BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2010

_____

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

_____

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

_____

obligatoire

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

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

La page d'annexe (page 10) EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.

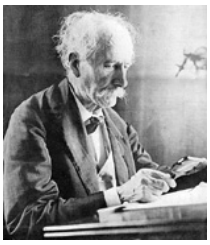
Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I. DES ÉCRITS D'ILLUSTRES SCIENTIFIQUES (6,5 points)

Cet exercice est constitué de trois parties indépendantes. Chaque partie correspond à l'étude d'un texte historique scientifique. Le premier concerne l'étude d'une réaction d'estérification. Les deux suivants traitent de l'étude de la trajectoire des satellites de Jupiter.

1. Texte de Marcellin Berthelot (chimiste français 1827 - 1907) sur la réaction d'estérification

Dans leur Mémoire publié en 1862 sous le titre *Recherche sur les affinités*, Berthelot et Péan de Saint Gilles écrivent :



« *… Les esters sont formés par l'union des acides et des alcools ; ils peuvent reproduire en se décomposant les acides et les alcools. […] En général, les expériences consistent, […] à faire agir sur un alcool pur un acide pur, les proportions de l'alcool et de l'acide étant déterminées par des pesées précises […]. Le produit final se compose de quatre corps à savoir : l'ester, l'alcool libre, l'acide libre, l'eau. Mais ces quatre corps sont dans des proportions telles* ***qu'il suffit de déterminer exactement la masse d'un seul d'entre eux, à un moment quelconque des expériences, pour en déduire toutes les autres, pourvu que l'on connaisse les masses des matières primitivement mélangées****. […] Ceci posé, entre les quatre éléments suivants : ester, alcool, acide, eau, le choix ne saurait être douteux, c'est évidemment l'acide qu'il faut déterminer. »*

Dans cette partie, on étudie la transformation chimique entre l'acide éthanoïque et l'éthanol afin de comprendre la phrase notée en gras dans le texte.

Données :

	acide éthanoïque	éthanol	éthanoate d'éthyle
masse molaire M en g.mol^{-1}	60,0	46,0	88,0
masse volumique ρ en g.mL^{-1}	1,05	0,79	0,90

Au laboratoire, on mélange dans un flacon, un volume $V_1 = 57$ mL d'acide éthanoïque et un volume $V_2 = 58$ mL d'éthanol. Le flacon est ensuite hermétiquement fermé et placé dans l'obscurité à température ambiante. On laisse le système évoluer pendant six mois ; après cette durée, l'état final du système n'est pas encore atteint.

1.1. Étude des quantités de matière initiales des réactifs

1.1.1. Calculer la quantité de matière n_1 d'acide éthanoïque introduite dans le flacon.

1.1.2. Montrer que le mélange réalisé est équimolaire.

1.2. Étude du milieu réactionnel au bout de six mois

Au bout de six mois, le flacon est ouvert et on y prélève un volume $V = 2,0$ mL du mélange. L'acide éthanoïque restant dans ce prélèvement est dosé, à froid, à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 1,00$ mol.L^{-1} en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré de fin de dosage.
Le volume équivalent est égal à $V_E = 12,0$ mL.

1.2.1. À l'aide des formules semi-développées, écrire l'équation de l'équilibre chimique d'estérification entre l'acide éthanoïque et l'éthanol.

1.2.2. Écrire l'équation de la réaction chimique support du dosage.

1.2.3. Définir l'équivalence du dosage et en déduire la quantité de matière n_R d'acide éthanoïque restant au bout de six mois dans le prélèvement de 2,0 mL.

1.2.4. En supposant que le volume du milieu réactionnel est resté constant au cours du temps, en déduire la quantité de matière n_R' d'acide éthanoïque restant au bout de six mois dans le milieu réactionnel.

1.2.5. Déterminer les quantités de matière de toutes les espèces chimiques présentes dans le flacon au bout de six mois. On peut s'aider éventuellement d'un tableau d'avancement.

