

Devoir du mardi 16 mars 2010

La présentation des résultats numériques, la qualité de la rédaction et des justifications et la propreté entreront pour une part importante dans l'appréciation et la notation des copies. On fera notamment attention à donner un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision des données fournies. Les calculatrices ne sont pas autorisées.

Exercice de chimie : le dihydrogène pour la protection de l'environnement (8 points)

Le principe de la pile à combustible, une technique déjà ancienne, consiste à utiliser du dihydrogène pour stocker et transporter l'énergie. En effet le dihydrogène semble être le carburant par excellence pour les véhicules du futur, face aux préoccupations environnementales croissantes.

Une pile à combustible est un assemblage de cellules élémentaires, en nombre suffisant pour assurer la production électrochimique d'électricité dans les conditions de tension et d'intensité voulues.

I Principe de fonctionnement d'une cellule élémentaire

De façon générale, le fonctionnement électrochimique d'une cellule élémentaire de pile à combustible peut être interprété selon le schéma de l'annexe. Chaque cellule élémentaire est constituée de deux compartiments disjoints alimentés chacun en gaz réactifs dioxygène et dihydrogène. Les deux électrodes sont séparées par l'électrolyte, solution qui laisse circuler les ions. Du platine est inséré dans les deux électrodes poreuses.

1) Les couples à prendre en compte sont les suivants : $O_2(g)/H_2O(l)$ et $H_2O(l)/H_2(g)$.

a) Ecrire les demi équations en sens direct sachant que les deux gaz sont les réactifs et que le milieu est acide.

b) Des deux gaz réactifs préciser quel est le réducteur et quel est l'oxydant ? Justifier la réponse.

c) Montrer que l'équation de la réaction globale de fonctionnement s'écrit :



d) Pour l'environnement quel est l'avantage d'une pile à combustible utilisant le dihydrogène par rapport à un carburant classique ?

2) Des électrodes 1 ou 2, quelle est celle appelée « cathode » ? Justifier. Indiquer sur le schéma le sens de circulation des électrons. En déduire à quelle électrode correspond le pôle positif de la pile et à quelle électrode correspond le pôle négatif.

3) Une cellule élémentaire fonctionne pendant une durée $\Delta t = 100$ h et débite un courant d'intensité considérée constante $I = 96,5$ A. Calculer la variation de quantité de matière de chacun des gaz lors du fonctionnement de cette cellule.

On donne la valeur de la charge d'une mole de charge élémentaire : $1 \text{ faraday} = 1 F = 96,5 \cdot 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$.

II Principe de production du dihydrogène par électrolyse au laboratoire

Une pile à combustible, pendant les phases de production, doit être alimentée en continu par du combustible, la plupart du temps du dihydrogène, et en comburant, le plus souvent du dioxygène, présent à près de 20 % dans l'air ambiant.

Le dihydrogène n'est pas une source d'énergie naturelle. Il faut produire du dihydrogène en émettant le moins de pollution possible. Plusieurs possibilités sont étudiées : à partir de carburants fossiles, de biomasse, d'algues vertes ou de bactéries, de l'électrolyse de l'eau. L'électrolyse peut se concevoir comme un moyen de production simple mais coûteux.

1) Au laboratoire on peut produire du dihydrogène en électrolysant une solution aqueuse de sulfate de sodium de concentration molaire en soluté apporté $c = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Pour obtenir cette solution, on dissout le sulfate de sodium $Na_2SO_4(s)$ dans de l'eau distillée. Le volume de solution obtenue est $V = 500 \text{ mL}$.

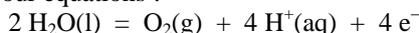
a) Écrire l'équation de la réaction de dissolution du sulfate de sodium solide.

b) Compléter littéralement, en fonction de c , V et x_f le tableau descriptif de l'évolution du système au cours de la transformation chimique reproduit dans l'annexe.

c) Sachant que dans l'état final de la transformation la quantité de matière d'ions sodium obtenue est de $1,0 \text{ mol}$ en déduire l'avancement final de la réaction. La transformation est-elle totale ?

d) Donner l'expression du quotient de réaction $Q_{r,f}$ dans l'état final du système. Calculer sa valeur.

