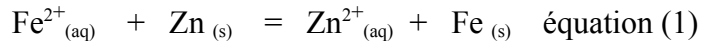


EXERCICE 1 : A PROPOS DU ZINC

(8 points)

Certaines transformations chimiques peuvent mettre en jeu la réaction modélisée par l'équation (1) :



dont la constante d'équilibre associée est : $K = 1,40 \times 10^{11}$.

Pour étudier expérimentalement des transformations mettant en jeu les espèces chimiques $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$, $\text{Zn}_{(\text{s})}$, $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$, $\text{Fe}_{(\text{s})}$ on dispose :

- d'une solution aqueuse de sulfate de fer S_1 contenant des ions $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ de concentration $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- d'une solution aqueuse de sulfate de zinc S_2 contenant des ions $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ de concentration $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Les données nécessaires à l'exploitation des expériences 1 et 2 sont rappelées ci-dessous :

- les expériences sont réalisées à une température de 25°C ;
- on se limite aux couples oxydant/réducteur suivants : $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} / \text{Fe}_{(\text{s})}$, $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})} / \text{Zn}_{(\text{s})}$; et $\text{H}^{+}_{(\text{aq})} / \text{H}_{2(\text{g})}$;
- masses molaires : $M(\text{Fe}) = 55,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

A – EXPERIENCE 1 – TRANSFORMATION SPONTANEE

A l'instant $t = 0$, on mélange dans un grand bécher 100 mL de la solution S_1 , 200 mL de la solution S_2 , 5,56 g de fer et 6,54 g de zinc, puis on agite.

La transformation chimique de ce système peut être modélisée par l'équation (1).

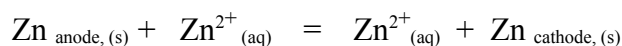
- 1) Écrire les demi-équations électroniques qui conduisent à cette équation.
- 2) Déterminer les quantités de matière d'ions fer (II) et d'ions zinc (II) introduites initialement.
- 3) Le système chimique ainsi créé évolue spontanément. Une analyse du système permet d'obtenir des histogrammes qui donnent les concentrations en ions fer (II) et en ions zinc (II) pour différents états du système. Les trois histogrammes représentés sur les figures 1 à 3 (**annexe à rendre avec la copie**) correspondent chacun à un état du système lors de son évolution.
 - a) Calculer le quotient de réaction associé à l'équation (1) à l'état initial. Quel histogramme correspond à cet état ? Justifier.
 - b) Énoncer le critère d'évolution spontanée d'un système chimique. Prévoir dans quel sens évolue spontanément le système.
 - c) Calculer les quotients de réaction $Q_{r,1}$ et $Q_{r,3}$ correspondant aux états E_1 et E_3 (figures 1 et 3, **annexe**).
- 4) L'avancement de la transformation à l'état final est égal à $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$.
 - a) Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système (**voir annexe**) et déterminer les quantités de matière à l'état final.
 - b) Compléter l'histogramme donnant les concentrations en ions fer (II) et en ions zinc (II) dans l'état final (figure 4 de l'**annexe**)

B – EXPERIENCE 2 – L'ELECTROLYSE

On réalise le montage représenté figure 5, en annexe. Le générateur de tension continue permet de faire circuler un courant électrique d'intensité I .

- 1) L'interrupteur est fermé. On observe alors sur l'électrode de fer la formation d'un dépôt métallique et un dégagement de dihydrogène.
 - a) Représenter le sens de circulation des porteurs de charges. On précisera leurs noms, dans la solution et dans les fils de connexion.
 - b) En vous aidant des couples donnés et des observations, écrire les demi-équations se produisant à l'électrode de fer. Cette électrode est-elle l'anode ou la cathode ? Justifier.
 - c) Comment évolue la masse de l'électrode de zinc ? Justifier votre réponse en écrivant la demi-équation qui se produit à l'électrode de zinc.
- 2) On suppose maintenant que seul le couple $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})} / \text{Zn}_{(\text{s})}$ intervient au cours de l'électrolyse. Le générateur délivre une intensité du courant $I = 0,50 \text{ A}$ pendant $\Delta t = 10 \text{ min}$.