1.2.6. À partir des résultats obtenus à la question précédente, justifier la phrase en gras dans le texte de Berthelot et Péan de Saint Gilles. Aucun calcul n'est demandé.

2. Texte d'Isaac Newton (physicien anglais 1642 – 1726) sur la loi de gravitation universelle

En 1610, Galilée découvre des satellites de la planète Jupiter qu'il observe à l'aide de sa lunette astronomique.
En 1687, Isaac Newton publie les *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* et écrit dans le Livre III :
*« **Les forces** par lesquelles les satellites de Jupiter sont retirés perpétuellement du mouvement rectiligne et retenus dans leurs orbites **tendent au centre de Jupiter** et **sont en raison réciproque des carrés de leurs distances à ce centre** ».*

Dans cette partie, on étudie le mouvement du satellite Callisto par rapport à la planète Jupiter.

Données :
- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m^3.kg^{-1}.s^{-2} ;
- la planète Jupiter de centre J et son satellite Callisto de centre C sont des astres que l'on considère à répartition de masse à symétrie sphérique ;
- la masse de Jupiter est égale à $M_J = 1{,}90 \times 10^{27}$ kg et celle de Callisto est notée M_C ;
- Callisto décrit autour de Jupiter une orbite circulaire de rayon $r = 1{,}88 \times 10^6$ km.

Le mouvement de Callisto est étudié dans le référentiel galiléen lié au centre de Jupiter, appelé référentiel jovicentrique.

2.1. Sans souci d'échelle, représenter sur un schéma la force $\vec{F}_{JC}$ exercée par Jupiter sur le satellite Callisto en orbite circulaire autour de Jupiter.

2.2. À propos des forces, donner la signification de chacune des deux parties de phrase en gras à la fin du texte de Newton.

2.3. En utilisant les notations de l'énoncé, donner l'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{JC}$. On note $\vec{u}_{JC}$ un vecteur unitaire de la droite (JC) dirigé de J vers C.

2.4. En appliquant la seconde loi de Newton à Callisto, déterminer l'expression du vecteur accélération $\vec{a}_C$ de son centre C.

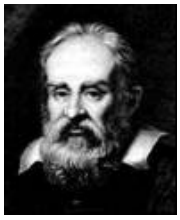
2.5. On considère que le mouvement de Callisto est uniforme sur son orbite. On note v_C la vitesse du centre C du satellite Callisto. Donner l'expression de l'accélération a_C du centre C de Callisto en fonction de v_C et r.

2.6. Montrer que la vitesse v_C peut s'exprimer par :

$$v_C = \sqrt{\frac{G.M_J}{r}}$$

2.7. Étude de la période de révolution du satellite Callisto autour de Jupiter
- 2.7.1. Déterminer l'expression de la période de révolution T_C du satellite Callisto autour de Jupiter en fonction de G, M_J et r.
- 2.7.2. Calculer la valeur de cette période.

3. Texte de Galilée (physicien italien 1564 - 1642) sur la découverte de quatre satellites de Jupiter



En 1610, Galilée découvre Io, Europe, Ganymède et Callisto, quatre satellites de Jupiter qu'il observe à l'aide de sa lunette astronomique. Il relate ainsi ses observations dans un ouvrage, *Le messager des étoiles*, dans lequel il dessine également ce qu'il voit. Sur ses schémas, Galilée note « Ori. » la direction « Est » et « Occ. » la direction « Ouest ».

