

Spécialité

SESSION 2007

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 h 30

Coefficient : 8

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 4 annexes réparties sur 2 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 d'une pile (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

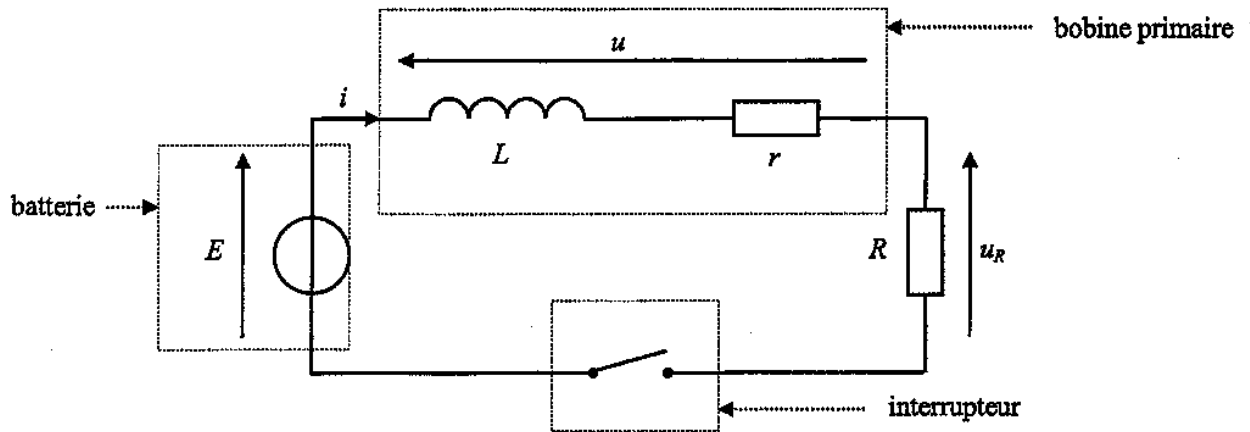
Pour permettre l'allumage des bougies d'une voiture, une étincelle est créée au niveau des bougies. La formation de cette étincelle est liée à l'ouverture, puis à la fermeture d'un circuit comprenant notamment une bobine.

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 $E = 12 \text{ V}$.

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 .

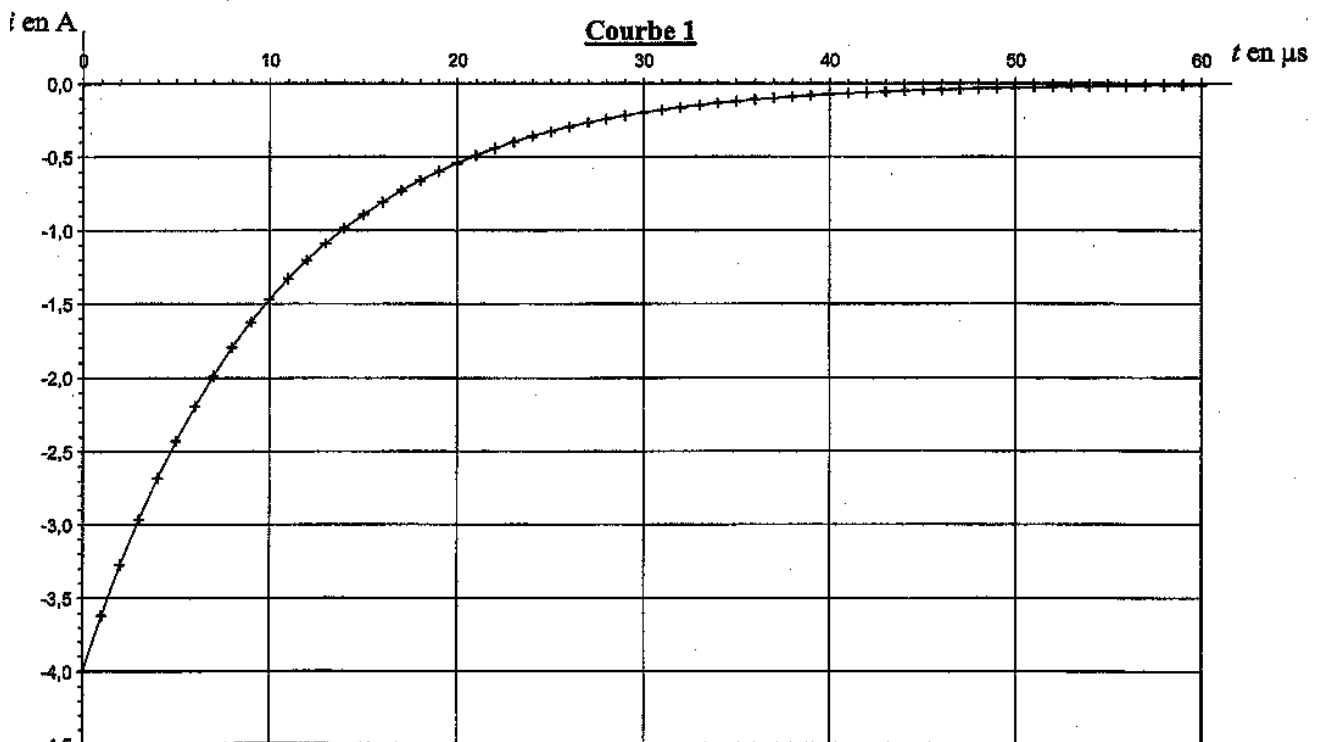
2.1.2. Montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de i est : $L \frac{di}{dt} + Ki = E$ où K est une constante dont on donnera l'expression en fonction des paramètres du circuit.

