

Obligatoire

SESSION 2006

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

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

L'usage de la calculatrice est autorisé.

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

Ce sujet comporte 1 annexe à rendre avec la copie en fin d'épreuve.

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

Exercice n°1 : Mission sur Mars

Exercice n°2 : Décharge d'un condensateur

Exercice n°3 : Étude d'une réaction d'estérification.

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 (7 points)

MISSION SUR MARS

Un des grands défis de ce siècle (ou du suivant ...) sera d'envoyer une mission d'exploration humaine sur la planète Mars. Le but de cet exercice est d'étudier quelques uns des nombreux problèmes à résoudre avant de pouvoir effectuer une telle mission.

Les trois parties de ce problème sont indépendantes l'une de l'autre.

1. MISE EN ORBITE

On peut imaginer une base relais (pour le matériel comme pour les communications avec la Terre) sur Phobos, un des satellites de Mars.

Dans cette première partie, nous allons étudier le mouvement de ce satellite.

On supposera que tous les objets étudiés sont à répartition sphérique de masse.

Données : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$
Distance entre le centre de Mars et celui de Phobos : $r = 9,38 \cdot 10^3 \text{ km}$
Masse de Mars : $m_M = 6,42 \cdot 10^{23} \text{ kg}$
La masse de Phobos sera notée m_P
Période de rotation de Mars : $T_M = 24\text{h } 37\text{min}$

On supposera que Phobos a un mouvement circulaire uniforme autour de Mars de vitesse v et on supposera que l'on travaille dans un référentiel galiléen centré sur Mars.

- 1.1. Donner la définition d'un mouvement circulaire uniforme.
- 1.2. Représenter le point d'application, la direction et le sens du vecteur accélération de Phobos sur un schéma.
- 1.3. Donner l'expression (sans justification) de la norme du vecteur accélération de Phobos en fonction de v et r .
- 1.4. Appliquer la deuxième loi de Newton à ce satellite.
- 1.5. En déduire que l'expression de sa vitesse de révolution autour de Mars est : $v = \sqrt{\frac{Gm_M}{r}}$
- 1.6. Déterminer l'expression reliant v , r et T_P (T_P étant la période de révolution de Phobos autour de Mars).
- 1.7. Montrer que $\frac{T^2}{r^3} = 9,22 \cdot 10^{-13} \text{ s}^2.\text{m}^{-3}$
- 1.8. En déduire la valeur de T_P .
- 1.9. Dans quel plan faut-il placer un satellite pour qu'il soit immobile par rapport à la base relais sur Mars? Justifier votre réponse sans calcul.
- 1.10. Quelle est la période T_S de révolution d'un tel satellite ?

2. PROBLÈME ÉNERGÉTIQUE

Une fois sur la planète, les explorateurs devront pouvoir trouver une source fiable d'énergie.

Une possibilité serait d'utiliser du deutérium et du tritium pour alimenter un réacteur de fusion nucléaire.

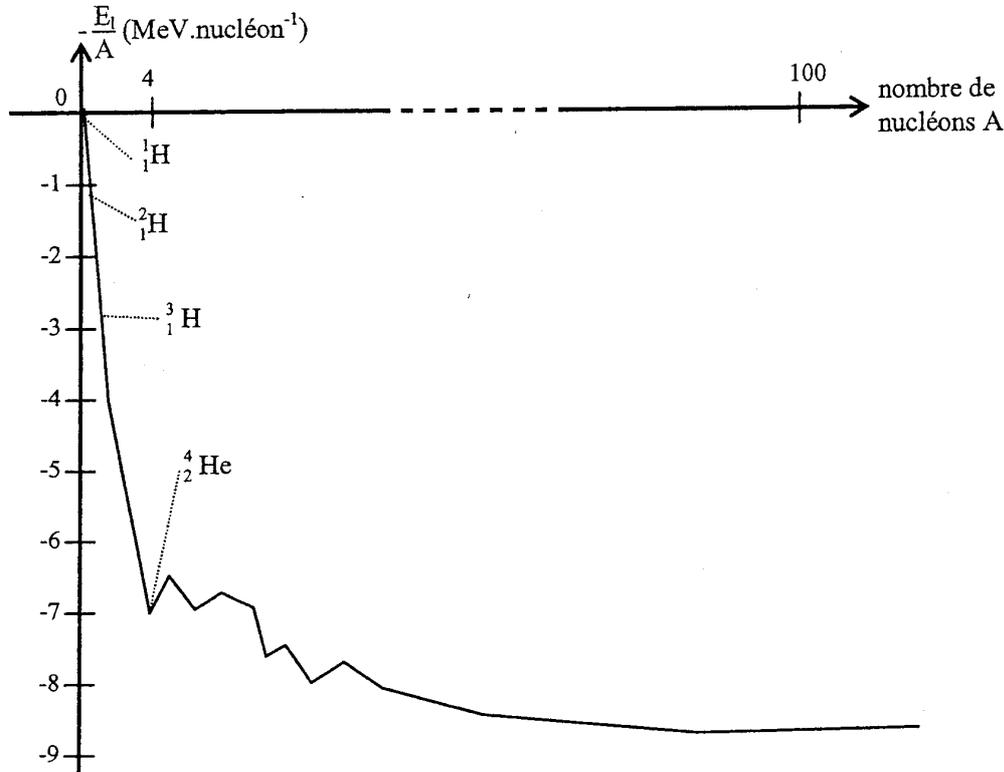
2.1. Intérêt de la réaction de fusion.

