

SESSION 2023

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR MAINTENANCE DES VÉHICULES

Option A : Voitures particulières
Option B : Véhicules de transport routier
Option C : Motocycles

Durée : 2 heures
Coefficient : 2

ET

DIPLÔME D'EXPERT EN AUTOMOBILE

Durée : 2 heures
Coefficient : 1

U32 : Physique - Chimie

Matériel autorisé :

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.

Ce sujet comporte quatre parties indépendantes abordant chacune quelques caractéristiques des « voitures à hydrogène ».

Partie A : Production du dihydrogène par électrolyse (sur 6 points)

Partie B : Stockage du dihydrogène (sur 6 points)

Partie C : Fonctionnement de la pile à hydrogène (sur 4 points)

Partie D : Étude de la partie onduleur d'un véhicule (sur 4 points)

Le barème est sur 20 points.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7.

Le document-réponse de la page 7/7 est à compléter et à joindre impérativement à la copie.

BTS MAINTENANCE DES VÉHICULES	Session 2023
U32 – PHYSIQUE-CHIMIE	Durée : 2 heures
Code sujet : 23ML32PHC	Page 1 sur 7

La voiture à hydrogène

Une voiture à hydrogène est, dans son principe, une voiture électrique qui fabrique sa propre électricité grâce à une pile à combustible, souvent identifiée par l'acronyme PAC. Elle offre donc les avantages de la voiture électrique, c'est-à-dire, aucune émission de CO_2 pendant son usage et un silence de fonctionnement.

L'autonomie est directement liée à la quantité de dihydrogène embarquée. De ce fait, les automobiles utilisent des géométries de pile à combustible adaptées pour un faible encombrement et une meilleure efficacité de fonctionnement.

Des améliorations ont été apportées aux matériaux utilisés et désormais les réservoirs de dihydrogène, équipant les véhicules utilisant une PAC, retiennent efficacement le dihydrogène comprimé à haute pression.

A. Production du dihydrogène par électrolyse (6 points)

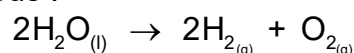
Données :

Masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$

Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

$1 \text{ kW.h} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

La méthode de production de dihydrogène consiste à effectuer une électrolyse de l'eau, selon la réaction décrite ci-dessous :



De l'énergie, apportée sous forme électrique, permet ainsi la dissociation de la molécule d'eau et la production de dihydrogène, compatible avec l'utilisation d'une pile à combustible, et de dioxygène.

A.1. D'après l'équation de la réaction d'électrolyse, donner la relation liant la quantité de matière d'eau $n_{(\text{H}_2\text{O})}$ consommée à la quantité de matière de dihydrogène $n_{(\text{H}_2)}$ produite.

A.2. Rappeler la relation liant la masse m d'une entité chimique, exprimée en g, à la quantité de matière n correspondante, exprimée en mol.

On notera M la masse d'une mole, exprimée en g.mol^{-1} , de l'entité chimique.

On entend par « entité chimique » une particule élémentaire, un atome, un ion ou une molécule.

A.3. Calculer la quantité de matière de dihydrogène $n_{(\text{H}_2)}$ correspondant à la production d'une masse de dihydrogène $m_{(\text{H}_2)} = 5,0 \text{ kg}$.

En déduire la masse d'eau $m_{(\text{H}_2\text{O})}$ qu'il faut transformer pour produire cette masse de dihydrogène.

A.4. Déterminer le volume d'eau correspondant $V_{(\text{H}_2\text{O})}$.

A.5. L'énergie électrique qu'il faut fournir lors de l'électrolyse pour décomposer une mole d'eau est $W_e = 240 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

BTS MAINTENANCE DES VÉHICULES	Session 2023
U32 – PHYSIQUE-CHIMIE	Durée : 2 heures
Code sujet : 23ML32PHC	Page 2 sur 7

Calculer l'énergie électrique totale W_{et} nécessaire pour produire une masse de dihydrogène $m_{(\text{H}_2)} = 5,0 \text{ kg}$.

Exprimer W_{et} en kW.h.

A.6. Avec un réservoir contenant 5 kg de dihydrogène, une automobile fonctionnant avec une pile à hydrogène a une autonomie de 650 km environ en roulant à la vitesse de 110 km.h^{-1} . Le prix du kW.h s'élevait à l'époque à environ 0,20 €.

