

## EXERCICE 2 (6 points)

(physique-chimie)

### La voiture à hydrogène

L'explorateur Bertrand Piccard, président de la fondation Solar Impulse et pionnier de la mobilité électrique, a battu le record du monde de distance en véhicule à hydrogène. Parti le lundi 25 novembre 2019 de la station hydrogène FaHyence de la Communauté d'Agglomération Sarreguemines Confluences, Bertrand Piccard est arrivé le lendemain au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget au terme d'un périple de 778 km. Jamais une voiture de série alimentée par une pile à hydrogène n'avait parcouru autant de kilomètres en une seule charge.



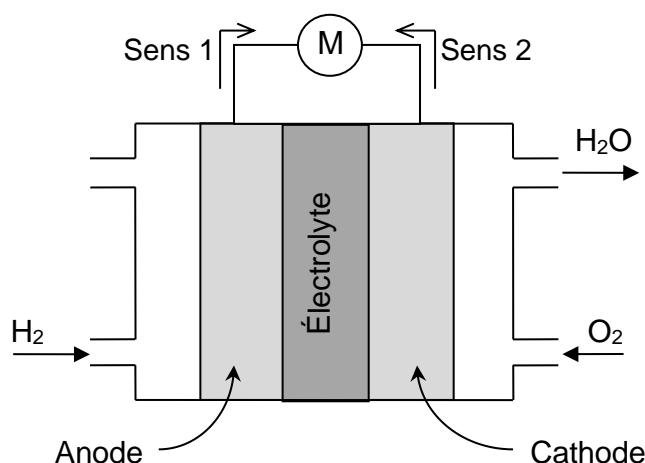
« Tout le monde peut désormais [battre des records] avec des véhicules de série zéro-émission. »

D'après <https://www.hyundai.news/fr/articles/press-releases/bertrand-piccard-devient-ambassadeur-de-hyundai-au-niveau-europeen.html>

Le dihydrogène ( $H_2$ ) des voitures à hydrogène constitue l'un des réactifs d'une pile à combustible qui alimente le moteur électrique du véhicule. En recombinant du dihydrogène et du dioxygène, il est possible de créer simultanément de l'eau, de la chaleur et de l'électricité. La pile à combustible se compose de multiples cellules électrochimiques constituées de deux électrodes (une anode qui est la borne négative et une cathode qui est la borne positive) séparées par un électrolyte (liquide ou solide permettant le transfert d'ions entre les électrodes mais bloquant les électrons). Contraints de circuler dans un circuit externe, les électrons créent ainsi un courant électrique. La production d'électricité est donc possible en tout lieu et à tout moment grâce à la combinaison d'une pile à combustible et d'un réservoir de dihydrogène.

D'après [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

Figure 1 : Schéma simplifié d'une pile à combustible



**Données :**

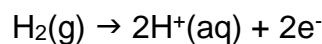
La masse molaire atomique de l'hydrogène  $M_H$  est égale à  $1,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

On indique :

- $0 \text{ K}$  correspond à  $-273 \text{ °C}$  ;
- $1,0 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

1. Préciser l'origine du dioxygène consommé dans la pile.
2. Indiquer d'après la figure 1, le sens (1 ou 2) correspondant au sens conventionnel du courant et celui correspondant au sens de circulation des électrons. Justifier.
3. En déduire l'espèce chimique jouant le rôle de réducteur et celle jouant le rôle d'oxydant dans la pile. Justifier.
4. Écrire l'équation de la réaction électrochimique modélisant la transformation qui se produit à la cathode sachant que le couple mis en jeu est  $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .

La transformation qui se produit à l'anode est modélisée par la réaction électrochimique d'équation :



5. En déduire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile.
6. Commenter le qualificatif de « véhicule zéro-émission » donné au véhicule à hydrogène.

Les réservoirs de la voiture utilisée par Bertrand Piccard contiennent  $6,33 \text{ kg}$  de dihydrogène.

7. Justifier que la quantité de matière d'électrons qui circulent est le double de la quantité de matière de dihydrogène consommé.
8. Déterminer la quantité d'électricité maximale  $Q$  libérée (en coulomb) si la totalité du dihydrogène du réservoir est consommée et sachant qu'une mole d'électrons transporte une charge de  $9,65 \times 10^4 \text{ C}$ .

À titre de comparaison, la batterie Li-ion d'un véhicule équivalent stocke une énergie de  $38,3 \text{ kWh}$  et délivre une tension de  $800 \text{ V}$ .

