

Physique - Chimie

DEVOIR SUR TABLE N° 4

TOUT DOCUMENT INTERDIT.

L'usage de calculatrices scientifiques à mémoire est autorisé.

Les résultats numériques doivent être précédés d'un **calcul littéral**.

La présentation et la rédaction font partie du sujet et interviennent dans la notation.

L'épreuve est **notée sur 16 points** auxquels s'ajouteront les points d'épreuve pratique sur 4 points.

I] CHIMIE : sur 6,5 points. *CONSTANTE D'ÉQUILIBRE ET TAUX D'AVANCEMENT FINAL*

1. La transformation chimique étudiée.

L'acide éthanóique, de formule $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, également appelé acide acétique, réagit de façon limitée avec l'eau.

1.1. Écrire l'équation chimique de la réaction de l'éthanóique sur l'eau, puis identifier les deux couples acide / base mis en jeu.

1.2. Exprimer la constante d'équilibre K associée à l'équation de cet équilibre chimique.

2. Étude pH-métrique.

Une solution S d'acide éthanóique, de concentration molaire en soluté apporté : $c_1 = 2,70 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et de volume : $V_1 = 100 \text{ mL}$ à un pH de 3,70 à 25,0°C.

2.1. Déterminer la quantité de matière d'acide éthanóique apporté, soit n_1 .

2.2. Construire le tableau d'avancement de la réaction de l'éthanóique sur l'eau, en y faisant figurer n_1 , x_{max} et x_f .

2.3. Exprimer, puis calculer numériquement, l'avancement maximal x_{max} de la transformation. *Justifier la réponse.*

2.4. Dédurre, de la mesure du pH, la concentration molaire volumique finale en ions oxonium dans la solution S .

2.5. Exprimer, puis calculer numériquement, l'avancement final expérimental de la transformation.

2.6. Donner l'expression littérale du taux d'avancement final τ_1 de la transformation. *Faire l'application numérique et conclure.*

2.7. 2.7.1. Exprimer, puis calculer numériquement, les concentrations molaires finales en ions éthanóate et en acide éthanóique.

2.7.2. Calculer une valeur numérique de la constante d'équilibre K de la réaction de l'éthanóique sur l'eau.

3. Étude conductimétrique.

On mesure ensuite, à 25,0°C, la conductivité d'une solution S' d'acide éthanóique de concentration en soluté apporté : $c_2 = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le conductimètre indique : $\sigma = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$.

3.1. Donner l'expression littérale de la conductivité σ de la solution S' en fonction des concentrations molaires finales en ions oxonium et en ions éthanóate.

3.2. Déterminer les valeurs des concentrations molaires finales en ions oxonium et éthanóate en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, puis en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données : $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,9 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{éthanóate}} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

3.3. L'expérimentateur affirme que dans le cas présent, la solution d'acide éthanóique est suffisamment concentrée pour pouvoir faire les approximations suivantes :

➤ Approximation 1 : la concentration molaire finale en ions éthanóate est négligeable devant la concentration initiale en acide éthanóique. Ceci se traduit par l'inégalité : $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{\text{aq}} < c_2 / 50$.

➤ Approximation 2 : la concentration molaire finale en acide éthanóique est quasiment égale à la concentration molaire initiale en acide éthanóique : $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_{\text{f}} \cong c_2$.

3.3.1. Comparer les valeurs de c_2 et $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{\text{aq}}_{\text{f}}$. *L'approximation n° 1 est-elle justifiée ?*

3.3.2. En supposant que l'approximation n° 2 soit vérifiée, que peut-on dire de la dissociation de l'acide dans l'eau ? *Justifier la réponse.*

3.3.3. En tenant compte de l'approximation n° 2, calculer la valeur de la constante d'équilibre K' associée à l'équation chimique de la réaction de l'éthanóique sur l'eau.

3.3.4. Calculer une valeur du taux d'avancement final τ_2 de la transformation.

4. Comparaison des résultats obtenus.

On vient d'étudier deux solutions d'acide éthanóique de concentrations en soluté apporté différentes.