Discuter, en rédigeant quelques lignes et en vous appuyant sur vos connaissances personnelles ainsi que sur les données de l'énoncé, de l'intérêt d'un tel véhicule à hydrogène comparé à celui d'un véhicule à moteur thermique qui consomme, à 110 km.h^{-1} , environ 6 litres d'essence aux 100 km, sachant que le prix moyen du litre d'essence est d'environ 1,8 €. Le réservoir d'essence contient 39 L.

B. Stockage du dihydrogène (6 points)

Les constructeurs automobiles ont retenu la solution du stockage du dihydrogène, qui est sous forme gazeuse à température ambiante, à haute pression dans un réservoir en composite. Cette technologie permet de stocker la quantité d'hydrogène nécessaire à une voiture alimentée par une pile à combustible (PAC) pour parcourir plusieurs centaines de kilomètres entre chaque plein.

On assimile le dihydrogène à un gaz parfait.

La loi des gaz parfaits s'exprime par la relation suivante :

$$PV = nRT$$

où, P est la pression du gaz, exprimée en pascals (Pa) ;

V , le volume qu'il occupe en mètres-cube (m^3) ;

n , la quantité de matière correspondante de gaz en moles (mol).

T est la température du gaz, exprimée en kelvins (K).

R est une constante, appelée constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

On rappelle la relation liant la température exprimée en K et la température exprimée en °C :

$$T_{(\text{K})} = T_{(^{\circ}\text{C})} + 273 \text{ K}$$

B.1. On souhaite stocker une masse $m = 5,0 \text{ kg}$ de dihydrogène gazeux sous la pression atmosphérique standard, $P_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ et à la température ambiante $T_0 = 293 \text{ K}$.

Déterminer le volume V_0 du réservoir. Commenter ce résultat.

B.2. Le dihydrogène gazeux est en fait placé dans un réservoir de volume $V = 87 \text{ L}$ à la température ambiante T_0 .

Calculer la pression P du dihydrogène dans l'enceinte du réservoir puis comparer cette valeur à celle de la pression atmosphérique standard.

B.3. Le constructeur précise que le réservoir a une pression de rupture, notée P_r , égale à 2,35 fois la pression de service P calculée à la question B.2.

BTS MAINTENANCE DES VÉHICULES	Session 2023
U32 – PHYSIQUE-CHIMIE	Durée : 2 heures
Code sujet : 23ML32PHC	Page 3 sur 7

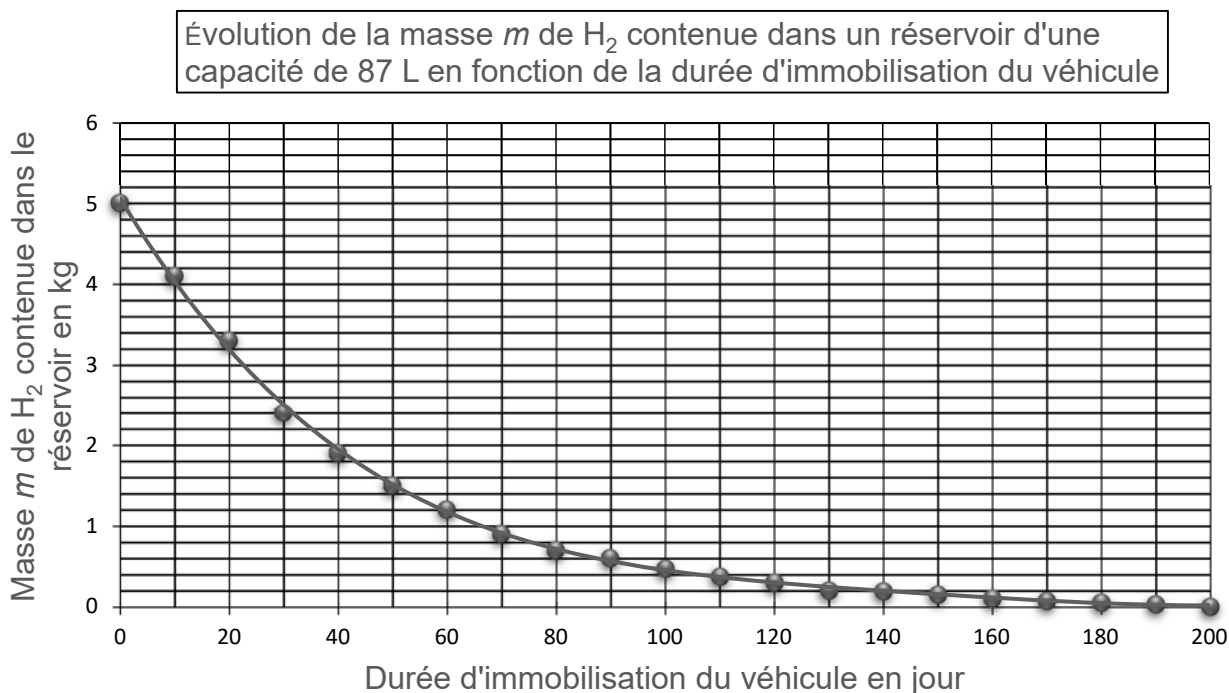
Déterminer la pression de rupture P_r du réservoir.

