $s = b \cdot e^{-a \cdot T}$; (3) $s = b \cdot e^{-\frac{a}{T}}$; (4) $s = \frac{a}{T} + b$; a et b étant des constantes positives.

3.2. À l'aide de la figure 10, déterminer la valeur de la solubilité de l'acide benzoïque s à une température de 80°C.

ANNEXE DE L'EXERCICE I

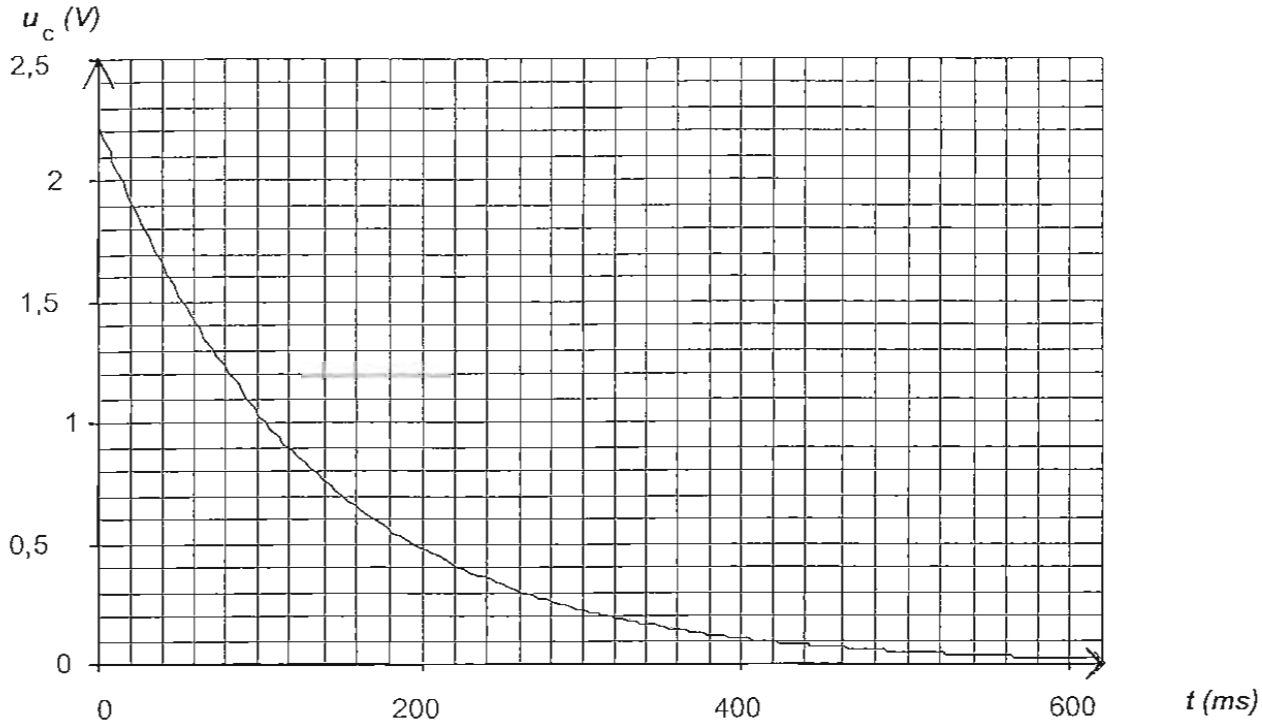


Figure 4 : décharge du condensateur.