2.1.3. Une solution de l'équation différentielle peut s'écrire $i = A \times (1 - e^{-Bt})$ 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 $B = \frac{K}{L}$.

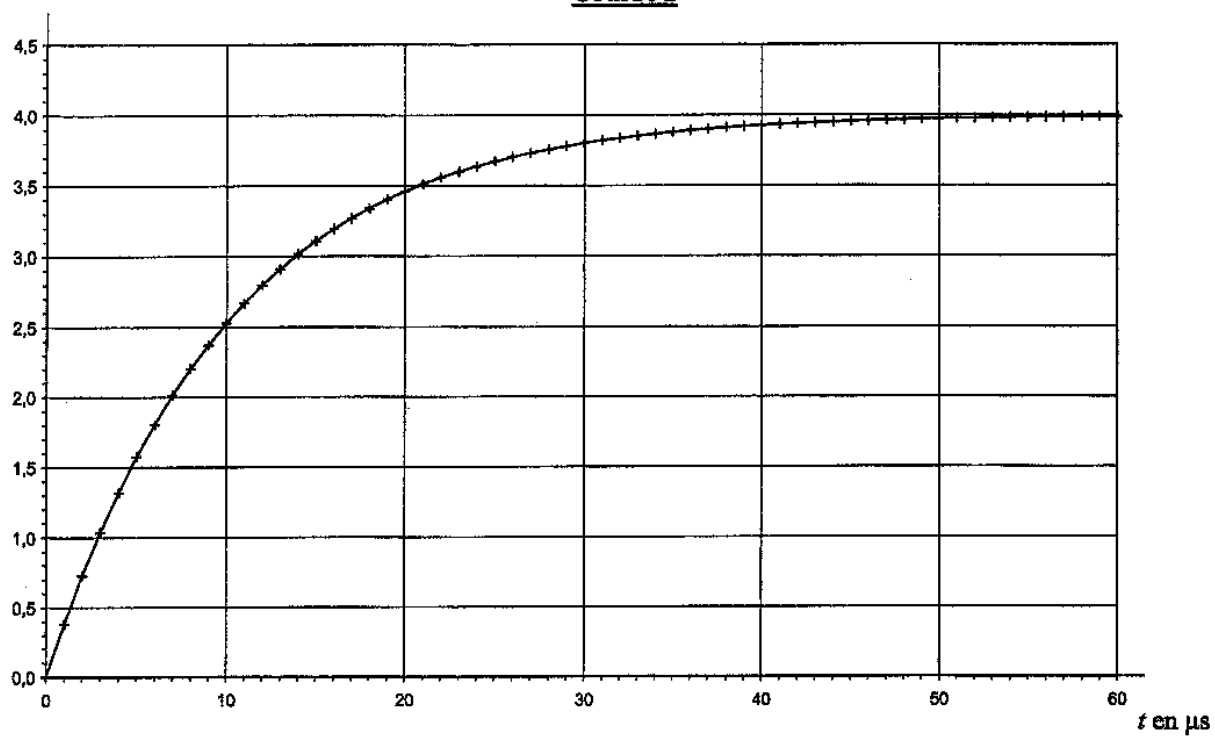
2.1.3.2. Calculer la valeur de A . Préciser son unité.