B.4. En déduire la température T_r à partir de laquelle la pression P du gaz deviendrait comparable à la pression de rupture du réservoir ; exprimer T_r en $^{\circ}\text{C}$. Commenter en indiquant une situation qui pourrait devenir dangereuse pour le propriétaire d'un véhicule à hydrogène.

B.5. Malgré les prouesses technologiques actuelles, il n'est pas possible de garantir une étanchéité parfaite des réservoirs. La molécule de dihydrogène étant la plus petite de toutes les molécules, les fuites sont inévitables. Il faut donc les minimiser. Les réservoirs embarqués sur les véhicules doivent répondre à un taux de fuite de dihydrogène maximal de 1,0 g de H_2 par kg de dihydrogène stocké et par heure. Ce qui correspond à un taux de fuite maximal de dihydrogène par seconde égal à :

$$\alpha = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}.$$

On donne ci-dessous l'allure de la courbe représentant la masse m de dihydrogène contenu dans le réservoir d'un véhicule resté immobilisé en fonction du temps exprimé en jours.



On peut considérer le réservoir totalement vide pour $t = 5\tau$, avec τ la constante de temps correspondant à la durée au bout de laquelle il n'y a plus que 37 % de la masse initiale du réservoir.

B.5.1. À partir de la courbe ci-dessus, déterminer de manière graphique la constante de temps τ , que l'on exprimera en jours.

B.5.2 Vérifier que :

$$\tau \approx \frac{1}{\alpha}$$

B.5.3. Conclure sur la façon d'utiliser un véhicule à hydrogène avec ce type

BTS MAINTENANCE DES VÉHICULES	Session 2023
U32 – PHYSIQUE-CHIMIE	Durée : 2 heures
Code sujet : 23ML32PHC	Page 4 sur 7

de réservoir.

C. Fonctionnement de la pile à hydrogène (4 points)

La transformation chimique au sein de la pile à combustible ou pile à hydrogène met en présence deux couples d'oxydoréduction : $H^+_{(aq)} / H_{2(g)}$ et $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$.

C.1 Écrire les demi-équations électroniques des réactions à chaque électrode quand la pile débite, c'est-à-dire quand elle consomme le dihydrogène. Préciser pour chaque demi-équation s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

C.2. En déduire l'équation décrivant la réaction chimique globale mise en jeu dans la pile à combustible.

C.3. Sur le **document-réponse 1 page 7**, indiquer :

- Le sens conventionnel de circulation du courant électrique.
- La polarité et le nom de chaque électrode.

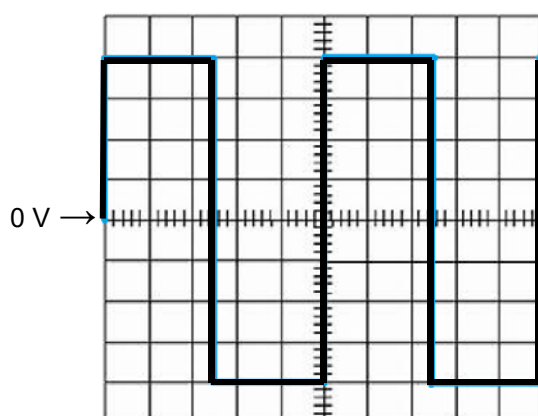
D. Étude de la partie onduleur du véhicule (4 points)

Pour alimenter le moteur électrique du véhicule, la tension électrique continue produite par la pile à combustible doit être convertie en un réseau de tensions alternatives triphasées. C'est le rôle de l'onduleur.

