

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR AÉRONAUTIQUE

## ÉPREUVE DE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

SESSION 2014

\_\_\_\_\_

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

\_\_\_\_\_

**Matériel autorisé :**

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

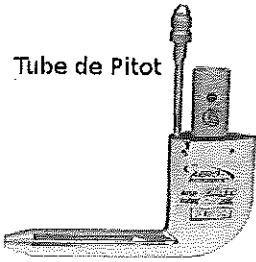
**Document à rendre et àagrafer avec la copie :**

- Document réponse n° 1 ..... page 6/7  
- Document réponse n° 2 ..... page 7/7

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7.**

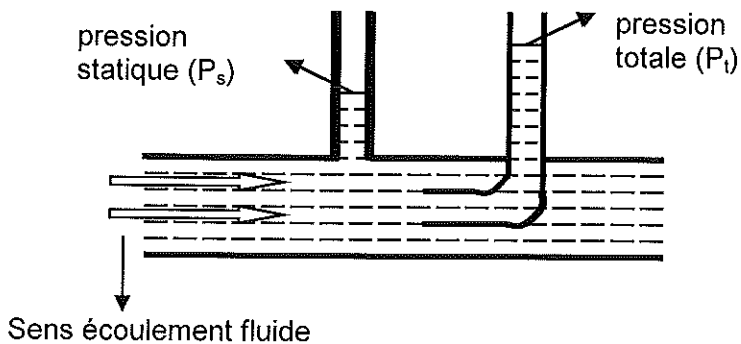
## EXERCICE 1 : ANÉMOMÈTRE

L'anémomètre permet de mesurer la vitesse d'un avion. Il est constitué d'un tube de Pitot.



Le fluide en mouvement (l'air) passe dans le tube avec une vitesse d'écoulement  $v$  (on considérera le fluide incompressible de masse volumique  $\rho$  constante). Un manomètre différentiel permet de mesurer la pression dynamique du fluide  $P = P_t - P_s$  où  $P_t$  représente la pression totale et  $P_s$  représente la pression statique du fluide.

Sonde de Pitot : schéma simplifié



On donne : pression totale

$$P_t = P_s + \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

- 1 - Donner l'expression de la pression dynamique  $P = P_t - P_s$  en fonction de la masse volumique  $\rho$  et de la vitesse  $v$ .
  - 2 - En déduire l'expression de la vitesse  $v$  en fonction de  $P_t - P_s$  et de  $\rho$ .
  - 3 - Calculer la vitesse de l'avion en  $\text{km.h}^{-1}$  si le manomètre indique une pression dynamique  $P = 1\,000 \text{ Pa}$  (la masse volumique de l'air supposée constante est de  $1,184 \text{ kg.m}^{-3}$ ).
- Afin d'éviter que le givre ne bouche le tube, l'anémomètre est pourvu d'un système électrique de dégivrage constitué d'une résistance chauffante  $R = 2,0 \, \Omega$  intégrée à l'anémomètre et alimentée sous une tension  $U = 28 \text{ V}$ .
- 4 - Calculer l'intensité  $I$  du courant circulant dans la résistance.
  - 5 - Calculer la puissance  $P_J$  dissipée par effet Joule par la résistance.
  - 6 - Calculer l'énergie électrique  $W_J$  dissipée dans la résistance si elle est alimentée pendant une durée  $t = 5 \text{ min}$ .
  - 7 - Calculer la quantité de glace  $m$  (à  $-15^\circ \text{ C}$ ) qui peut être transformée en eau liquide (à  $0^\circ \text{ C}$ ) par la résistance chauffante en 5 minutes.

**Données** : Capacité thermique massique de la glace :  $c_g = 2090 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Chaleur latente massique de fusion de la glace à  $0^\circ \text{ C}$  :  $L_{\text{SOLIDE} \rightarrow \text{LIQUIDE}} = L = 333 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