- a) Montrer que l'équation correspondant au bilan de l'électrolyse peut s'écrire :



Cette électrolyse est dite "à anode soluble".

- b) Calculer la quantité d'électricité Q échangée pendant 10 min.
En déduire la quantité de matière d'électrons échangée $n(e^-)$.
- c) Quelle relation existe-t-il entre la quantité de matière de zinc ayant disparu $n_{\text{Zn, disp}}$ et la quantité de matière $n(e^-)$ d'électrons qui a circulé ?
- d) Calculer la variation de masse de l'électrode de zinc.

EXERCICE 2 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN BAC A DECANTATION A FLUX HORIZONTAL (7 points)

1. Étude de la chute d'une particule dans un liquide visqueux :

On prépare un mélange homogène constitué d'un liquide de masse volumique $\rho_l = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et de particules solides de forme sphérique de rayon $R = 2,0 \times 10^{-6} \text{ m}$, de masse volumique $\rho_s = 1,5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et de masse $m = 5,0 \times 10^{-14} \text{ kg}$.

On dépose, à la date $t = 0 \text{ s}$, une fine couche (dont on néglige l'épaisseur) de ce mélange homogène à la surface d'un récipient contenant le même liquide, à l'état pur, que le mélange précédent.

A partir de cet instant, les particules, que l'on suppose initialement au repos, se déplacent verticalement vers le fond du récipient.

On suppose que la vitesse limite est suffisamment faible. Dans cette hypothèse, les particules sont soumises à leur poids \vec{P} , à la poussée d'Archimède $\vec{\Pi} = -\frac{4}{3}\pi \cdot R^3 \cdot \rho_l \cdot \vec{g}$ et à une force de frottement

$\vec{F} = -f \cdot \vec{v}$ où f vaut $3,1 \times 10^{-12} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ et représente le coefficient de frottement.

On donne $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Pour étudier le mouvement de la particule, on se place dans un repère unidimensionnel d'axe Oz vertical et dirigé vers le bas, d'origine O au niveau de la surface libre du liquide. (voir annexe I).

1.1. En effectuant une analyse dimensionnelle, vérifier que l'unité du coefficient de frottement est bien le $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

1.2. Compléter l'**annexe 1** en faisant figurer les forces s'exerçant sur la particule pendant sa chute à l'instant t .

1.3. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation différentielle relative

à la vitesse de la particule est :
$$\frac{dv}{dt} + \frac{f}{m} \cdot v = g \cdot \left(\frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_s} \right).$$

1.4. En déduire que la valeur de la vitesse limite atteinte par les particules s'exprime par la relation :

$$v_l = \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_s} \cdot \frac{m}{f} \cdot g. \text{ Calculer la vitesse limite } V_l$$