On se limitera à l'étude d'une branche de l'onduleur (aucune connaissance sur l'onduleur triphasé n'est nécessaire).

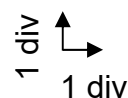
D.1. L'onduleur est un convertisseur statique. Donner le type de conversion qu'il effectue.

D.2. On donne ci-dessous, l'oscillogramme de la tension de sortie $v(t)$ lorsque la commande se fait de manière symétrique.



Sensibilité horizontale : 1 ms.div⁻¹
(ou base de temps)

Sensibilité verticale : 100 V.div⁻¹

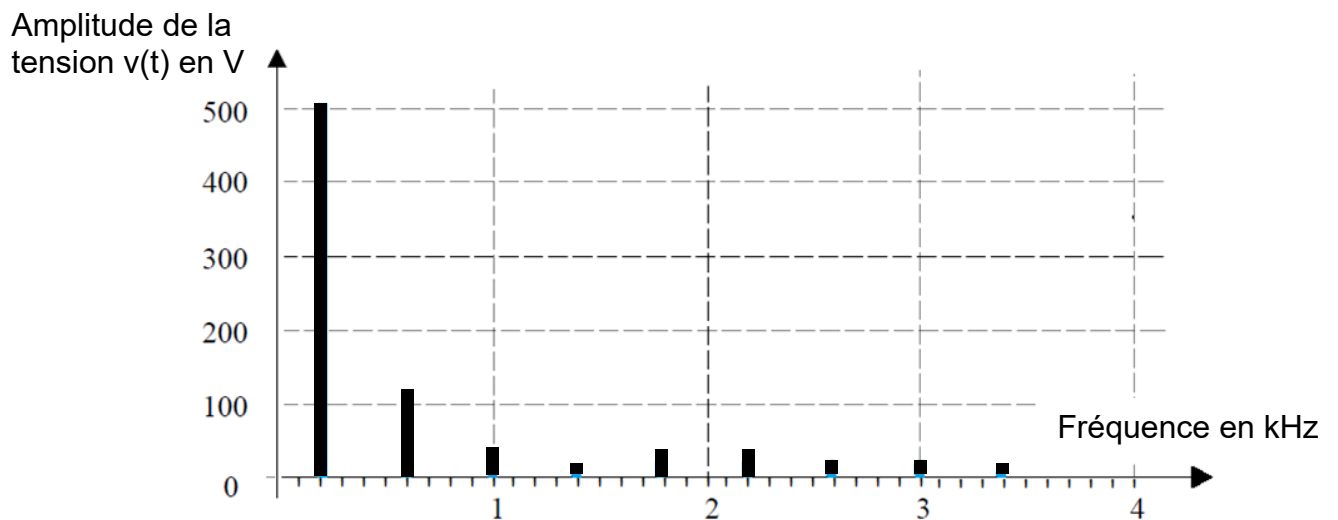


D.2.1. Déterminer la valeur maximale V_M de la tension $v(t)$, puis la valeur moyenne V_{moy} de la tension $v(t)$.

BTS MAINTENANCE DES VÉHICULES	Session 2023
U32 – PHYSIQUE-CHIMIE	Durée : 2 heures
Code sujet : 23ML32PHC	Page 5 sur 7

D.2.2. Déterminer la fréquence f de la tension de sortie $v(t)$.