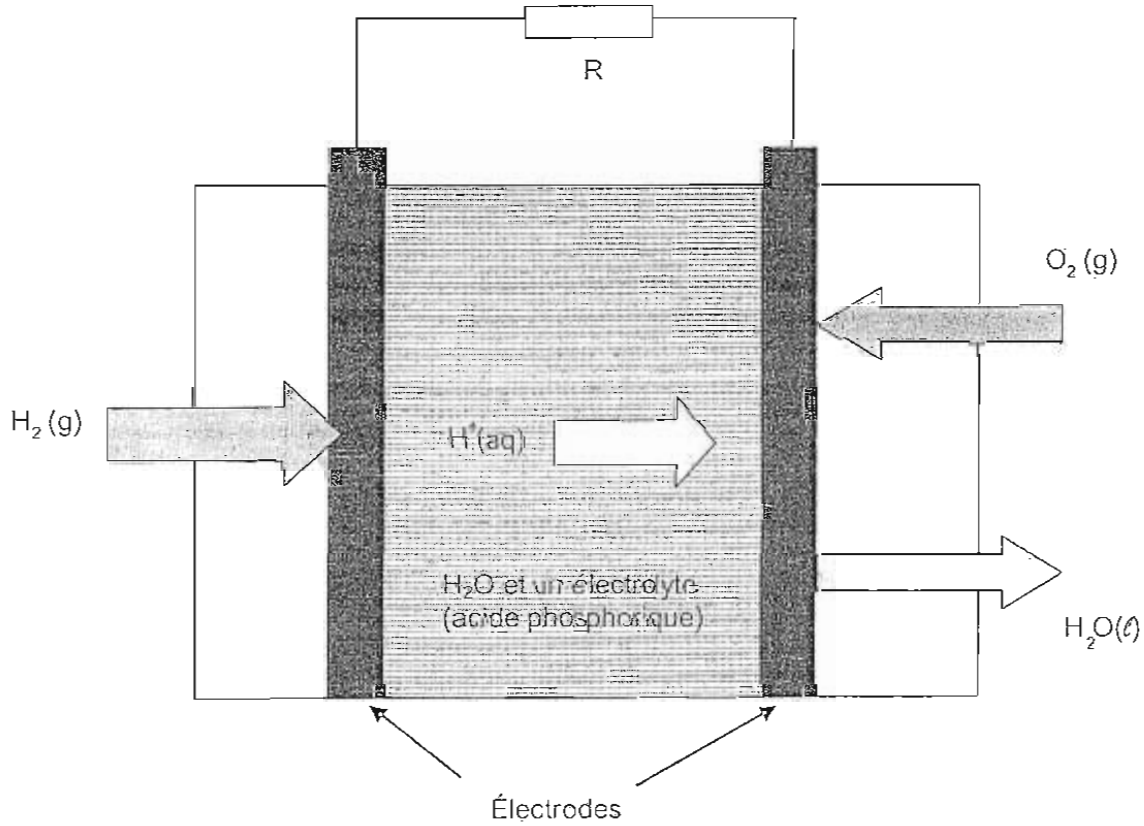


Figure 5 : fonctionnement de la pile à combustible avec un électrolyte acide

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE II

Tableau 1:

Dates en s	v_y en $m.s^{-1}$	a_y en $m.s^{-2}$
$t_n = 1,44 \times 10^{-1}$	$v_y(t_n) = -2,21$	$a_y(t_n) = 9,75$
$t_{n+1} = 1,56 \times 10^{-1}$	$v_y(t_{n-1})$ =.....	$a_y(t_{n+1})$ =.....
$t_{n+2} = 1,68 \times 10^{-1}$	$v_y(t_{n+2}) = -1,99$	$a_y(t_{n+2}) = 7,77$

ANNEXE DE L'EXERCICE III

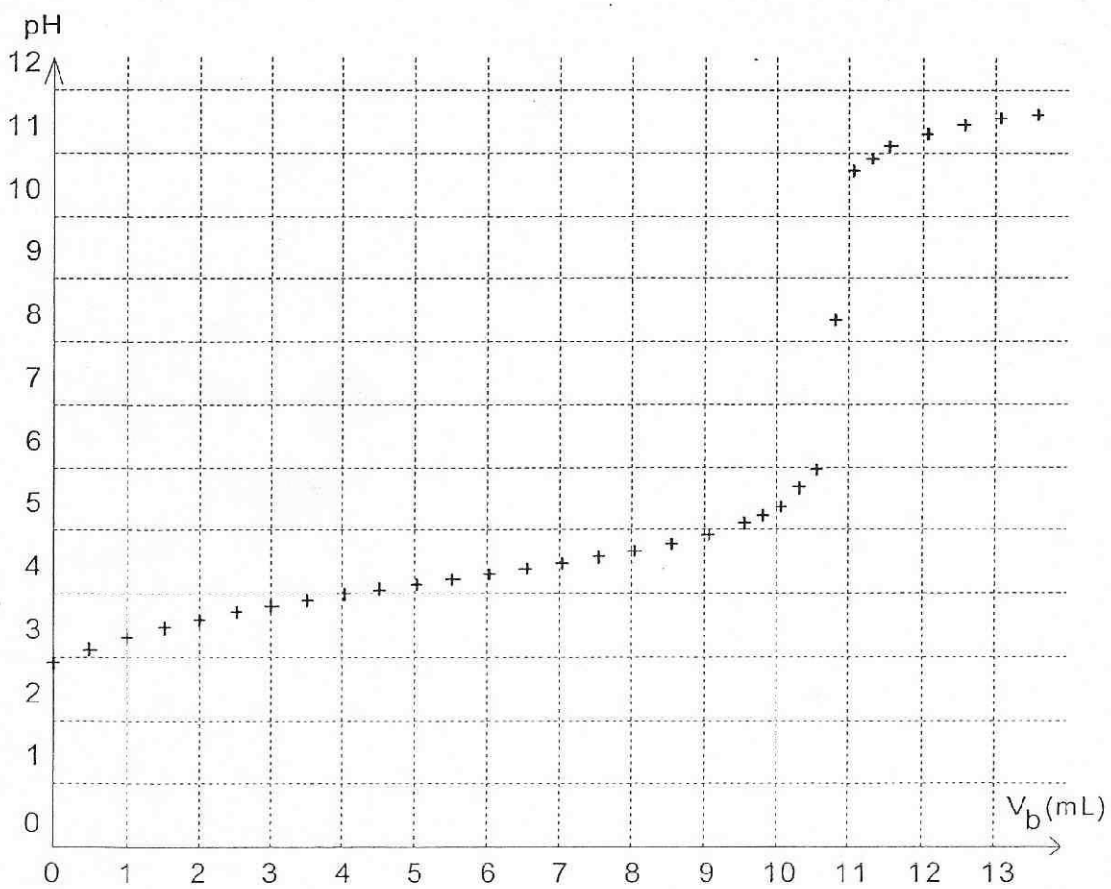


Figure 9