## EXERCICE 2 : PILE À COMBUSTIBLE

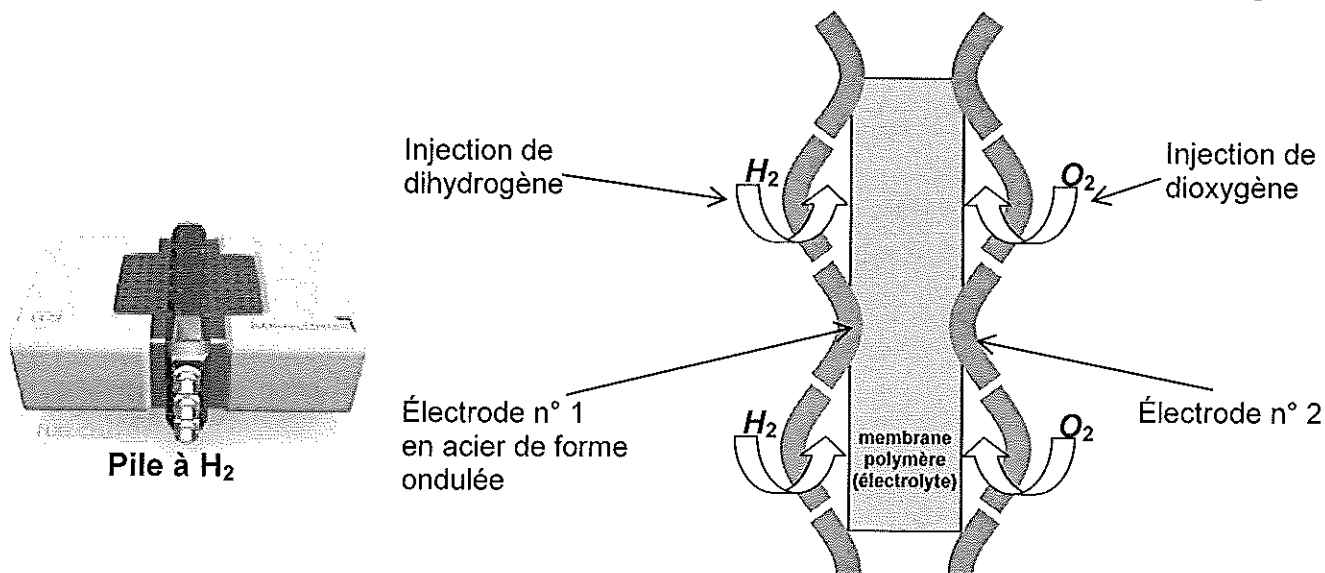
Airbus a testé avec succès des piles à combustible en vol. Pour la première fois sur un avion commercial, les systèmes de secours des générations électrique et hydraulique étaient commandés par cette source d'énergie innovante. L'essai, s'inscrit dans les objectifs d'Airbus visant à développer une industrie aéronautique éco-efficace. Il contribue à la recherche actuelle, dans le domaine de l'aviation civile, visant à évaluer l'utilisation potentielle et les bénéfices environnementaux qu'offrent la technologie des piles à combustible et la génération d'énergie "zéro émission".



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 composée de deux électrodes, de forme ondulée, séparées par un électrolyte (**figure 1**).

L'électrolyte est constitué d'une membrane polymère échangeuse de protons  $H^+$ .

Lorsque le réservoir de dihydrogène est plein, la masse du dihydrogène disponible est de 3,0 kg.



**Figure 1**

### Données :

- masse molaire atomique :  $M(H) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;
- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;
- charge électrique élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ;
- couples d'oxydo-réduction mis en jeu dans la réaction :  $H^+_{(aq)} / H_{2(g)}$  et  $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$ .

### 1 - Principe de fonctionnement d'une cellule

#### 1.1 - Réactions dans la cellule

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

1.1.2 - Préciser pour chaque demi-équation 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 :  $2 H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2 H_2O_{(l)}$ .

## 1.2 - Mouvement des porteurs de charge

Sur la figure 2 du document réponse n°1 page 6, 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).

## 2 - Durée d'autonomie de la pile à combustible

Dans certaines conditions d'utilisation, on peut considérer que le courant circulant dans une cellule est constant, d'intensité  $I = 120 \text{ A}$ .

### 2.1 - Quantité de matière de dihydrogène

En utilisant la masse de dihydrogène disponible dans le réservoir plein, calculer la quantité de matière de dihydrogène  $n_{H_2}$  correspondante.

### 2.2 - Quantité d'électricité

On note  $\Delta t$  la durée de fonctionnement d'une cellule.