2.1.1. L'hydrogène ^1_1H , le deutérium ^2_1H et le tritium ^3_1H sont des isotopes. Donner la définition du mot isotope.

On étudiera la réaction de fusion suivante : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

- 2.1.2. En utilisant la courbe d'Aston ci-dessous, montrer **qualitativement** que la fusion du deutérium et du tritium dégage de l'énergie.
On rappelle que E_l/A est l'énergie de liaison par nucléon.

Courbe d'Aston



2.2. Étude quantitative de la réaction de fusion : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

Données : nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
 masse d'un neutron : $m(\text{n}) = 1,674929 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00869 \text{ u}$
 $m({}^2_1\text{H}) = 3,3435 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 2,01355 \text{ u}$
 $m({}^3_1\text{H}) = 3,01550 \text{ u}$
 $m(\text{He}) = 4,00150 \text{ u}$
 $c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
 Conversion : $1 \text{ u} = 1,66050 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

2.2.1. Montrer que le défaut de masse de la réaction de fusion étudiée vaut $\Delta m = -0,01886 \text{ u}$.

2.2.2. Rappeler la relation d'équivalence masse - énergie.

2.2.3. Montrer que l'énergie libérée par la réaction de formation d'un noyau d'hélium est $E = -2,81 \cdot 10^{-12} \text{ J}$.

2.2.4. Calculer le nombre de noyaux contenus dans $m = 100 \text{ g}$ de deutérium.

2.2.5. En déduire que la fusion de $m = 100 \text{ g}$ de deutérium avec la quantité correspondante de tritium, libère une énergie $E_l = -8,40 \cdot 10^{13} \text{ J}$.

3. PROBLÈME DE L'AIR

Il est inconcevable d'emporter les quantités d'air suffisantes pour la durée de l'exploration de la planète. L'atmosphère de Mars contient surtout du dioxyde de carbone (95,3%) impropre à la respiration. Il est nécessaire de fabriquer le dioxygène sur place. Une solution envisageable est l'électrolyse de l'eau extraite du sol.

3.1. Principe de l'électrolyse de l'eau.

La réaction a pour équation : $2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{O}_{2(g)} + 2 \text{H}_{2(g)}$

3.1.1. Les deux couples mis en jeu étant $\text{O}_{2(g)} / \text{H}_2\text{O}_{(l)}$ et $\text{H}_2\text{O}_{(l)} / \text{H}_{2(g)}$, compléter le schéma de principe de l'électrolyseur (**donné en Annexe et à rendre avec la copie**) en indiquant :

- le nom des électrodes
- la nature de la réaction (oxydation ou réduction) pour chaque électrode.

3.1.2. Rappeler, sans le justifier, si cette électrolyse est une réaction spontanée ou au contraire forcée.

3.2. Étude quantitative de l'électrolyse.

On souhaite produire par électrolyse, le dioxygène nécessaire à la respiration d'un spationaute.