1.5. La solution de l'équation différentielle établie à la question 1.3. est de la forme :

$$v(t) = v_l \cdot \left(1 - e^{-\frac{f}{m}t} \right).$$

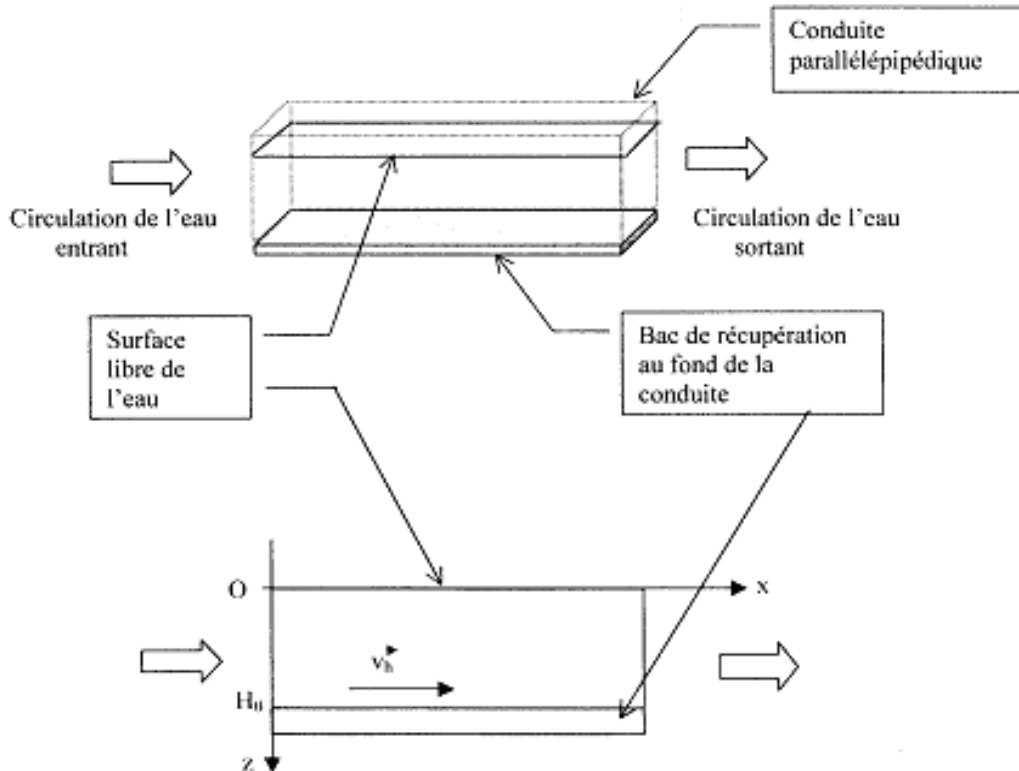
Déterminer la date t_l à partir de laquelle la valeur de la vitesse vaudra 99 % de la valeur de la vitesse limite.

1.6. Une étude expérimentale a permis d'obtenir le graphe, donné ci-après **sur l'annexe 2**, représentant les variations de la vitesse de la particule au cours du temps.

- a) Déterminer par une méthode de votre choix le temps caractéristique τ_l de l'évolution de la vitesse.
- b) Décrire et nommer les phases du mouvement de la particule entre les instants $t = 0$ et $t' = 100 \text{ ms}$.

2. Application : modélisation simple d'un bac à décantation à flux horizontal.

Le principe d'un bac à décantation à flux horizontal consiste à faire circuler, à vitesse constante \vec{V}_h , un courant d'eau contenant des particules de masses différentes dans un dispositif que l'on peut modéliser de la façon suivante :



En fonction des caractéristiques des particules, ces dernières vont tomber au fond du bac en des endroits différents. On peut donc, par ce procédé, séparer les particules de nature différente contenues dans l'eau. On s'intéresse au mouvement d'une particule (identique à celle de la partie 1) initialement à la surface de l'eau, à la cote $z = 0$ et pénétrant dans le bac en $x = 0$.

2.1. En imaginant que la particule reste à la surface de l'eau, quel temps τ_2 mettrait-elle pour parcourir la longueur du bac $L = 1,0$ m, si la vitesse de circulation d'eau est constante et de valeur $v_h = 0,10$ m.s⁻¹ ?

2.2. En comparant les valeurs de τ_1 (déterminé à la question 1.6.a.) et τ_2 , justifier que l'on puisse considérer que la vitesse de la particule dans la conduite est $\vec{v} = \vec{v}_h + \vec{v}_l$ (où V_l est la valeur de la vitesse limite atteinte en chute libre dans le fluide).

2.3. On déduit de l'étude précédente les grandeurs cinétiques données en **annexe 3 (à rendre avec la copie)**. Compléter la dernière ligne du tableau.

2.4. En déduire que la trajectoire $z = f(x)$ est une droite de coefficient directeur $\alpha = \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_s} \cdot \frac{m \cdot g}{f \cdot v_h}$

En réalité les particules ne sont pas toutes identiques et sont caractérisées par leur masse m .