« Le 7 janvier de cette année 1610, à la première heure de la nuit, alors que j'observais les étoiles à la lunette, Jupiter se présenta, et comme je disposais d'un instrument tout à fait excellent je reconnus que trois petites étoiles, il est vrai toutes petites mais très brillantes, étaient près de la planète […].Je pensais que c'étaient des étoiles fixes mais quelque chose m'étonnait : elles semblaient disposées en ligne droite, parallèlement à l'écliptique, et étaient plus brillantes que le reste des étoiles. Voici quelle était leur position les unes par rapport aux autres et par rapport à Jupiter :

Croquis (a)

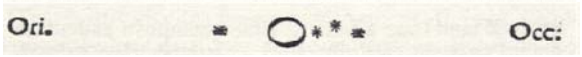
À l'est, se trouvaient deux étoiles, mais une seule à l'ouest […]. Je ne me préoccupais pas d'abord de leurs distances entre elles et Jupiter car, comme je l'ai dit, je les avais prises pour des étoiles fixes. Mais quand, le 8 janvier, guidé par je ne sais quel destin, je regardais du même côté du ciel, je trouvais une disposition très différente. Les trois petites étoiles étaient en effet toutes à l'ouest de Jupiter et elles étaient plus proches entre elles que la nuit précédente […], comme le montre le dessin ci-dessous :

Croquis (b)

[…] Je commençais à me demander avec embarras comment Jupiter pouvait se trouver à l'est de toutes les étoiles fixes mentionnées plus haut alors que la veille il était à l'ouest de deux d'entre elles. »

Les jours suivants, Galilée continue à observer cette région du ciel et réalise une série de croquis à l'échelle. Il comprend que les « étoiles » sont en réalité de petits astres tournant autour de Jupiter comme la Lune tourne autour de la Terre. Le 13 janvier, pour la première fois, il aperçoit quatre petites « étoiles ».

Croquis (c)



Par rapport à Jupiter, les orbites des satellites sont pratiquement circulaires et appartiennent quasiment au même plan (P) qui est celui de l'équateur de Jupiter. Les orbites sont représentées sur la **figure 1 des documents page 5**. Les positions des satellites sont indiquées à une date donnée. Le schéma a été réalisé sans souci d'échelle.

3.1. Étude de la trajectoire des satellites de Jupiter observés par Galilée

On admet que Galilée, regardant dans sa lunette depuis un point de la Terre, appartient au plan (P) défini précédemment.

3.1.1. La **figure 1** page 5 correspond-elle au croquis (a), (b) ou (c) ci-dessus ? Justifier.

3.1.2. Donner une raison possible permettant d'expliquer pourquoi les quatre satellites ne sont pas toujours vus en même temps par Galilée.

3.1.3. Quelle est la trajectoire des satellites de Jupiter vue par Galilée ?

3.2. Étude de la période de révolution du satellite Callisto autour de Jupiter

La **figure 2 des documents page 5** donne les croquis réalisés à l'échelle par Galilée entre le 8 février 1610 et le 2 mars 1610.

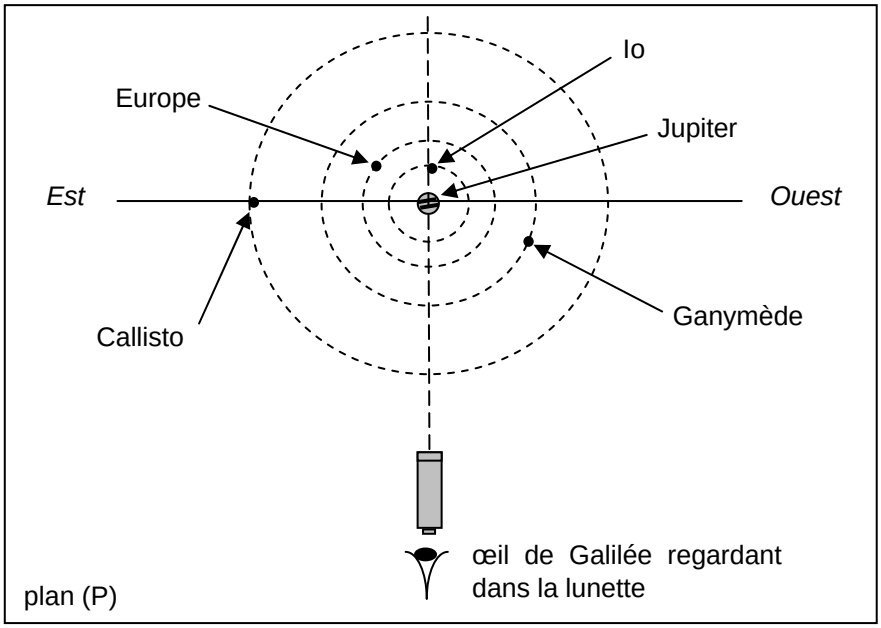
3.2.1. À certaines dates, le satellite Callisto apparaît le plus éloigné de Jupiter pour Galilée. À l'aide de la **figure 1**, justifier cette observation.