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



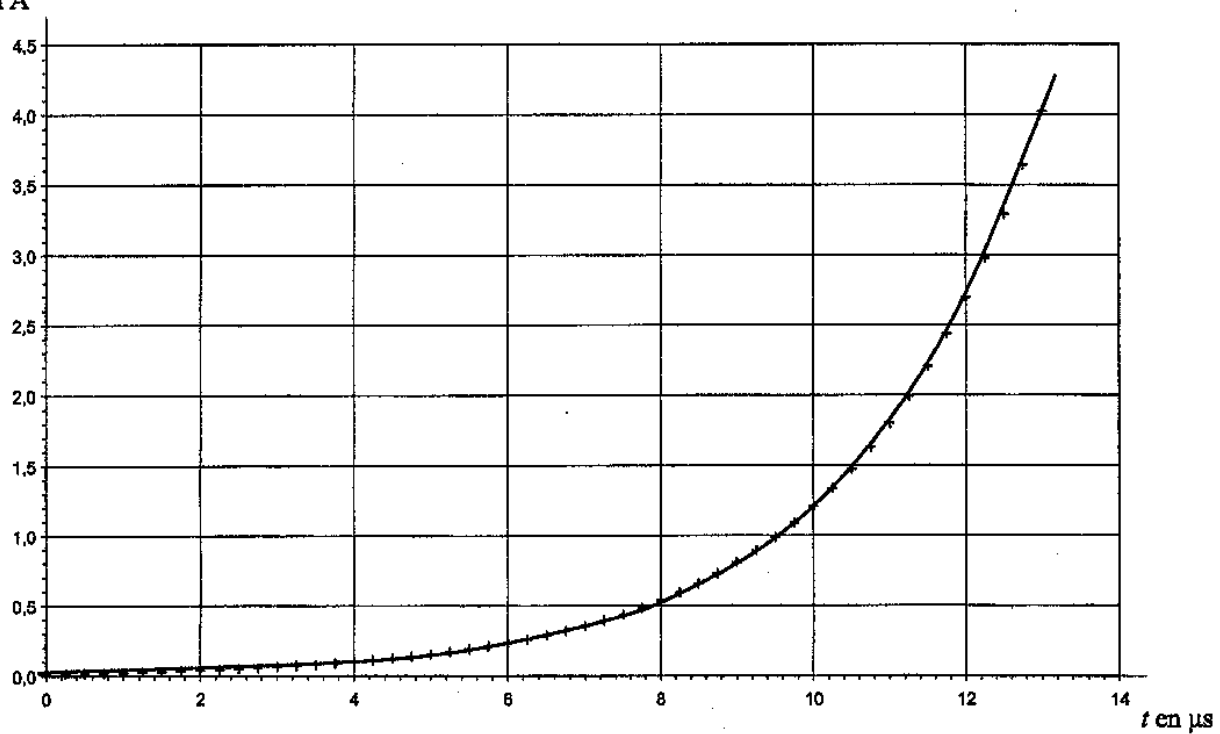
i en A

Courbe 2



i en A

Courbe 3



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 \mathcal{W}_L emmagasinée dans la bobine primaire.