2.5. Calculer la valeur de la masse m_c de la particule pour que cette dernière tombe dans le bac à récupération au point de coordonnées $x = L$ et $z = H_0 = 0,54$ m.

2.6. Dans quelle zone vont tomber les particules de masses m et de même masse volumique ρ_s :
 - si $m < m_c$?
 - si $m > m_c$? Justifier votre réponse.

EXERCICE 3 : MÉCANISME DE FUSION DE L'HYDROGÈNE DANS UNE ÉTOILE (5 points)

On se propose de commenter un extrait d'article du dossier hors série de la revue « Pour la science » de janvier 2001.

« ...La phase de **fusion** (ou combustion) de l'hydrogène est la plus longue de la vie des étoiles. Si la masse stellaire est comparable ou inférieure à celle du Soleil, la température centrale est inférieure à une **vingtaine de millions de degrés**. Dans ces conditions, la fusion de **deux noyaux d'hydrogène** (ou protons) produit un **noyau de Deutérium** qui capture un autre proton et forme un **noyau d'Hélium 3** ... Finalement, **deux noyaux d'Hélium 3** fusionnent en un **noyau d'Hélium 4** ...L'ensemble de ces réactions constitue la première des chaînes proton - proton ou chaîne p-p, la plus importante dans le cas du Soleil ...».

NB : les 3 parties de l'exercice sont indépendantes et peuvent donc être traitées indépendamment les unes des autres.

A - QUELQUES CONSIDÉRATIONS DE VOCABULAIRE

A-1 Donner une définition rapide des mots « fusion nucléaire » et « fission nucléaire ».

A-2 En considérant les charges des noyaux en cause dans le mécanisme de fusion, expliquer pourquoi ces réactions ne peuvent se produire qu'à très haute température ($2,1 \cdot 10^7$ °C).
On parle alors de fusion thermonucléaire...

B - ÉTUDE DE LA CHAÎNE DE RÉACTIONS

Notations utilisées pour les noyaux concernés :

Hydrogène (ou proton) : ${}^1_1\text{H}$ (ou ${}^1_1\text{p}$) Deutérium : ${}^2_1\text{H}$ Hélium 3 : ${}^3_2\text{He}$ Hélium 4 : ${}^4_2\text{He}$

B-1 Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hydrogène en un noyau de deutérium et une particule que l'on notera sous la forme ${}^A_Z\text{X}$. Comment s'appelle cette particule ?

B-2 Écrire la réaction de fusion d'un noyau de deutérium et d'un proton en un noyau d'hélium 3.
Cette fusion s'accompagne de l'émission d'un rayonnement γ (ou photon).
Comment peut-on interpréter cette émission ?

B-3 Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hélium 3 en un noyau d'hélium 4.
Cette fusion s'accompagne de l'émission de deux autres noyaux identiques. Lesquels ?

B-4 Écrire la réaction bilan des trois réactions de fusion précédentes, qui, à partir de noyaux d'hydrogène, permet d'obtenir un noyau d'hélium 4.

C - CONSIDÉRATIONS ÉNERGÉTIQUES. LE SOLEIL "MAIGRIT-IL" ?

On considère désormais la réaction suivante $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_1\text{e} + 2 \gamma$

On donne les masses des noyaux, en unité de masse atomique :

${}^1_1\text{H}$: 1,0073 u ${}^4_2\text{He}$: 4,0026 u ${}^0_1\text{e}$: 0,0006 u

1 u correspond à une énergie de 931,5 MeV

C-1 Calculer la perte de masse correspondant à cette fusion.

C-2 En déduire une estimation, en MeV, de la valeur de l'énergie libérée par nucléon lors de cette fusion.
On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :
0,6 MeV 6 MeV 60 MeV (justifier sa réponse)

C-3. Le soleil transforme, chaque seconde, 720 millions de tonnes d'hydrogène en hélium 4.
Estimer la perte de masse subie, à chaque seconde, par le soleil.
On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte (justifier) :

4 500 tonnes 45 000 tonnes 450 000 tonnes 4 500 000 tonnes

