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

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 $\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t}$.

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 :

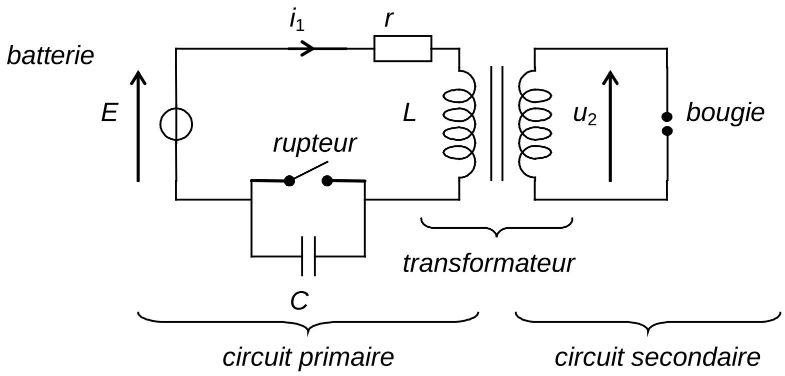

Figure 3

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 : $u_2 = \alpha \dfrac{di_1}{dt}$, 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 :

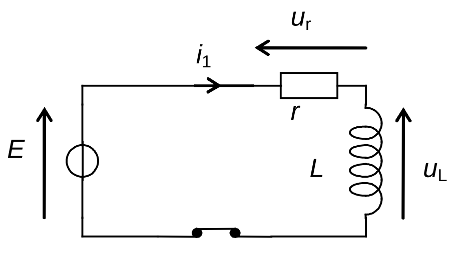

Figure 4

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

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 :

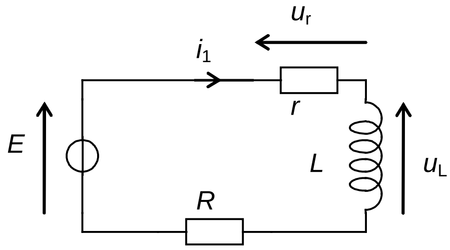

Figure 5

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.

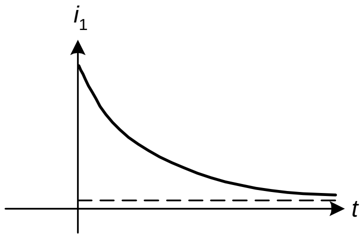

Figure 6.a

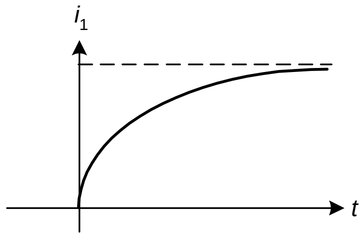

Figure 6.b

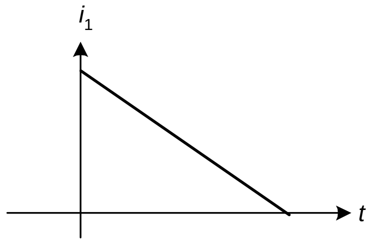

Figure 6.c

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 :