3.2.2. On cherche à déterminer la valeur approchée de la période T_C de révolution de Callisto autour de Jupiter. Le 11 février, Callisto apparaît pour Galilée comme étant le plus éloigné à l'Est (« Ori. ») de Jupiter.

a. À quelle date, Galilée voit-il Callisto à nouveau le plus éloigné à l'Est de Jupiter ?

b. En déduire la valeur approchée de la période T_C. Un résultat en nombre de jours entier est attendu. Est-ce compatible avec le résultat obtenu au 2.7.2 ?

DOCUMENTS DE L'EXERCICE I



Vue de dessus

Figure 1. Galilée observe Jupiter et ses satellites

Date	Heure d'observation	Croquis de Galilée (documents d'époque)
8 février 1610	1 h	
9 février 1610	0 h 30 min	
10 février 1610	1 h 30 min	
11 février 1610	1 h	
12 février 1610	0 h 40 min	
13 février 1610	0 h 30 min	
14 février 1610	Ciel couvert	
15 février 1610	1 h	
16 février 1610	Ciel couvert	
17 février 1610	1 h	
18 février 1610	1 h	
19 février 1610	0 h 40 min	
20 février 1610	Ciel nuageux	
21 février 1610	1 h 30 min	
22 février 1610	Ciel couvert	
23 février 1610	Ciel couvert	
24 février 1610	Ciel couvert	
25 février 1610	1 h 30 min	
26 février 1610	0 h 30 min	
27 février 1610	1 h	
28 février 1610	1 h	
1 mars 1610	0 h 40 min	
2 mars 1610	0 h 40 min	

Figure 2. Croquis réalisés à l'échelle par Galilée

EXERCICE II. NUCLÉAIRE AU SERVICE DE LA MÉDECINE (5,5 points)

La médecine nucléaire désigne l'ensemble des applications où des substances radioactives sont associées au diagnostic et à la thérapie. Depuis les années 1930, la médecine nucléaire progresse grâce à la découverte et à la maîtrise de nouveaux isotopes.
La radiothérapie vise à administrer un radiopharmaceutique dont les rayonnements ionisants sont destinés à traiter un organe cible dans un but curatif ou palliatif. Ainsi on utilise du rhénium 186 dans le but de soulager la maladie rhumatoïde et du phosphore 32 pour réduire la production excessive de globules rouges dans la moelle osseuse.

D'après le site : http://www.asn.fr

La première partie de cet exercice traite de l'utilisation du rhénium 186 et la seconde partie de l'utilisation du phosphore 32. On s'intéresse à l'aspect physique des phénomènes, les aspects biologiques ne sont pas pris en compte.

Données :

- temps de demi-vie du rhénium 186 : $t_{1/2}(^{186}_{Z}\text{Re}) = 3{,}7$ j (jours) ;
- constantes radioactives : $\lambda(^{186}_{Z}\text{Re}) = 2{,}2 \times 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$; $\lambda(^{32}_{15}\text{P}) = 5{,}6 \times 10^{-7}\ \text{s}^{-1}$;
- masse molaire du rhénium 186 : $M(^{186}_{Z}\text{Re}) = 186\ \text{g.mol}^{-1}$;
- masses de quelques noyaux et particules :

  $m(^{32}_{15}\text{P}) = 5{,}30803 \times 10^{-26}$ kg ; $m(^{32}_{16}\text{S}) = 5{,}30763 \times 10^{-26}$ kg ; $m(^{0}_{-1}\text{e}) = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}0 \times 10^{8}\ \text{m.s}^{-1}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}0 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$;
- électron-volt : $1\ \text{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ J .