2) On réalise le montage schématisé en annexe. Deux petits cristallisoirs sont remplis de la solution aqueuse de sulfate de sodium précédente à laquelle on a ajouté quelques gouttes de bleu de bromothymol. Ils sont reliés l'un et l'autre par un pont salin. Les deux électrodes, respectivement dans chacun des deux cristallisoirs, sont reliées à un générateur de tension. Avant de mettre en fonctionnement le générateur, on observe que les deux solutions contenues dans les cristallisoirs sont vertes. Une fois l'électrolyse lancée, on observe que les solutions contenues dans les cristallisoirs prennent des teintes différentes. On donne pour le bleu de bromothymol : zone de virage : $6,0 - 7,6$; teinte jaune pour la forme acide ; teinte bleue pour la forme basique. Les deux réactions ayant lieu aux électrodes ont pour équations :



a) Positionner cathode et anode sur le schéma en justifiant.

b) Quelle couleur prend la solution du côté de la cathode ? du côté de l'anode ?

c) Écrire l'équation de réaction qui a lieu lors de l'électrolyse.

d) L'électrolyse terminée on transvase dans un bécher les deux solutions contenues dans chacun des cristallisoirs. Théoriquement, quelle sera la teinte finale de la solution obtenue ? Justifier par un raisonnement qualitatif à l'aide des quantités de matière.

Exercice de physique : Averell et son canard en plastique... (12 points)

On rappelle qu'en mécanique, les grandeurs fondamentales à utiliser sont la masse de symbole M , la longueur de symbole L et le temps de symbole T .

Averell décide de jouer avec son canard en plastique dans sa piscine. Il le plonge au fond du bain et observe sa remontée dans l'eau sur une hauteur h_{eau} dans un premier temps. Le canard atteint une vitesse v_{eau} lorsqu'il atteint la surface puis entame un trajet immergé : il sort de l'eau (avec cette vitesse v_{rauu}), atteint une hauteur h au dessus de la surface du liquide pour retomber ensuite et s'immobiliser rapidement en flottant sur l'eau.

Données et notations :

$V_{\text{canard}} = 150 \text{ cm}^3$ volume du canard,

$g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ intensité de la pesanteur

$m_{\text{canard}} = 30\text{g}$ masse du canard

ρ_{eau} masse volumique de l'eau

$\rho_{\text{air}} = 1,7 \text{ kg.m}^{-3}$ masse volumique de l'air

$h_{\text{eau}} = 1,25\text{m}$ hauteur d'eau de la piscine.

I Le canard dans l'eau

1) Première modélisation

On considère dans cette modélisation que l'eau n'exerce pas de frottements sur le canard. Celui n'est soumis qu'à son poids \vec{P} et à la poussée d'Archimède \vec{P}_A . Le champ de pesanteur est supposé uniforme dans et aux alentours de la piscine. On choisit un repère avec un axe Oz vertical dirigé vers le ciel dont l'origine se trouve au fond de la piscine, lieu du centre d'inertie G du canard quand celui-ci est lâché. Le canard est lâché à $t = 0\text{s}$ sans impulsion.

a) Rappeler la définition d'un champ de pesanteur uniforme.

b) Comment Averell a-t-il fait expérimentalement pour trouver le volume du canard ?

c) Donner les expressions de \vec{P} et \vec{P}_A .

d) Montrer que l'on ne peut pas négliger l'une de ces forces en calculant par exemple un rapport.

e) Préciser les conditions initiales sur z , cote du centre d'inertie du canard et sa dérivée temporelle.

f) Montrer que $a_z (= \ddot{z}) = A$ où A est une constante dont on donnera l'expression en fonction des données du problème. Montrer que $A = 40$.unité SI (unité du Système international). Quelle est la dimension et donc l'unité de A dans le SI ?

g) En déduire les expressions de $v_z(t)$ et de $z(t)$

h) Déterminer la vitesse v_{eau} du canard à la surface du liquide. On rappelle que $h_{\text{eau}} = 1,25\text{m}$.

