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

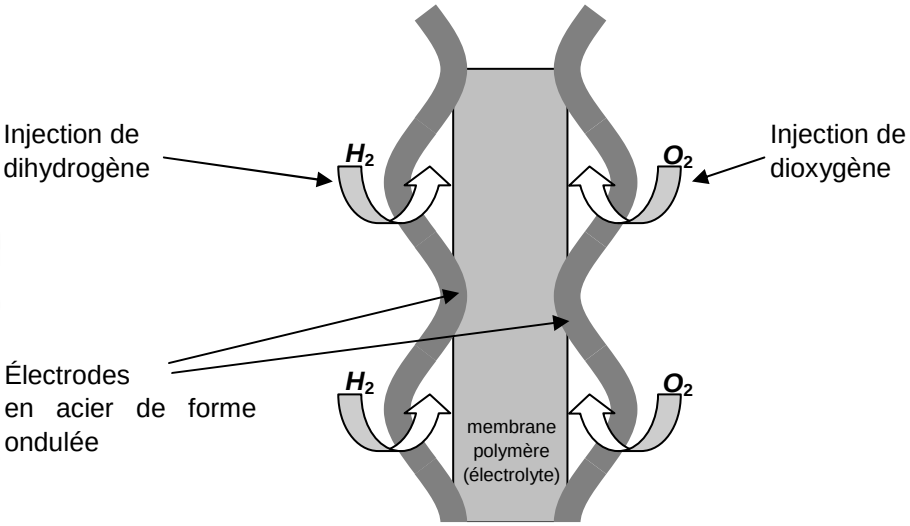


Figure 4. Schéma d'une des 170 cellules élémentaires

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

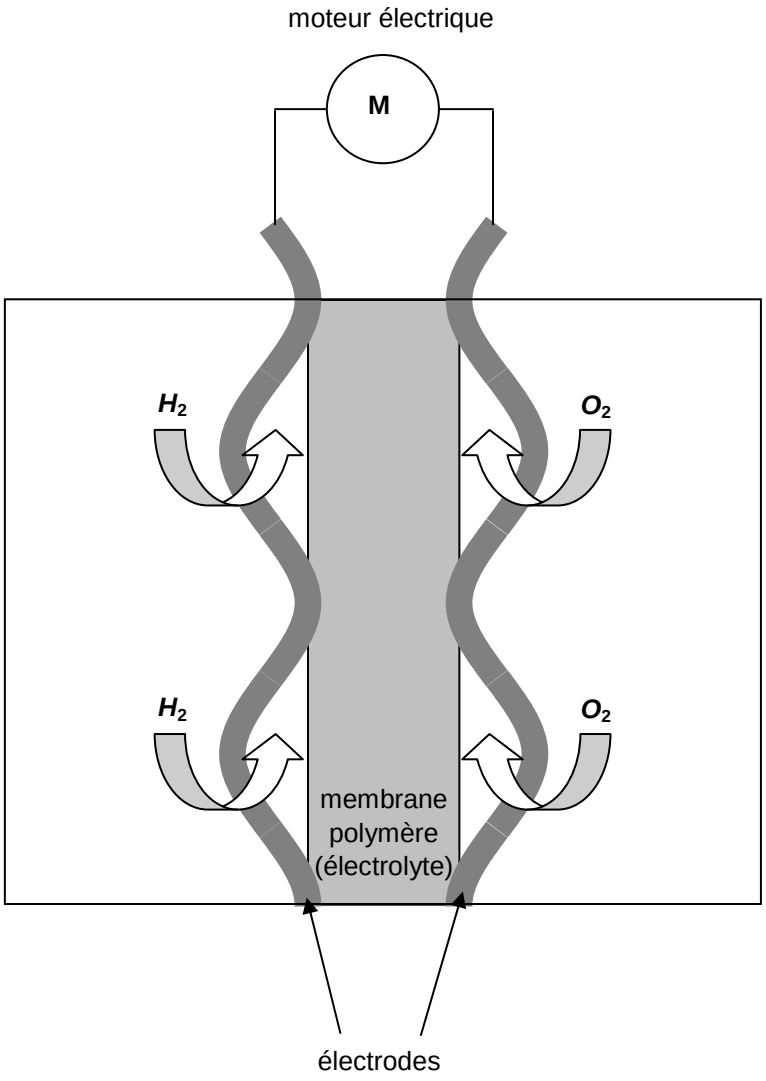


Figure 5. Schéma d'une des 170 cellules élémentaires qui alimentent le moteur