Données : pour les gaz $V_m = 25 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ à 25°C sous 10^5 Pa
1 faraday (F) = $96\,500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

3.2.1. Chaque minute, nos poumons envoient un volume $v = 0,30 \text{ L}$ de dioxygène vers les tissus (respiration normale). Calculer la quantité de matière n_{O_2} de dioxygène envoyée par les poumons pendant une heure (on suppose que la température est de 25°C).

3.2.2. Cette quantité de dioxygène est produite grâce à l'électrolyse étudiée dans la première partie. Montrer, en s'aidant au besoin d'un tableau d'avancement d'une demi-réaction, que la quantité de matière d'électrons échangée vaut $n_{e^-} = 2,88 \text{ mol}$.

3.2.3. En déduire la quantité d'électricité Q mise en jeu.

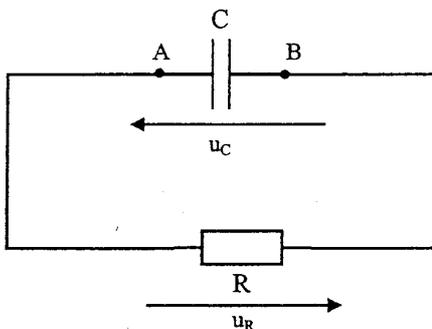
3.2.4. Quelle est l'intensité I du courant nécessaire en supposant qu'elle est constante pendant toute l'heure de fonctionnement ?

3.2.5. Si la tension aux bornes du générateur U est de $5,00 \text{ V}$, calculer l'énergie électrique, notée E_{el} , consommée pendant une heure sachant que $E_{el} = UI\Delta t$ où Δt est la durée de fonctionnement.

Exercice n°2 (5 points)

DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR

On envisage le circuit suivant constitué d'un conducteur ohmique de résistance R et d'un condensateur de capacité C .



À l'instant $t = 0$, le condensateur est chargé sous la tension $U_0 = 10 \text{ V}$.

On notera :

- u_C la tension aux bornes du condensateur à l'instant t , et l'on a $u_C(0) = U_0$
- u_R la tension aux bornes du conducteur ohmique à l'instant t ,
- i l'intensité du courant à l'instant t . Cette intensité a été comptée positivement au cours de la charge du condensateur,
- q_A la charge de l'armature A du condensateur à l'instant t .

1. ÉTABLISSEMENT DE L'ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE LORS DE LA DECHARGE

1.1. Quelle relation lie u_R et u_C ?

1.2. Rappeler la relation qui lie la charge q_A de l'armature A à la tension u_C .

1.3. Quel est le signe de i ? Établir la relation liant l'intensité i du courant à la tension u_C .

1.4. Montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de u_C peut s'écrire :

$$\alpha u_C + \frac{du_C}{dt} = 0 \text{ où } \alpha \text{ est une constante non nulle.}$$

Donner alors l'expression de α en fonction de R et C .

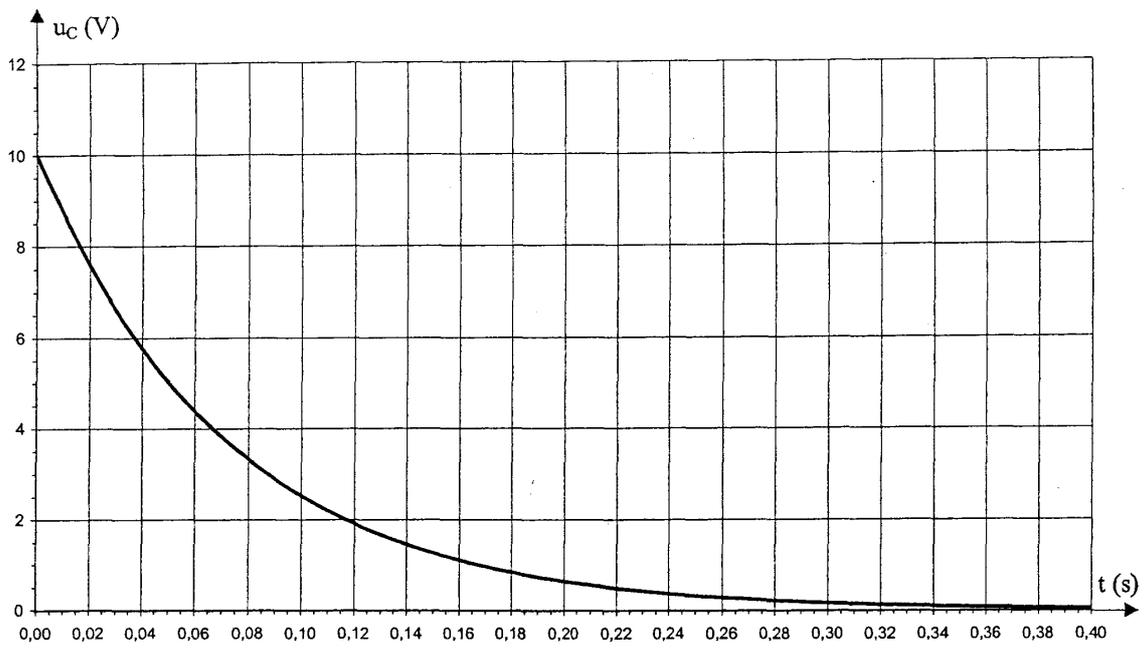
2. SOLUTION DE L'ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE