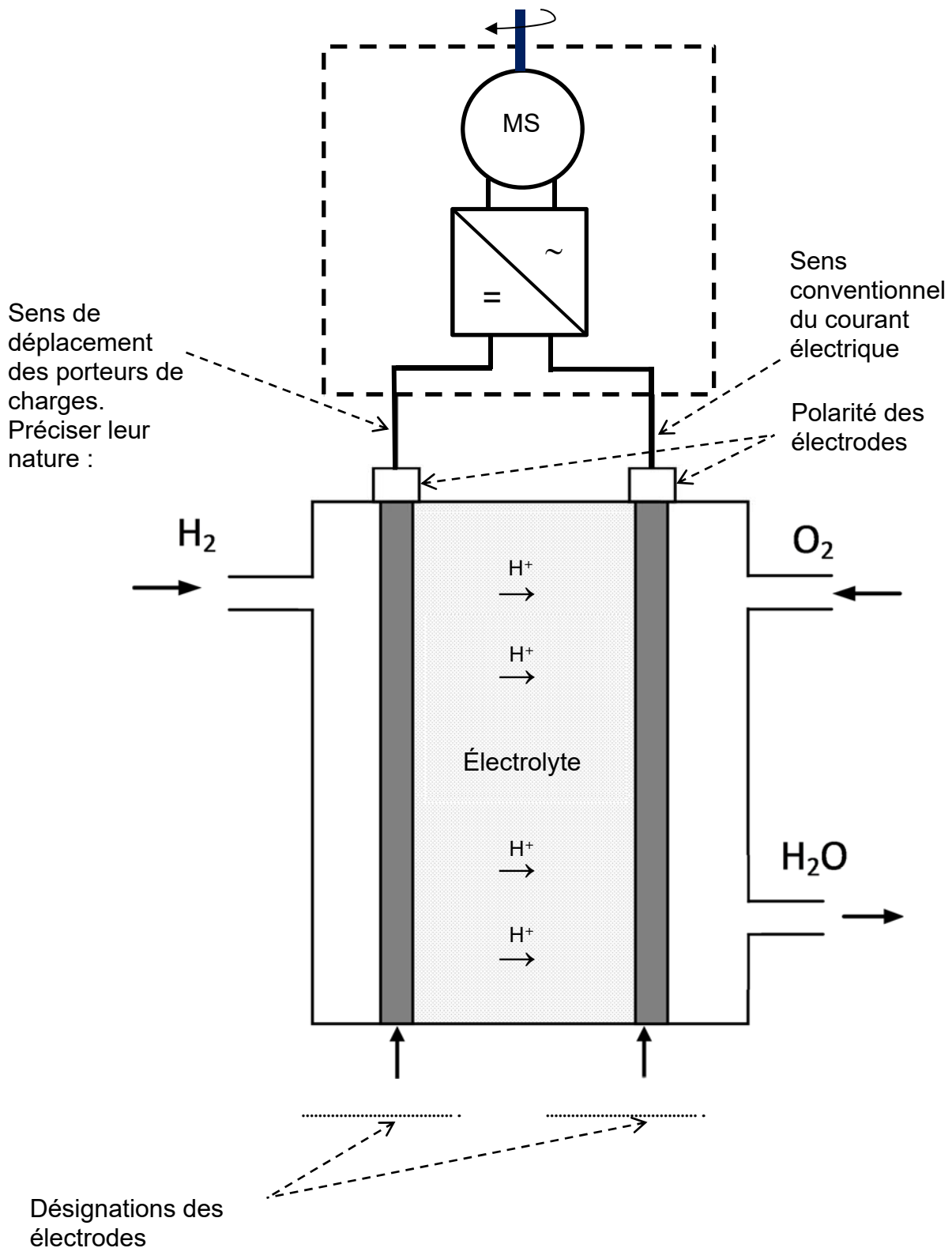
D.3 L'analyse spectrale de la tension de sortie $v(t)$ fournit le spectre ci-après.



D.3.1 Justifier, en faisant référence au spectre ci-dessous, que la valeur moyenne de la tension $v(t)$ est en accord avec celle de la réponse à la question D.2.1 (V_{moy}).

D.3.2 Justifier, en faisant référence au spectre ci-dessous, que la fréquence de la tension $v(t)$ est en accord avec celle de la réponse à la question D.2.2 (f).

DOCUMENT-RÉPONSE : à rendre avec la copie



BTS MAINTENANCE DES VÉHICULES	Session 2023
U32 – PHYSIQUE-CHIMIE	Durée : 2 heures
Code sujet : 23ML32PHC	Page 7 sur 7

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

(en majuscules)

[illegible][illegible]

--	--	--



(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)