2) Deuxième modélisation

L'eau est visqueuse et exerce des frottements sur le canard. On admet que la force de frottement à rajouter est régie suivant la loi de Stokes sous la forme $\vec{F} = -\lambda\vec{v}$ où λ est une constante spécifique de l'eau.

a) Déterminer la dimension de λ et en déduire son unité SI. On admet que $\lambda = 6,0 \cdot 10^{-3}$ unités SI.

b) Montrer alors que v_z vérifie l'équation différentielle suivante : $\frac{dv_z}{dt} = -B \cdot v_z + A$

en spécifiant l'expression de B en fonction des grandeurs du problème. Montrer que $B = 0,20$ unités SI. Quelle est la dimension et donc l'unité de B dans le SI ?

c) Déterminer la vitesse limite v_{lim} atteinte par le canard.

d) On admet que le temps caractéristique τ vaut $1/B$ et que v_{lim} est atteinte au bout de 5τ . Le canard atteint-il un régime permanent dans la piscine ? Justifier.

e) On décide de résoudre cette équation avec la méthode d'Euler. Le graphique (complet) et les valeurs de v_z et a_z (pour les premières valeurs) obtenus figurent en annexe. Déterminer les valeurs de v_z et a_z aux deux premières dates en présentant vos calculs.

f) Sur le graphique, quel régime est observé ? Comment s'appelle celui qui suit ?

g) Combien vaut le pas p ? Est-il bien choisi ? Justifier.

h) Lors de la première modélisation, $v_z = 40 \cdot t$. Dessiner en vert cette première modélisation sur le graphique de l'annexe.

i) En estimant un ordre de grandeur habituel du temps d'ascension dans l'eau du canard, expliquez s'il était utile de faire la deuxième modélisation ou si la première suffisait pour l'étude dans la piscine.

II Le canard hors de l'eau

Indications : le vecteur vitesse est toujours un vecteur continu du temps et le canard, hors de l'eau est en chute libre.

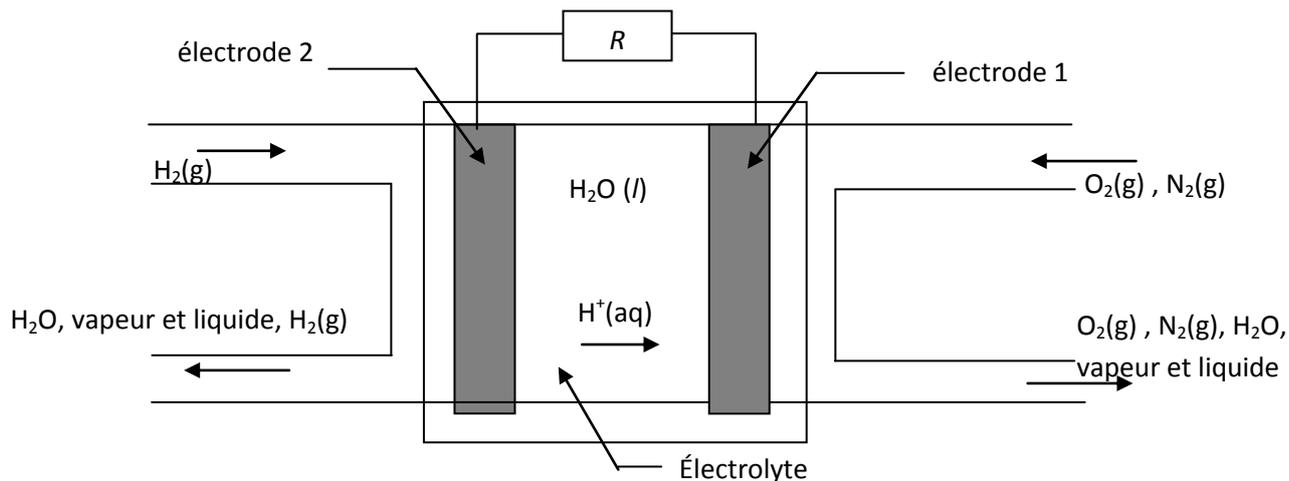
1) On prend comme nouvelle origine des dates celle à laquelle le canard sort de l'eau verticalement. Sa vitesse vaut donc $v_{\text{eau}} = 10 \text{ m.s}^{-1}$ environ. Le repère d'espace est le même que dans la partie précédente. Quelles sont les conditions initiales sur z et sa dérivée pour ce nouveau mouvement ?