2.2.1 - Donner l'expression de la quantité d'électricité  $Q$  échangée par la pile à hydrogène pendant une durée  $\Delta t$ .

2.2.2 - On note  $n_{e^-}$  la quantité de matière d'électrons échangés pendant cette durée  $\Delta t$ . 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  $n_{H_2}$ . Justifier.

### 2.3 - Durée d'autonomie de la pile à combustible

Par construction, la durée d'autonomie de la pile est égale à la durée de fonctionnement  $\Delta t$  d'une cellule élémentaire.

Montrer que :  $\Delta t = \frac{2 \cdot n_{H_2} \cdot N_A \cdot e}{I}$ .

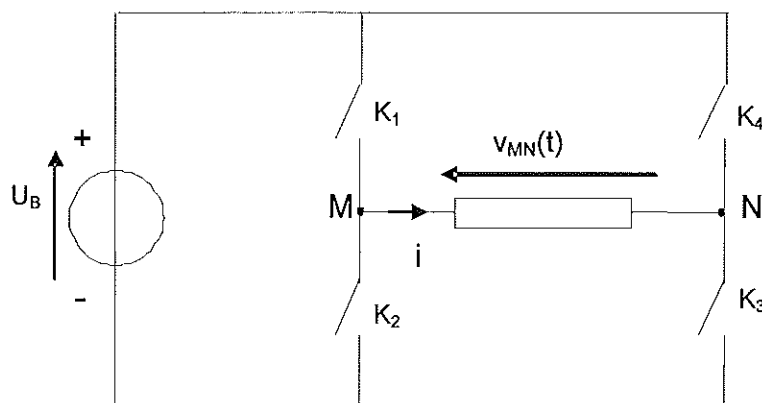
Calculer la durée théorique  $\Delta t$  en secondes, de fonctionnement de la pile à hydrogène.

## EXERCICE 3 : ÉTUDE DE L'ONDULEUR DE SECOURS

Dans le cas, extrêmement improbable, où les différents alternateurs seraient tous hors service, il est encore possible d'alimenter les organes essentiels de l'avion pendant une demi-heure par l'intermédiaire d'un onduleur autonome dit "convertisseur de dernier secours". Celui-ci permet de reconstituer un réseau alternatif 115 V / 400 Hz monophasé à partir d'une batterie délivrant une tension continue  $U_B$ .

Un onduleur en pont complet fournit la tension  $v_{MN}(t)$  (figure 3),

Le schéma de principe de cet onduleur est le suivant :



**Figure 3**

L'onduleur proposé sera associé à un filtre.

Le cahier des charges de cette association est donné ci dessous :

Valeur efficace du fondamental de la tension de sortie du filtre	115 V
Fréquence de sortie	400 Hz

### Étude des tensions de sortie de l'onduleur

1 - On envisage le cas d'une commande "pleine onde" selon la loi définie sur le document réponse 2.

1.1 - Tracer le graphe de la tension  $v_{MN}(t)$  sur le document réponse 2 (à rendre avec la copie).

1.2 - Exprimer, en justifiant, la valeur efficace  $V_{MN}$  de  $v_{MN}(t)$  en fonction de  $U_B$ .

2 - La décomposition harmonique (série de Fourier) de  $v_{MN}(t)$  est la suivante :

$$v_{MN}(t) = \frac{4U_B}{\pi} \left[ \sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$

2.1 - Donner l'expression de  $v_1(t)$ , fondamental de  $v_{MN}(t)$ .

En déduire l'expression de sa valeur efficace  $V_1$  en fonction de  $U_B$ .

2.2 - Quelle devrait être la valeur de  $U_B$  pour obtenir  $V_1 = 115 \text{ V}$  ?

2.3 - La distorsion globale de la tension de sortie  $v_{MN}(t)$  dépend du taux d'harmoniques :

$$\text{on montre que } d_g = \frac{\sqrt{V_{MN}^2 - V_1^2}}{V_1}.$$

Calculer  $d_g$  dans le cas précédent.

2.4 - Tracer sur le document réponse 2 (à rendre avec la copie) la décomposition spectrale de  $v_{MN}(t)$ . Préciser l'amplitude maximale du fondamental et des harmoniques.

2.5 - Quel type de filtre doit-on placer en sortie de l'onduleur pour diminuer la distorsion globale  $d_g$  ? Justifier.