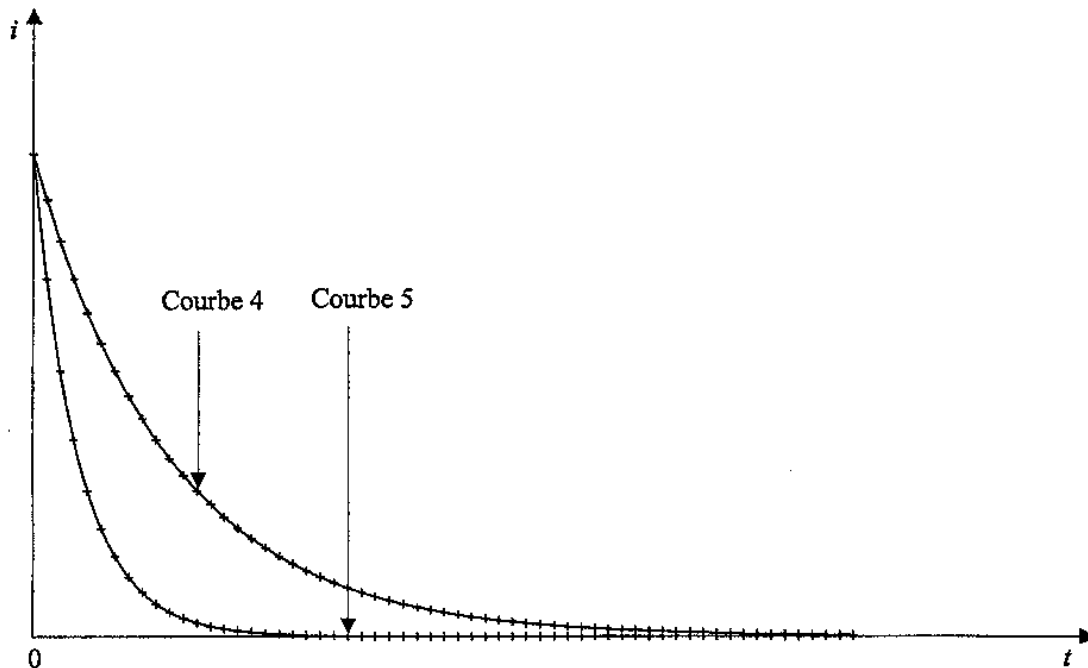
2.1.9. Calculer l'énergie maximale emmagasinée dans la bobine primaire à l'aide de la courbe choisie dans la question 2.1.4.

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 ÉTOILES 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 : $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$ kg

Masse du Soleil : $M_S = 1,98 \cdot 10^{30}$ kg

Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8$ m.s⁻¹

Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

1 eV (électronvolt) = $1,60 \cdot 10^{-19}$ 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 $R = 1,50 \cdot 10^{11}$ 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.

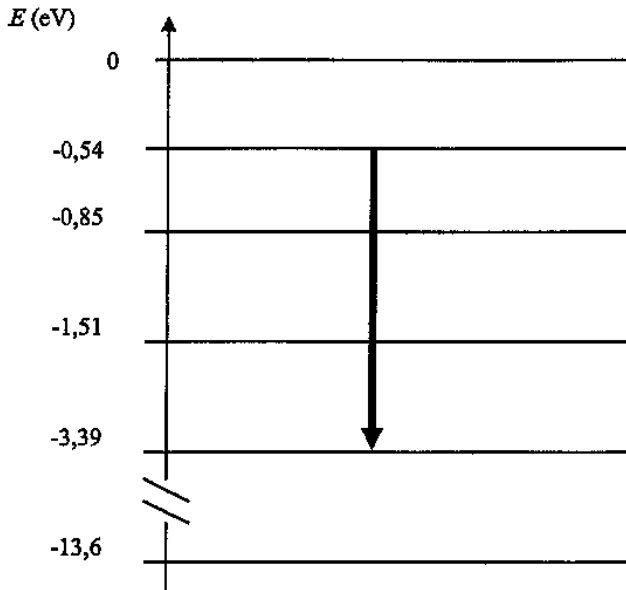
- 1.8. Montrer alors qu'on peut écrire que $T = \frac{2\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM_S}}$, puis calculer sa valeur.