1. Injection intra-articulaire d'une solution contenant du rhénium 186

1.1. Le rhénium 186 ($^{186}_{Z}\text{Re}$) est un noyau radioactif β^-.

Sur le diagramme (N, Z) de la **figure 3** ci-contre où N représente le nombre de neutrons et Z le nombre de protons, la courbe tracée permet de situer la vallée de stabilité des isotopes. Le point représentatif du noyau de rhénium 186 est placé au-dessus de cette courbe.

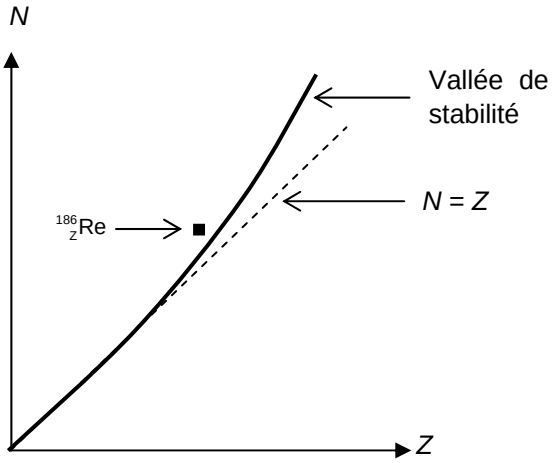


Figure 3. Diagramme (N, Z)

1.1.1. Déduire de ce diagramme si cet isotope radioactif possède un excès de neutron(s) ou un excès de proton(s) par rapport à un isotope stable du même élément.

1.1.2. Quel nom porte la particule émise au cours d'une désintégration β^- ?

1.1.3. Écrire l'équation de la désintégration du noyau de rhénium 186 noté ($^{186}_{Z}\text{Re}$) sachant que le noyau fils obtenu correspond à un isotope de l'osmium noté ($^{A}_{76}\text{Os}$). En énonçant les lois utilisées, déterminer les valeurs de A et de Z.
On admet que le noyau fils obtenu lors de cette transformation n'est pas dans un état excité.

1.2. Le produit injectable se présente sous la forme d'une solution contenue dans un flacon de volume V_{flacon} = 10 mL ayant une activité A_0 = 3700 MBq à la date de calibration, c'est-à-dire à la sortie du laboratoire pharmaceutique. Pourquoi est-il précisé "à la date de calibration" en plus de l'activité ?

1.3. Calcul du volume de la solution à injecter

1.3.1. L'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif peut s'exprimer par la relation suivante $A(t) = \lambda.N(t)$ où $N(t)$ représente le nombre de noyaux radioactifs à la date t et λ la constante radioactive. Calculer la masse m de rhénium 186 contenu dans le flacon de volume V_{flacon} à la date de calibration.

1.3.2. En s'aidant des données, quelle est la valeur de l'activité A_1 de l'échantillon contenu dans le flacon au bout de 3,7 jours après la date de calibration ?

1.3.3. L'activité de l'échantillon à injecter dans l'articulation d'une épaule est $A_{thérapie}$ = 70 MBq. En supposant que l'injection a lieu 3,7 jours après la date de calibration, calculer le volume V de la solution à injecter dans l'épaule.