Une solution de l'équation différentielle peut s'écrire $u_C = Ae^{-\beta t}$ où A et β sont deux constantes positives non nulles.

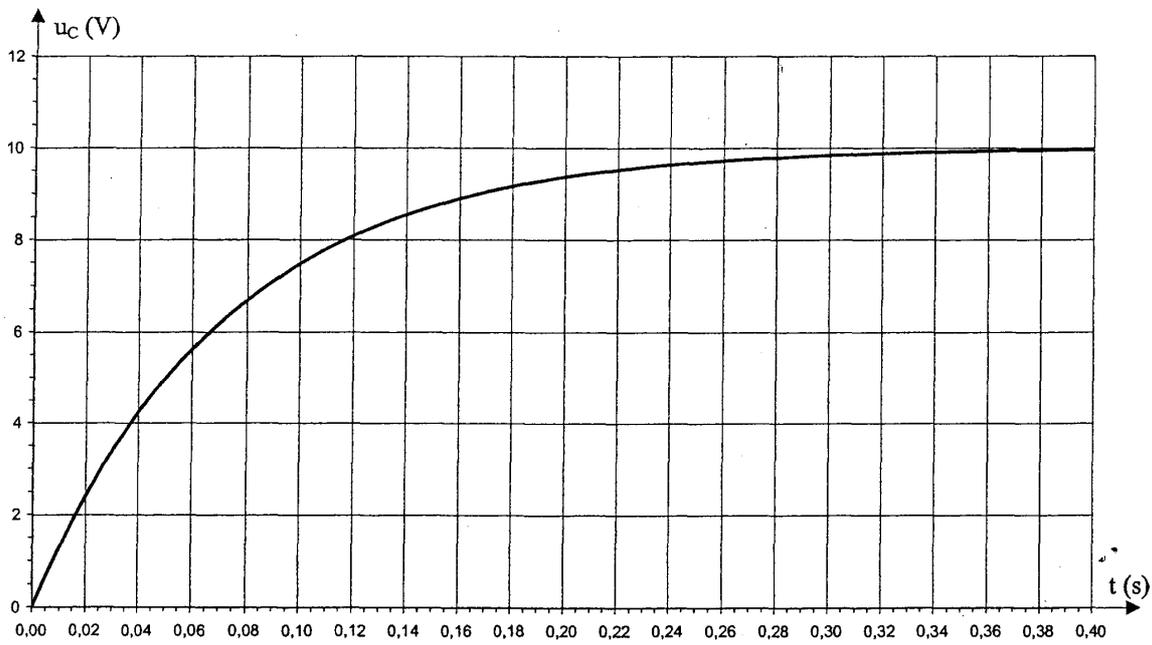
2.1. En utilisant l'équation différentielle, montrer que $\beta = \frac{1}{RC}$.