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)

<i>Élément azote</i>											
396	404	424	445	463	480	505	550	575	595	648	661

<i>Élément oxygène</i>						
391	397	420	442	465	616	700

<i>Élément hydrogène</i>				
397	412	436	486	656

Exercice n° 3 (4 points)

Etude d'une pile

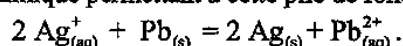
1. La pile étudiée et son fonctionnement

On introduit dans un bécher (1) un volume $V_1 = 100,0$ mL d'une solution de nitrate de plomb ($\text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+} + 2\text{NO}_{3(\text{aq})}^-$) de concentration en soluté apporté $c_1 = 0,100$ mol.L⁻¹ dans laquelle plonge une lame de plomb.

Dans un second bécher (2), on verse un volume $V_2 = 100,0$ mL d'une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}_{(\text{aq})}^+ + \text{NO}_{3(\text{aq})}^-$) de concentration en soluté apporté $c_2 = 0,100$ mol.L⁻¹ dans laquelle plonge un fil d'argent.

On dispose également d'un pont salin.

On admet que la transformation chimique permettant à cette pile de fonctionner est décrite par la réaction :



La constante d'équilibre associée à cette réaction est $K = 6,8 \times 10^{28}$.

- 1.1. Schématiser la pile que l'on peut construire avec ce matériel.
- 1.2. Définir et calculer le quotient de réaction initial du système mis en jeu lors de la fabrication de la pile.
- 1.3. Rappeler le critère d'évolution spontanée d'un système chimique.
- 1.4. On branche une résistance aux bornes de la pile. En utilisant le critère d'évolution spontanée, indiquer en justifiant si la pile peut délivrer un courant électrique.

2. Après une heure d'utilisation

La réaction se déroulant à l'électrode de plomb peut-être modélisée par : $\text{Pb} = \text{Pb}^{2+} + 2 e^-$.

La pile fonctionne pendant une heure en fournissant un courant d'intensité constante $I = 65$ mA.

Données :

Le faraday : valeur absolue de la charge d'une mole d'électrons $1 F = 9,65 \cdot 10^4$ C.mol⁻¹

Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹

Charge électrique élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

- 2.1. Calculer la quantité d'électricité Q échangée pendant une heure d'utilisation.
- 2.2. Calculer la quantité de matière d'électrons n_e échangée pendant cette durée.
- 2.3. Calculer la quantité de matière $n(\text{Pb}^{2+})$ d'ions $\text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+}$ formée pendant cette durée.
- 2.4. Calculer la concentration finale en ions $\text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+}$, notée $[\text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+}]_f$, dans le bécher (1).

3. Dosage des ions argent(I) dans le bécher (2)

On désire maintenant déterminer la valeur de la concentration finale en ions $\text{Ag}_{(\text{aq})}^+$, notée $[\text{Ag}_{(\text{aq})}^+]_f$ en réalisant le dosage des ions $\text{Ag}_{(\text{aq})}^+$ présents dans le bécher (2).

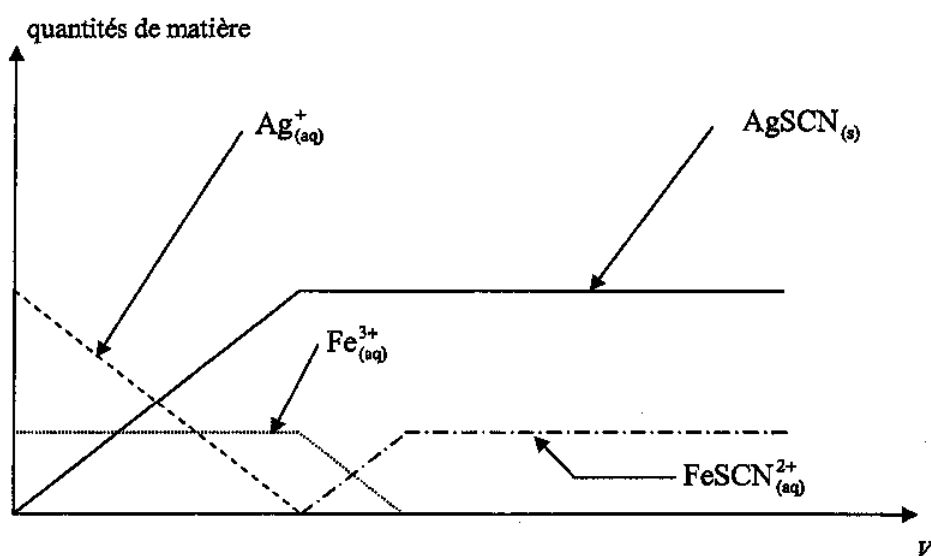
3.1. Réflexions sur le protocole expérimental