4.1. La constante d'équilibre dépend-elle de la concentration en acide éthanóique apporté ? *Justifier la réponse.*

4.2. Le taux d'avancement final d'une transformation chimique limitée dépend-il de l'état initial du système chimique ? *Justifier la réponse.*

Tous les extraits cités sont tirés de « *L'Univers des étoiles* » de L. BOTTINELLI et J.L. BERTHIER.

1. « Remontons l'écoulement du temps jusqu'à l'instant le plus originel de l'histoire universelle. Au début était la lumière ! Inconsistance du monde contenant une incroyable, une fantastique quantité d'énergie. Tout ce que l'Univers compte actuellement de galaxies, d'étoiles, de planètes, d'êtres ou d'objets étaient là, en germe, sous forme d'énergie immatérielle. La théorie du Big Bang, sans cesse réaffirmée, explique que, durant le premier quart d'heure de ce chaos énergétique très agité, sont nées les particules de matière fondamentales : protons, neutrons, électrons... Après les particules de base, mais bien plus tard, des galaxies prennent forme, puis des étoiles apparaissent dans les galaxies. Par le truchement de la nucléosynthèse, la variété des éléments chimiques voit enfin le jour dans les étoiles... Ainsi, l'Univers s'est développé transformant son capital-initial-énergie en capital-matière... ».

1.1. À quelle équivalence fait allusion le texte, en particulier dans la dernière phrase ?

1.2. Donner une relation permettant de définir cette équivalence. Préciser la signification de chaque terme employé dans cette relation ainsi que son unité dans le système international.

2. « Au bout du premier quart d'heure, lorsque la température a chuté jusqu'à 300 millions de degrés environ, les protons et les neutrons s'associent en noyaux légers, essentiellement en noyaux d'hydrogène, de deutérium et d'hélium... 30 millions d'années plus tard, c'est au cœur même des étoiles que la nature va poursuivre son œuvre. Cela commence par la fusion thermonucléaire de l'hydrogène en hélium. Cette transformation occupe l'essentiel de la vie des étoiles et ne nécessite, pour ainsi dire, qu'une température de 10 millions de degrés. Son bilan s'écrit :



2.1. Que représente $\text{}^0_1\text{e}$?

2.2. Énoncer les lois de conservation vérifiées par l'équation nucléaire ci-dessus.

2.3. Calculer la perte de masse lors de cette réaction nucléaire.

3. « Sur la fin de leur existence (stade de dilatation de l'enveloppe extérieure ou géante rouge), une contraction brutale du cœur des étoiles, accompagnée d'une forte élévation de température (jusqu'à 100 millions de degrés), permet la formation d'éléments plus lourds. Le processus qui conduit au carbone par fusion de l'hélium est appelé « triple alpha » et son bilan s'écrit : $3 \text{}^4_2\text{He} \rightarrow \text{}^{12}_6\text{C} + \gamma$ ».

Qu'est-ce qu'une particule alpha ? Justifier le nom du processus.

4. « ... Seules les étoiles de masse supérieure ou égale à trois masses solaires, atteignant des températures plus élevées, ont le privilège de créer des éléments encore plus lourds. À 800 millions de degrés, le carbone fusionne en magnésium ($Z = 12$), à 1 milliard de degrés l'oxygène ($Z = 8$) fusionne en silicium ($Z = 14$) et à 4 milliards de degrés, le silicium fusionne en fer ($Z = 26$) ... ».

4.1. Définir l'énergie de liaison d'un noyau.

4.2. Calculer l'énergie de liaison par nucléon d'un noyau de carbone 12.

4.3. On donne les énergies de liaison par nucléon de trois noyaux :



Parmi ces trois noyaux, lequel est le plus stable ? Justifier.

4.4. En utilisant la courbe d'Aston, donnée page 3, répondre aux questions suivantes.

4.4.1. Comment évolue la stabilité d'un noyau quand son nombre de nucléons augmente ? Distinguer trois domaines.

4.4.2. Quels sont les deux types de réactions nucléaires qui permettent d'accéder au maximum de stabilité ? Préciser dans quels domaines ont lieu ces réactions.