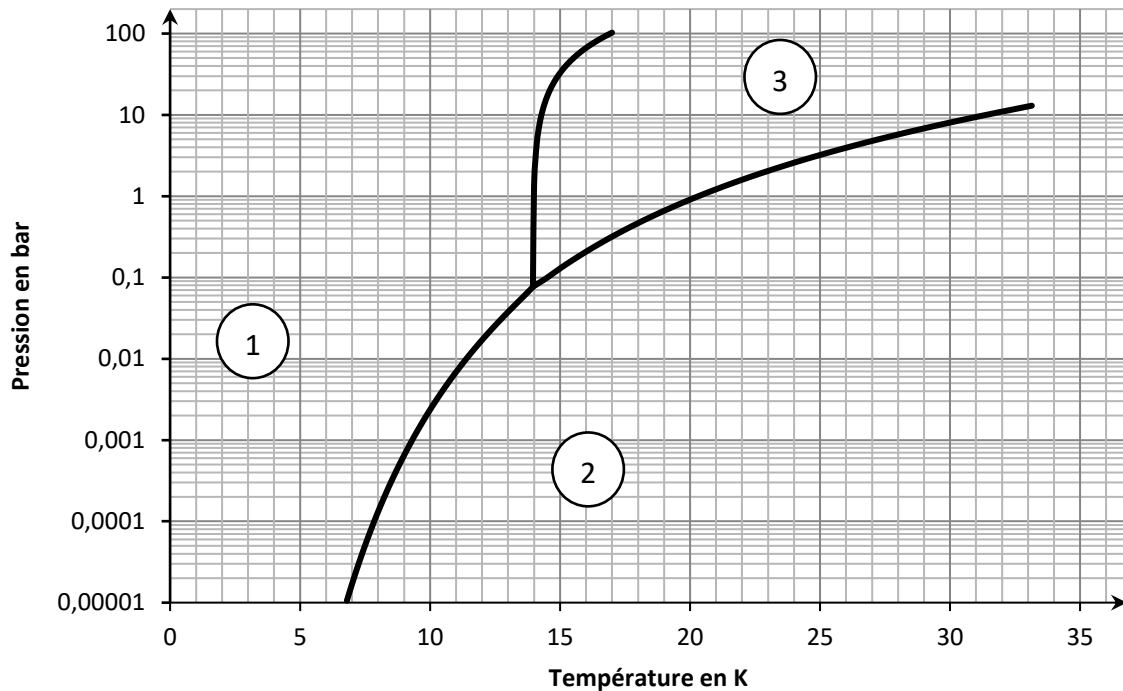
9. En déduire la capacité de la batterie Li-ion (en coulomb). Comparer cette valeur à  $Q$ .

## Le problème du stockage du dihydrogène

Aujourd'hui, le dihydrogène produit doit être comprimé ou refroidi afin d'atteindre un volume suffisamment petit pour être stocké dans un réservoir.

La technique utilisée en propulsion spatiale pour stocker un maximum d'hydrogène dans un volume restreint consiste à le conditionner à  $-253\text{ °C}$  sous une pression de 1 à 10 bar.

Figure 2 : Diagramme (P,T) du dihydrogène  $\text{H}_2$



D'après <https://encyclopedia.airliquide.com/fr>

10. Indiquer les états physiques du dihydrogène dans les zones 1, 2 et 3.


11. En déduire l'état physique du dihydrogène dans le réservoir.

La majeure partie des constructeurs automobiles a choisi de stocker le dihydrogène sous forme gazeuse à haute pression, typiquement 700 bars.

Plasma Kinetics, une start-up, a développé un moyen sûr de stocker le dihydrogène à pression atmosphérique standard et à température ambiante. Le gaz est piégé dans une fine pellicule de film « nanophotonique » enroulée sur elle-même des milliers de fois dans une bobine et stockée dans un boîtier.

D'après [www.popularmechanics.com/science](http://www.popularmechanics.com/science) et <https://plasmakinetics.com/>

Quelques éléments de comparaison :

Type de stockage	Plasma Kinetics	Réservoir actuel
Température de stockage	25 °C	25 °C
Pression de stockage	1 bar	700 bar
Coût énergétique du stockage	8,7 kWh/kg	6,5 kWh/kg
Pictogrammes de sécurité	-	
Énergie massique stockée	1 kWh/kg	1,8 kWh/kg
Énergie volumique stockée	0,806 kWh/L	1,3 kWh/L

*D'après <https://plasmakinetics.com/>*

**12.** Identifier les deux pictogrammes du tableau précédent.

**13.** Déterminer au moins un avantage et un inconvénient de la solution de stockage de Plasma Kinetics sur la solution de stockage actuelle.