2) Que signifie « le canard est en chute libre » ?

3) En déduire les expressions de $v_z(t)$ et de $z(t)$ pour ce mouvement.

4) Exprimer la hauteur h maximale atteinte par le canard *au-dessus de l'eau* en fonction des données.

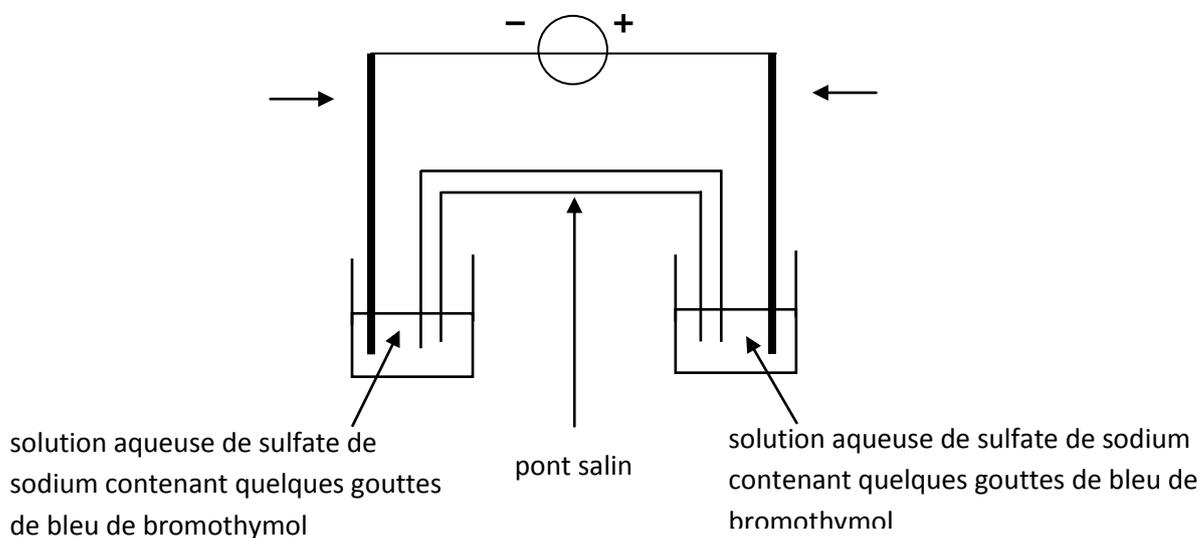
5) Il est beaucoup plus facile de mesurer une distance qu'une vitesse... Sachant que $h = 80 \text{ cm}$, retrouve-t-on la valeur de v_{eau} par cette méthode ? D'où peut provenir une telle différence ?



TABLEAU

Équation de la réaction	$\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{s}) = \quad +$		
État du système	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)	
État initial	0		
État au cours de la transformation	x		
État final	x_f		

Partie électrolyse



Exercice de physique

temps t (en s)	vz(enm.s ⁻¹)	az (en m.s ⁻²)
0	?	?
0,2	?	?
0,4	15,68	36,864
0,6	23,0528	35,38944
0,8	30,130688	33,9738624
1	36,92546048	32,6149079
1,2	43,44844206	31,3103116
1,4	49,71050438	30,0578991
1,6	55,7220842	28,8555832
1,8	61,49320084	27,7013598
2	67,0334728	26,5933054
2,2	72,35213389	25,5295732
2,4	77,45804853	24,5083903
2,6	82,35972659	23,5280547
2,8	87,06533753	22,5869325
3	91,58272403	21,6834552
3,2	95,91941507	20,816117
3,4	100,0826385	19,9834723
3,6	104,0793329	19,1841334
3,8	107,9161596	18,4167681
4	111,5995132	17,6800974