2.2. Déterminer la valeur de A .

2.3. Indiquer parmi les **courbes 1 et 2** données ci-après, celle qui peut représenter u_C . Justifier la réponse.



Courbe 1

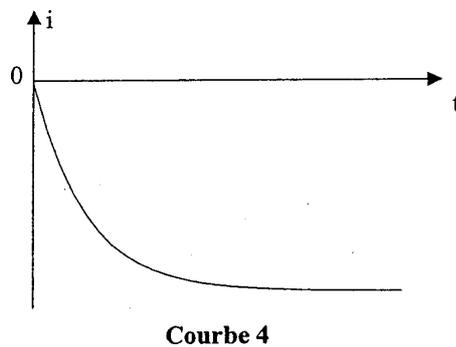
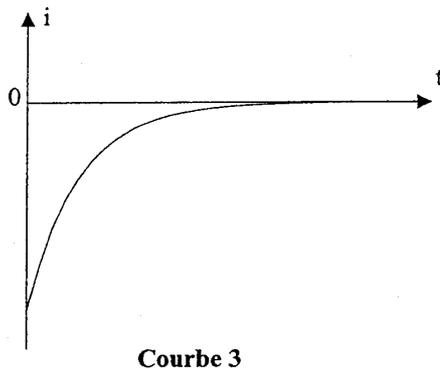
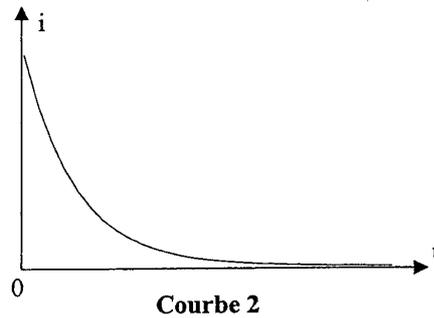
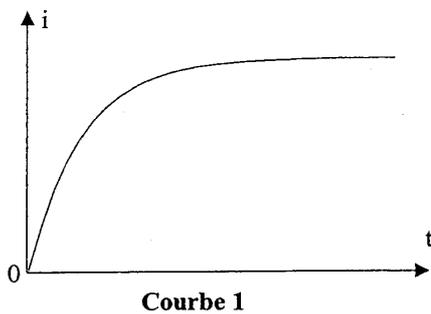


Courbe 2

- 2.4. Montrer par analyse dimensionnelle que τ a la même unité qu'une durée.
 2.5. Donner l'expression littérale de la constante de temps τ .
 2.6. Déterminer sur la courbe choisie la valeur de la constante de temps τ du circuit.
 2.7. Sachant que $R = 33 \Omega$, en déduire la valeur de la capacité C du condensateur.

3. INTENSITÉ DU COURANT

- 3.1. En utilisant les résultats précédents, montrer que $i = -\frac{U_0}{R} e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)}$.
 3.2. Déterminer la valeur I_0 de i à $t = 0$.
 3.3. En justifiant la réponse, indiquer parmi les quatre courbes ci-dessous celle qui peut représenter i .



- 3.4. Calculer la valeur de i pour $t = 0,50$ s.
 3.5. Déterminer la valeur de u_C à la même date.
 3.6. Le condensateur est-il déchargé ? Justifier la réponse.

4. ÉNERGIE EMMAGASINÉE DANS LE CONDENSATEUR

- 4.1. Rappeler l'expression de l'énergie emmagasinée dans le condensateur du montage étudié en fonction de sa capacité et de la tension u_C à ses bornes, puis en fonction de sa capacité et de la charge q_A de son armature A.
 4.2. On remplace ce condensateur par un autre condensateur de capacité C' supérieure à C . Ce condensateur est chargé sous la même tension U_0 . L'énergie emmagasinée dans ce condensateur est-elle supérieure à la précédente ?

Exercice n°3 (4 points)

ÉTUDE D'UNE RÉACTION D'ESTÉRIFICATION

1. QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

La réaction étudiée met en jeu l'acide éthanoïque (A) de formule $\text{CH}_3\text{-COOH}$ et un alcool (B), on observe la formation d'un ester (E) de formule $\text{CH}_3\text{COO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ et de l'eau.

La réaction modélisant la transformation étudiée vaut : $A + B = E + \text{H}_2\text{O}$

- 1.1. Donner la formule semi-développée de l'alcool (B).
- 1.2. Donner le nom de l'ester (E).
- 1.3. Rappeler les principales caractéristiques d'une réaction d'estérification.

2. LE PROTOCOLE DE SUIVI DE LA RÉACTION

Dans un bécher placé dans de l'eau glacée, on introduit 0,38 mol d'acide (A) et 0,38 mol d'alcool (B) ainsi que quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. Le volume du mélange est de 50 mL.

Après agitation, on prélève à dix reprises un volume $V_0 = 5$ mL de ce mélange, que l'on introduit dans 10 tubes à essai numérotés de 0 à 9.