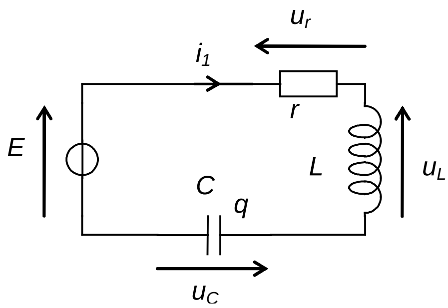

Figure 8

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 :*

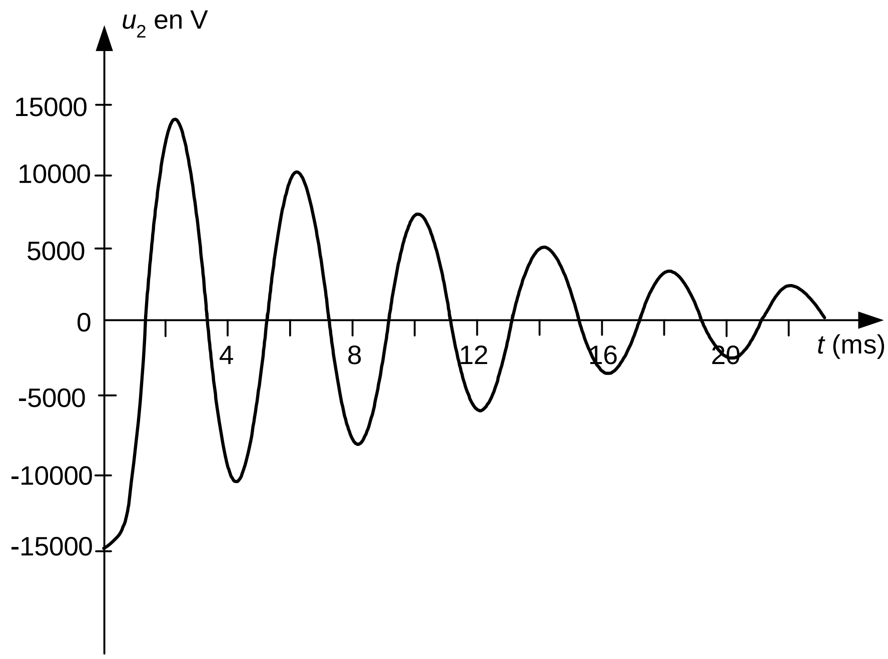

Figure 9

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.