On dispose d'une solution contenant des ions $\text{Ag}_{(aq)}^+$ et des ions $\text{Fe}_{(aq)}^{3+}$, on ajoute progressivement à ce mélange une solution contenant des ions thiocyanate $\text{SCN}_{(aq)}^-$.

Les réactions possibles sont les suivantes :

- réaction (a) : $\text{Ag}_{(aq)}^+ + \text{SCN}_{(aq)}^- = \text{AgSCN}_{(s)}$; le précipité formé est blanc.
- réaction (b) : $\text{Fe}_{(aq)}^{3+} + \text{SCN}_{(aq)}^- = \text{FeSCN}_{(aq)}^{2+}$; le composé formé est rouge sang.

Un logiciel permet de simuler les quantités de matière des espèces présentes dans la solution au fur et à mesure de l'ajout d'un volume V de solution de thiocyanate de potassium ($\text{K}_{(aq)}^+ + \text{SCN}_{(aq)}^-$).



3.1.1. Les réactions (a) et (b) ne se déroulent pas simultanément. Justifier cette affirmation en indiquant laquelle se déroule en premier.

3.1.2. Cette méthode permet de titrer les ions $\text{Ag}_{(aq)}^+$. Indiquer comment est repérée l'équivalence de ce dosage.

3.1.3. Ce titrage est-il un titrage direct ou indirect des ions $\text{Ag}_{(aq)}^+$? Justifier la réponse.

3.2. Application aux ions $\text{Ag}_{(aq)}^+$ contenus dans le bécher (2) après une heure d'utilisation de la pile

On prélève un volume $V_p = 20,0$ mL de la solution contenue dans le bécher (2) que l'on introduit dans un erlenmeyer. On ajoute à ce prélèvement 3,0 mL de solution de sulfate de fer(III) ($2\text{Fe}_{(aq)}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$) de concentration adaptée.

Une solution de thiocyanate de potassium telle que $[\text{SCN}_{(aq)}^-]_f = 2,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$, placée dans une burette, est progressivement ajoutée au contenu de l'erlenmeyer.

L'équivalence est repérée lorsque le volume ajouté $V_{eq} = 7,5$ mL.

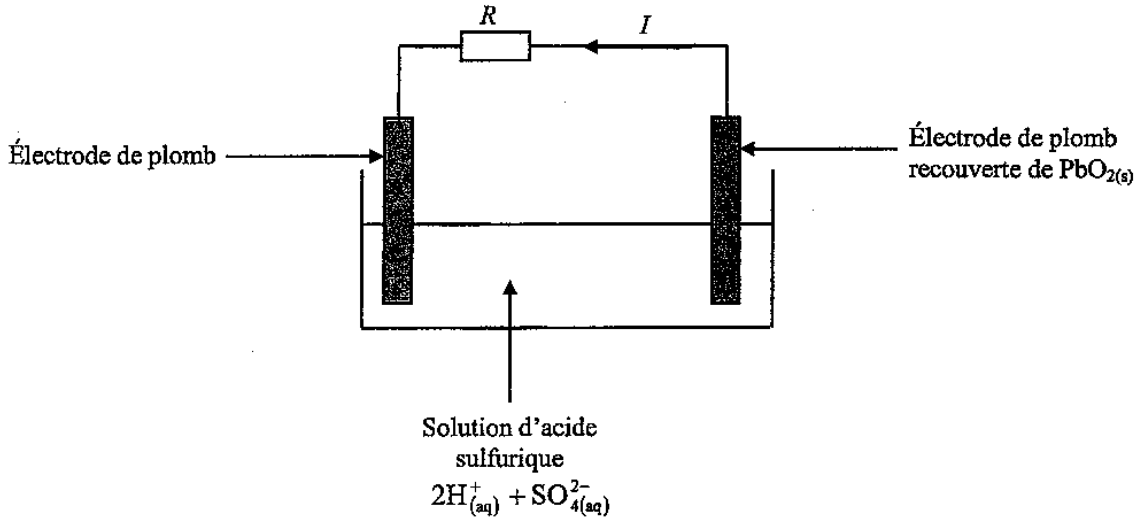
3.2.1. Avec quelle verrerie faut-il prélever le volume V_p ?