2. Injection intraveineuse d'une solution contenant du phosphore 32

Carte d'identité du phosphore 32 :

nom de l'isotope	Phosphore 32
symbole	$^{32}_{15}P$
type de radioactivité	β^-
énergie du rayonnement émis	1,7 MeV
équation de la désintégration	$^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + {}^{0}_{-1}e$
demi-vie	14 jours

L'injection en voie veineuse d'une solution contenant du phosphore 32 radioactif permet dans certains cas de traiter une production excessive de globules rouges au niveau des cellules de la moelle osseuse.

2.1. Donner la composition du noyau de phosphore 32.

2.2. À l'aide des masses données en début d'exercice et de la carte d'identité du phosphore 32, vérifier par un calcul la valeur E de l'énergie du rayonnement émis par la désintégration du phosphore 32.

2.3. Pour la très grande majorité d'entre eux, les noyaux fils obtenus lors de cette transformation ne sont pas dans un état excité. À quel type de rayonnement particulièrement pénétrant le patient n'est-il pas exposé ?

2.4. Rappeler la loi de décroissance du nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs d'un échantillon en fonction de λ et N_0 (nombre de noyaux radioactifs à la date t = 0).

2.5. Définir le temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$ et établir la relation qui existe entre la demi-vie et la constante de désintégration radioactive λ.

2.6. Vérifier, par un calcul, la valeur approchée du temps de demi-vie proposée dans la carte d'identité ci-dessus.

EXERCICE III. LA PILE GÉNÉPAC (4 points)
(GÉNérateur Électrique à Pile À Combustible)

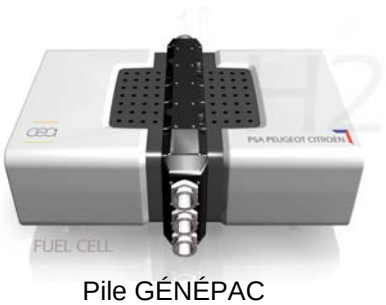
Faire le tour de la Méditerranée à bord d'un voilier dont le moteur auxiliaire est sans rejet direct de gaz carbonique, tel est le défi du projet « Zéro CO_2 ». Présenté pour la première fois en Europe, au salon nautique de Paris en décembre 2009, un voilier de 12 m sera équipé d'un moteur électrique auxiliaire alimenté par une pile à combustible à hydrogène.

Ce projet doit permettre de tester un bateau aux énergies renouvelables et au dihydrogène pour promouvoir un littoral économe et respectueux de l'environnement. L'industrie automobile a développé la pile GÉNÉPAC : c'est la pile à combustible choisie pour le projet « Zéro CO_2 ».

D'après les sites Internet :
« http://www.zeroCO2sailing.com », « http://www.cea.fr »,
« http://www.psa-peugeot-citroen.com ».

Le principe de la pile à combustible est le suivant : une réaction électrochimique contrôlée, entre du dihydrogène et le dioxygène de l'air, produit simultanément de l'électricité, de l'eau et de la chaleur.
Cette réaction s'opère au sein d'une cellule élémentaire composée de deux électrodes, de forme ondulée, séparées par un électrolyte (**figure 4**).

L'électrolyte est constitué d'une membrane polymère échangeuse de protons H^+.
Cette pile est un empilement de 170 cellules élémentaires identiques.
Le dihydrogène est stocké à bord sous forme de gaz comprimé à la pression de 700 bars ; le volume du réservoir est V = 15,0 L.
Lorsque le réservoir de dihydrogène est plein, la masse du dihydrogène disponible est de 3,0 kg.