Le tube n° 0 est placé dans la glace, les tubes numérotés de 1 à 9 sont munis d'un réfrigérant à air, puis introduits dans un bain thermostaté à 60 °C. On déclenche alors un chronomètre.

À l'instant $t_1 = 2$ minutes, le tube n°1 est placé dans de la glace.

Après quelques minutes, les ions oxonium H_3O^+ (provenant de l'acide sulfurique) et l'acide éthanoïque restant sont dosés par une solution d'hydroxyde de sodium (soude) de concentration appropriée. On peut ainsi déterminer la quantité d'acide éthanoïque contenue dans ce tube.

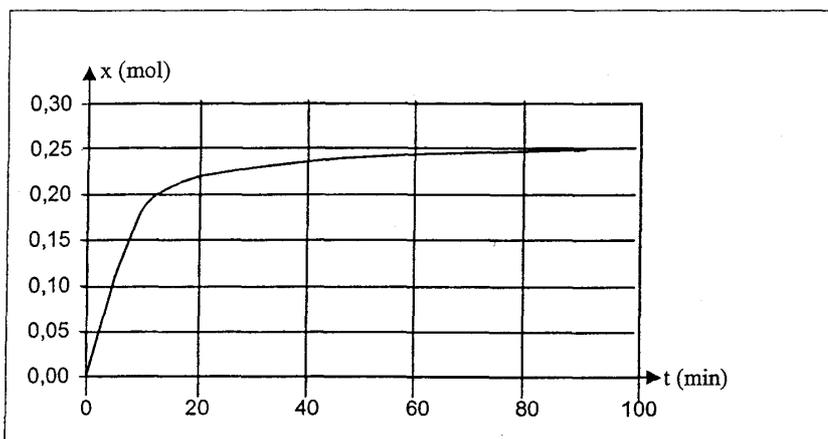
On procède de même pour les autres tubes, le contenu du tube n° 9 étant dosé à une date $t_9 = 90$ min.

- 2.1. Quel est le rôle joué par l'acide introduit dans le mélange initial ?
- 2.2. Pourquoi les tubes numérotés de 1 à 9 sont-ils placés dans un bain thermostaté à une température supérieure à celle du laboratoire ?
- 2.3. Expliquer pourquoi la quantité de soude nécessaire au dosage du tube n° 1 est supérieure à la quantité de soude nécessaire au dosage du tube n° 9.
- 2.4. À chaud, l'ester formé E pourrait réagir également avec les ions hydroxyde.
 - 2.4.1. Quelle serait l'équation chimique associée à cette transformation ?
 - 2.4.2. Rappeler les principales caractéristiques d'une réaction d'hydrolyse basique d'un ester.

3. AVANCEMENT DE LA RÉACTION

3.1. Déterminer l'avancement maximal x_{\max} de la réaction d'estérification étudiée (un tableau d'avancement sera éventuellement utilisé).

3.2. L'étude précédente permet d'obtenir les variations de l'avancement x de cette réaction en fonction du temps. On peut alors tracer la courbe suivante :



3.2.1. Déterminer graphiquement la valeur de l'avancement final x_f de la réaction.

3.2.2. Définir et calculer le taux d'avancement de cette réaction.

4. CINÉTIQUE ET ÉTAT D'ÉQUILIBRE

4.1. À la réaction étudiée $A_{(l)} + B_{(l)} = E_{(l)} + H_2O_{(l)}$, on associe la constante de réaction $K = 3,7$. Donner l'expression de K .

4.2. A l'instant $t_1 = 4$ min, la valeur de l'avancement x de la réaction est $x = 0,125$ mol.

4.2.1. Quelle est la composition du mélange à cet instant ? (Un tableau d'avancement pourra éventuellement être utilisé)

4.2.2. En cinétique, la date t_1 porte un nom particulier, quel est ce nom ?

4.2.3. Calculer le quotient de réaction Q_r pour ce mélange.

4.2.4. Justifier que le mélange est encore en évolution à la date t_1 .

4.3. Pour une date t' supérieure à 1 heure, le système chimique est en équilibre dynamique. Expliquer cette expression. Que vaut alors le quotient de réaction ?

ANNEXE (À RENDRE AVEC LA COPIE)

Schéma de principe de l'électrolyseur.