4.4.3. Justifier pourquoi la synthèse des éléments chimiques au cœur des étoiles s'arrête à l'élément fer.

5. « ... La synthèse des noyaux plus lourds que le fer se réalise par un processus de capture de neutrons lors de l'explosion finale d'une grosse étoile en supernova. Deux scénarios peuvent se produire :

1^{ère} possibilité : le noyau tout neuf, riche d'un neutron supplémentaire, est stable et peut éventuellement capturer d'autres neutrons.

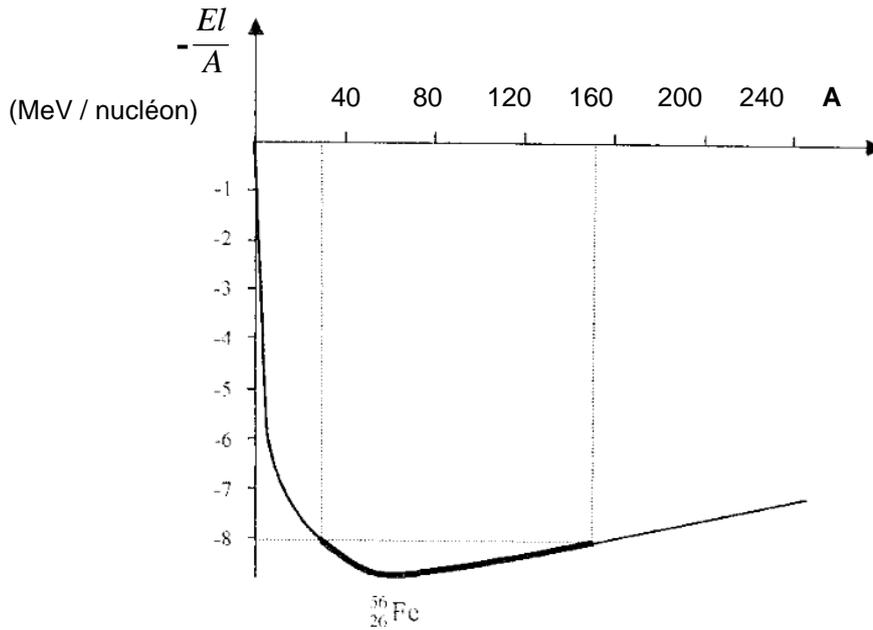
2^{ème} possibilité : le noyau nouvellement créé est instable et subit une désintégration β^- ».

5.1. Le premier scénario permet-il de créer des éléments chimiques différents ? Justifier.

5.2. Soit $\text{}^A_Z\text{X}$, le noyau nouvellement créé dans le second scénario et Y , son noyau fils. Écrire l'équation générale de sa désintégration en fonction de \mathbf{A} et \mathbf{Z} .

5.3. Peut-on, a priori, obtenir tous les éléments chimiques de numéro atomique supérieur à \mathbf{Z} ? Justifier.

Courbe d'Aston



Données

Célérité de la lumière : $c = 2,998.10^8 \text{ m.s}^{-1}$; masse de l'électron : $m_e = 9,11.10^{-31} \text{ kg}$.

Masse d'un noyau d'hydrogène 1, ^1_1H : $m_H = 1,6726.10^{-27} \text{ kg}$.

Masse d'un noyau d'hélium 4, ^4_2He : $m_{He} = 6,6447.10^{-27} \text{ kg}$; masse de la particule 0_1e : $m_e = 9,11.10^{-31} \text{ kg}$.

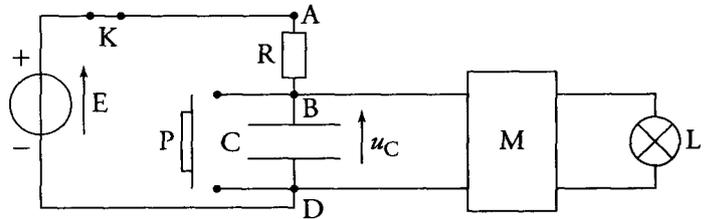
Énergie de liaison d'un noyau de carbone 12, $^{12}_6\text{C}$: $E_l = 92,2 \text{ MeV}$. L'électron volt : $1 \text{ eV} = 1,602.10^{-19} \text{ J}$.