Pile GÉNÉPAC

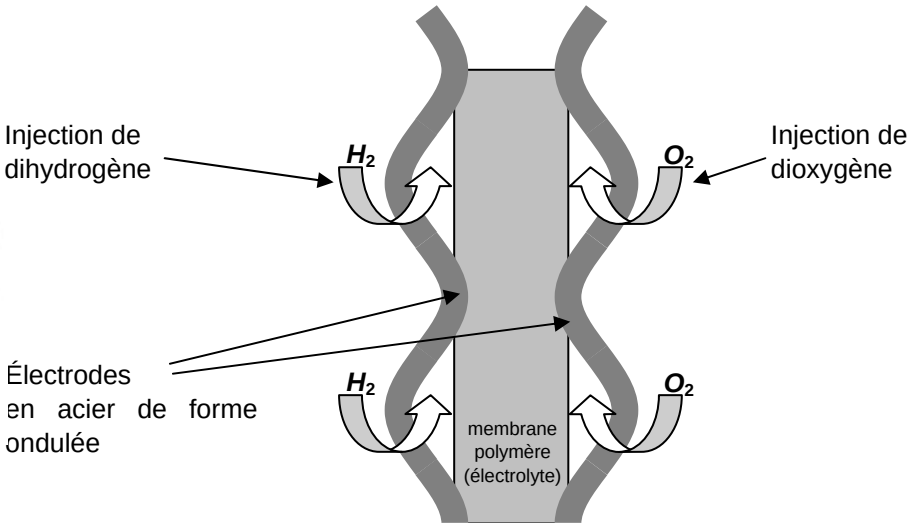


Figure 4. Schéma d'une des 170 cellules élémentaires

Dans cet exercice, on étudie le principe de fonctionnement d'une cellule élémentaire et la durée d'autonomie de la pile GÉNÉPAC.

Données :
- masses molaires atomiques : $M(H) = 1,0\ g.mol^{-1}$; $M(O) = 16,0\ g.mol^{-1}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,0 \times 10^{23}\ mol^{-1}$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8,314\ J.K^{-1}.mol^{-1}$;
- pression normale : $P_0 = 1,01 \times 10^5\ Pa$;
- température normale : $T_0 = 273\ K$;
- loi des gaz parfaits dans les conditions normales de pression et de température : $P_0.V_0 = n.R.T_0$, où n représente la quantité de matière de gaz et V_0 son volume ;
- charge électrique élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}\ C$;
- couples d'oxydo-réduction mis en jeu dans la réaction : $H^+(aq) / H_2(g)$ et $O_2(g) / H_2O(\ell)$.

1. Principe de fonctionnement d'une cellule élémentaire

1.1. Réactions dans la cellule

1.1.1. Écrire les équations des réactions à chaque électrode quand la pile débite.

1.1.2. Préciser pour chaque réaction s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

1.1.3. Montrer que l'équation de la réaction chimique mise en jeu dans le fonctionnement de la pile est : $2\ H_2(g) + O_2(g) = 2\ H_2O(\ell)$

1.2. Mouvement des porteurs de charge

Sur **LA FIGURE 5 DE L'ANNEXE PAGE 10**, indiquer :
- le sens de circulation et la nature des porteurs de charges circulant à l'extérieur de la pile ;
- le sens conventionnel de circulation du courant électrique ;
- la polarité de chaque électrode ;
- le sens de circulation des protons H^+ dans la membrane polymère (électrolyte).

1.3. Quel peut être l'intérêt d'utiliser des électrodes ondulées plutôt que des électrodes planes ?

2. Durée d'autonomie de la pile GÉNÉPAC

Les 170 cellules élémentaires constituant la pile sont montées électriquement en série.
Dans certaines conditions d'utilisation, on peut considérer que le courant circulant dans les cellules élémentaires est constant, d'intensité $I = 120\ A$.

2.1. Quantités de matière de dihydrogène

2.1.1. En utilisant la masse de dihydrogène disponible dans le réservoir plein, calculer la quantité de matière de dihydrogène $n_R(H_2)$ correspondante. En considérant que le dihydrogène est un gaz parfait, déterminer le volume de dihydrogène V_0 , pris dans les conditions normales de pression et de température, qu'il a fallu comprimer pour remplir le réservoir.

2.1.2. On note $n_C(H_2)$ la quantité de matière de dihydrogène disponible pour chaque cellule élémentaire. Quelle est la relation entre $n_C(H_2)$ et $n_R(H_2)$?