3.2.2. En déduire la valeur de $[Ag^+]_{(aq)_f}$ dans ce même bécher.

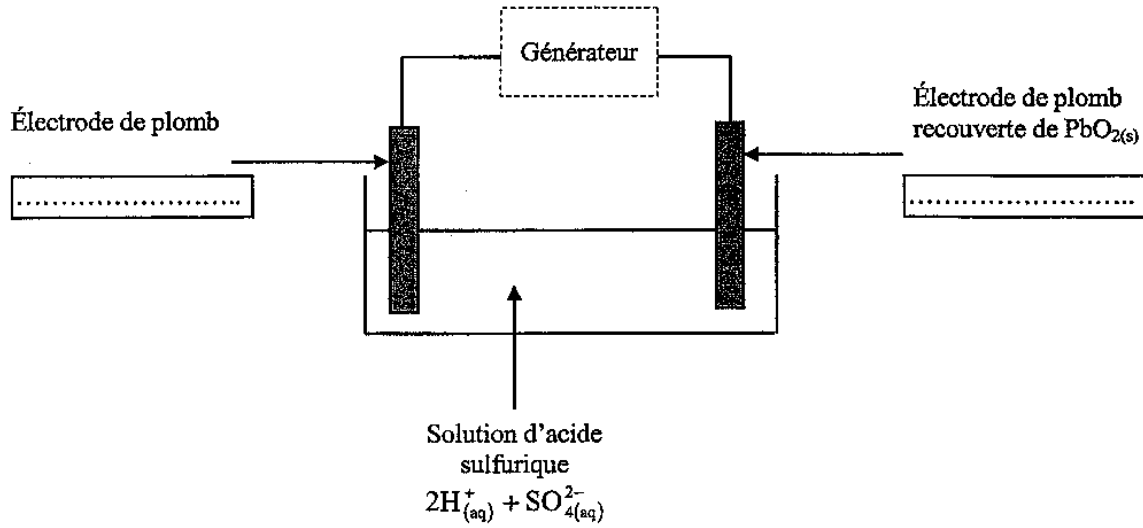
4. L'équilibre chimique est-il atteint ?

En utilisant les valeurs de $[Pb^{2+}]_{(aq)_f}$ (question 2.4) et $[Ag^+]_{(aq)_f}$ (question 3.2.2), indiquer si l'équilibre chimique est atteint ou si la pile continue de fournir du courant.

ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)

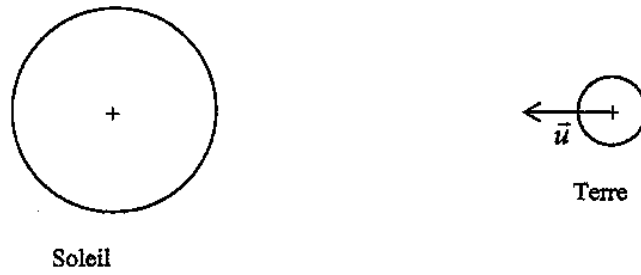


ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)



ANNEXE 3 (à rendre avec la copie)

Schéma du système Terre-Soleil



ANNEXE 4 (à rendre avec la copie)

Spectre obtenu