III] PHYSIQUE : sur 4,5 points. **UNE MINUTERIE**

L'objet de cet exercice est d'étudier le principe de fonctionnement d'une minuterie permettant d'éteindre une lampe automatiquement au bout d'une durée t_0 réglable.

Le montage du circuit électrique, donné ci-contre, est constitué :

- d'un générateur idéal de tension, de f.e.m. : $E = 30,0 \text{ V}$;
- d'un interrupteur **K** ;
- d'un conducteur ohmique de résistance **R** ;
- d'un condensateur de capacité **C** ;
- d'un bouton poussoir **P** qui joue le rôle d'un interrupteur : il est fermé seulement quand on appuie dessus ;
- d'un composant électronique **M** qui permet l'allumage de la lampe **L** tant que la tension aux bornes du condensateur est inférieure à une tension limite, caractéristique du composant, notée U_l (dans tout l'exercice on fixera U_l à une valeur constante égale à $20,0 \text{ V}$).



Le composant électronique **M** possède une alimentation électrique propre (non représentée sur le schéma) qui lui fournit l'énergie nécessaire à l'allumage de la lampe. De ce fait, on admettra que le composant électronique **M** ne perturbe pas le fonctionnement du circuit **RC**, c'est-à-dire que la tension aux bornes du condensateur est identique que **M** soit présent ou non dans le circuit.

À l'instant initial ($t = 0 \text{ s}$), le condensateur est déchargé. On ferme l'interrupteur **K**, le bouton poussoir **P** est relâché.

1. Montrer que l'équation différentielle donnant les variations de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur en fonction du temps est de la forme :

$$u_C(t) + RC \frac{du_C(t)}{dt} = E.$$

2. 2.1. En vérifiant que la fonction du temps : $u_C(t) = A(1 - e^{-t/\tau})$ est solution de l'équation différentielle précédente, déterminer les expressions, en fonction des données, des constantes **A** et τ .

2.2. Quelle est la valeur de u_C en régime permanent ?

2.3. Quel est le nom donné à la constante τ ?

2.4. À l'aide d'une analyse dimensionnelle, donner l'unité de la constante τ .

3. La représentation graphique de la fonction $u_C(t)$ est donnée ci-contre. Faire apparaître sur ce graphe sans aucune justification :

- la tension E ,
- la constante τ ,
- les régimes permanent et transitoire.

4. Calculer la valeur de la constante τ pour :

$$R = 100 \text{ k}\Omega \text{ et } C = 200 \text{ }\mu\text{F}.$$

5. 5.1. Donner l'expression littérale, en fonction

de U_1 , E et τ , de la date t_0 , de fin d'allumage de la lampe, à laquelle la tension aux bornes du condensateur atteint la valeur limite U_1 .

5.2. Calculer la valeur de t_0 et vérifier la validité du résultat à l'aide du graphe $u_C(t)$ donné ci-dessus.

5.3. On a fixé U_1 à 20,0 V pour obtenir une durée d'allumage t_0 voisine de τ . Pour quelle raison choisir t_0 très supérieure à τ n'aurait pas été judicieux pour un tel montage ?

6. 6.1. Quel(s) paramètre(s) du montage peut-on modifier, sans changer le générateur, afin d'augmenter la durée d'allumage de la lampe ?

6.2. En fixant $C = 200 \text{ }\mu\text{F}$, quelle valeur doit-on donner à la résistance R pour obtenir une constante de temps d'une minute ?

7. On appuie sur le bouton poussoir.

7.1. Que vaut la tension aux bornes du condensateur ? *Justifier.*

7.2. Que se passe-t-il dans ce cas pour la lampe :

- si elle est déjà allumée ?
- si elle est éteinte ?