2.2. Quantité d'électricité

On note Δt la durée de fonctionnement d'une cellule élémentaire.

2.2.1. Donner l'expression de la quantité d'électricité Q échangée par une cellule élémentaire pendant une durée Δt.

2.2.2. On note $n(e^-)$ la quantité de matière d'électrons échangés pendant cette durée Δt. Donner l'expression de Q en fonction de $n(e^-)$, N_A et e.

2.2.3. Donner la relation entre la quantité de matière d'électrons échangés $n(e^-)$ et la quantité de matière $n_C(H_2)$. Justifier.

2.3. Durée d'autonomie de la pile GÉNÉPAC

Par construction, la durée d'autonomie de la pile est égale à la durée de fonctionnement Δt d'une cellule élémentaire.

2.3.1. Montrer que $\Delta t = \dfrac{2.n_C(H_2).N_A.e}{I}$.

2.3.2. Calculer la durée théorique Δt de fonctionnement de la pile GÉNÉPAC.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III

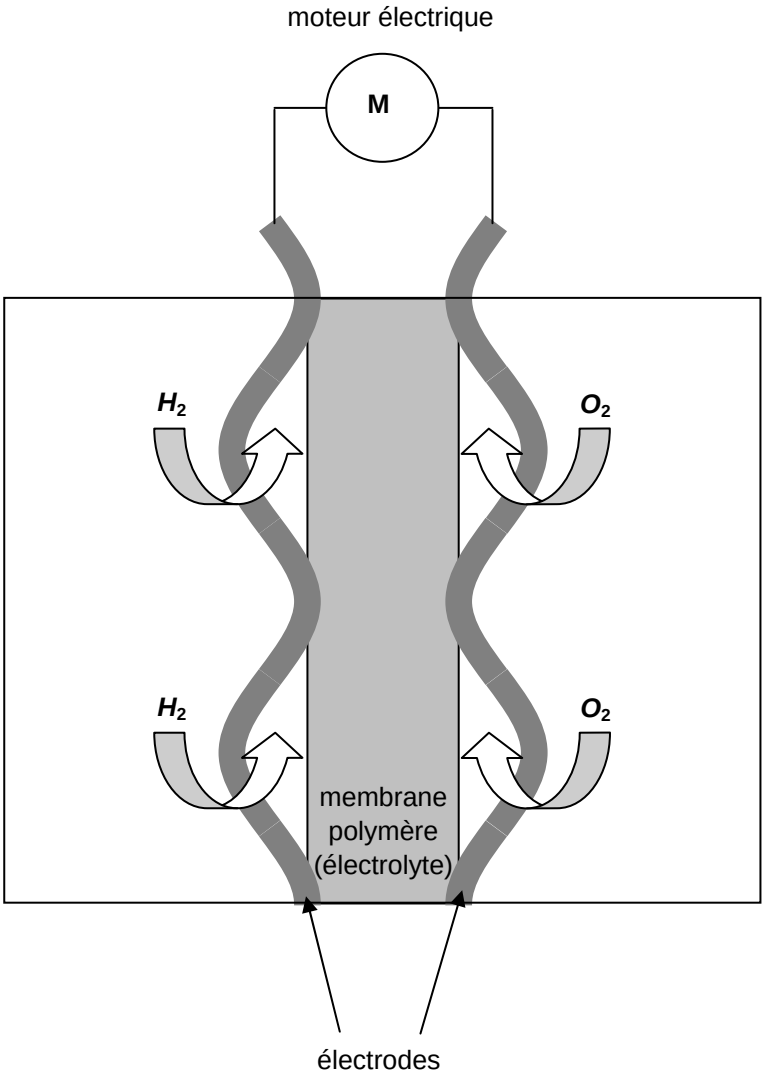


Figure 5. Schéma d'une des 170 cellules élémentaires qui alimentent le moteur