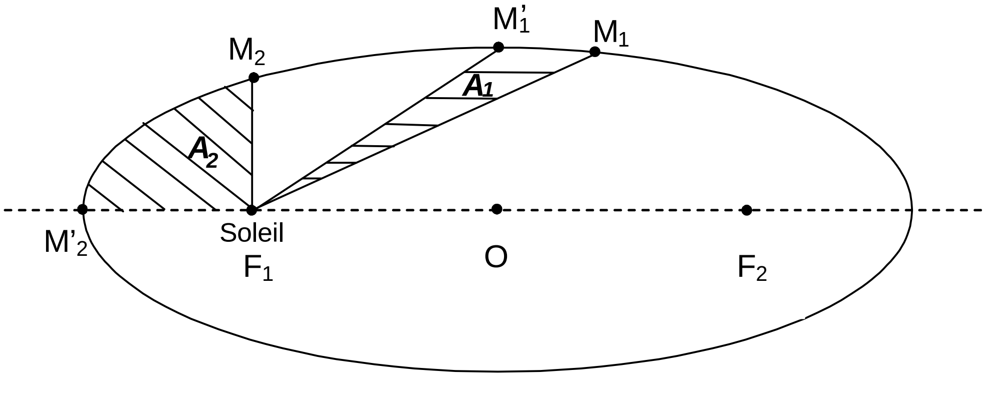

Figure 10

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

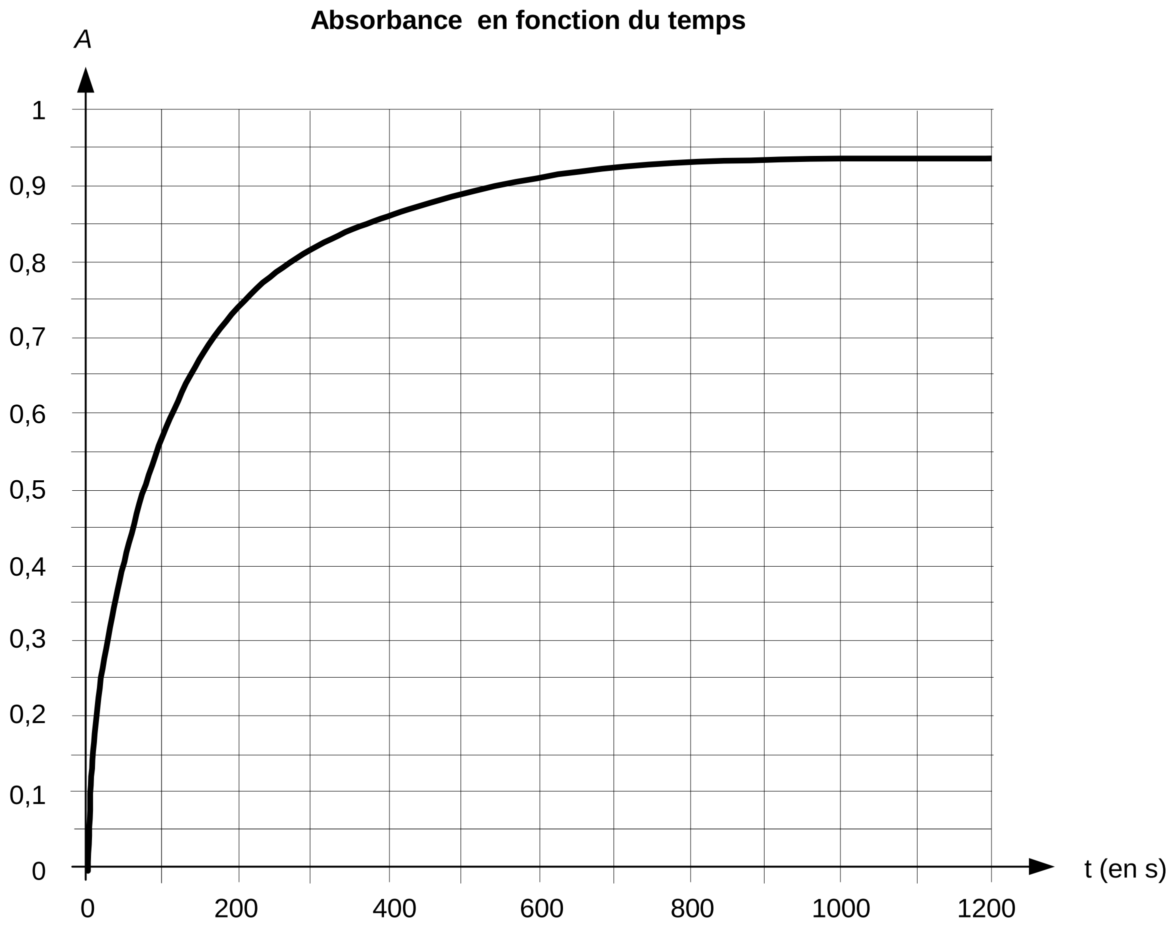

Figure 1

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

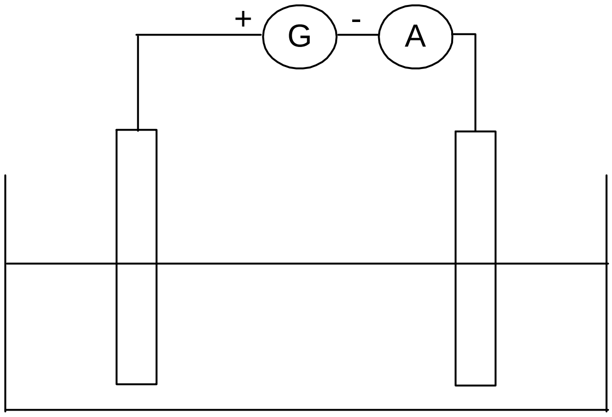

Figure 2

ANNEXE DE L'EXERCICE II

Question 1.2.3.

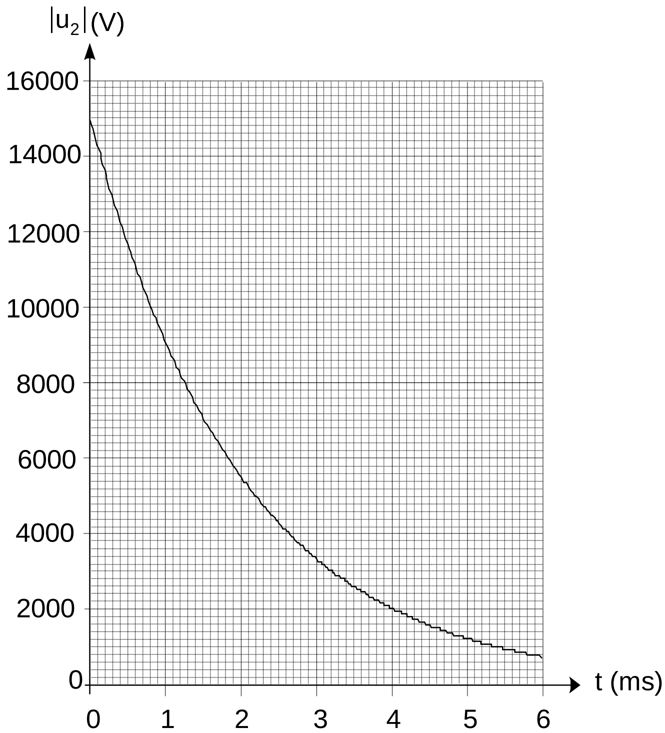

Figure 7

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III

Questions 1.2.1 et 1.2.4.

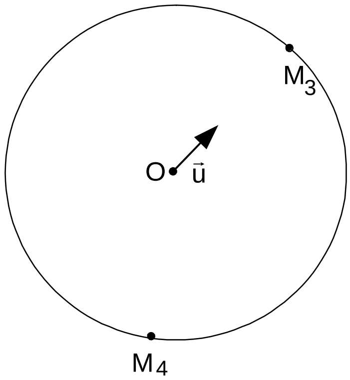

Figure 11

Questions 1.2.6. et 1.2.7.

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

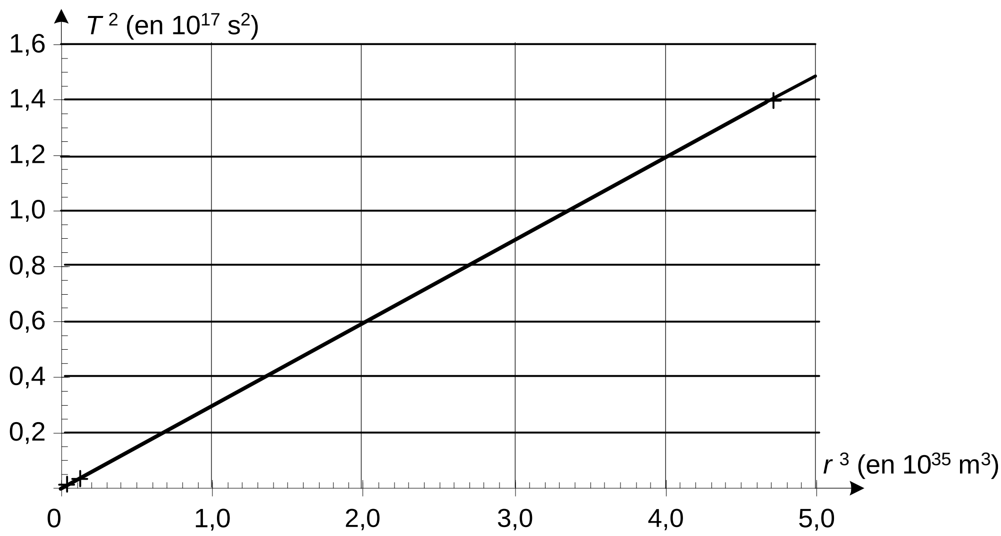

Figure 12