

L'industrie automobile est amenée à concevoir de nouvelles technologies afin de prendre en compte l'épuisement des ressources naturelles pétrolières. Ces nouvelles technologies ont aussi pour objectif de réduire l'émission de dioxyde de carbone ainsi que la pollution.

Plusieurs constructeurs proposent à la location des véhicules équipés d'une pile à combustible (PAC). Il s'agit souvent de systèmes hybrides associant une pile à combustible à dihydrogène et une source secondaire d'énergie réversible (batterie ou supercondensateur). Ces différentes sources d'énergies, associées à l'électronique de puissance, alimentent un moteur électrique.

Partie A – L'hydrogène, vecteur énergétique utilisé dans l'automobile

Données :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Masse molaire atomique de l'hydrogène : $M(\text{H}) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Pression atmosphérique normale : $P_0 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,01 \text{ bar}$

Volume molaire d'un gaz à 20°C et sous la pression P_0 : $V_m = 24,1 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

Constante de Faraday : $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

I – Stockage du dihydrogène dans un véhicule équipé de pile à combustible

I.1. Le dihydrogène est assimilé à un gaz parfait.

Une masse $m = 6,80 \text{ kg}$ de dihydrogène gazeux est stockée, sous la pression atmosphérique normale P_0 et à la température de 20 °C soit environ $T_0 = 273 \text{ K}$.

I.1.1. Calculer la quantité de matière (nombre de moles) de dihydrogène correspondant à $m = 6,80 \text{ kg}$.

I.1.2. Donner l'équation d'état des gaz parfaits en précisant la signification des lettres utilisées et l'unité de chaque grandeur.

I.1.3. Montrer que le volume V_0 occupé par 6,80 kg de dihydrogène sous la pression atmosphérique $P_0 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$ et à la température de 20 °C est supérieur à 80 m³.

I.1.4. En déduire que le stockage d'une telle quantité de dihydrogène à la pression atmosphérique normale n'est pas envisageable dans un véhicule.

I.2. Le stockage du dihydrogène s'effectue dans des conteneurs composites en matériau polymère étanche au gaz et résistant aux fortes pressions.

I.2.1. Si le dihydrogène contenu dans le véhicule est considéré comme un gaz parfait, la pression P du gaz en fonction du volume occupé V à la température constante de 20 °C est représentée sur le document 1 à rendre avec la copie. Une masse de 6,80 kg de dihydrogène gazeux est placée dans un réservoir de volume interne $V = 150 \text{ L}$, à la température $T_0 = 273 \text{ K}$.

Déterminer graphiquement la pression P à l'intérieur du réservoir.

I.2.2. A partir du tableau ci-dessous, indiquer si le dihydrogène peut être considéré comme parfait dans le réservoir du véhicule. Justifiez brièvement votre réponse.

Valeurs réelles de la pression du dihydrogène à la température ambiante en fonction du volume :

P (bar)	T (K)	V (m ³)
1,0	293	82
700	293	$150 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

II - La pile à combustible à dihydrogène

A - Etude de la réaction chimique

Le schéma d'un élément de pile à combustible à membrane échange de protons (PEMFC : proton exchange membrane fuel ceps) est représenté sur le document 2 à rendre avec la copie.

Deux électrodes, l'anode et la cathode sont séparées par un électrolyte. Les transformations chimiques sont possibles grâce à la présence d'un catalyseur.

A l'anode, le combustible utilisé est le dihydrogène H_2 du couple $H^+(aq)/H_2(g)$, selon la demi-équation électronique : $H_2(g) = 2 H^+(aq) + 2 e^-$.

A la cathode, le comburant mis en jeu est le dioxygène O_2 du couple $O_2(g)/H_2O(l)$, selon la demi-équation électronique : $O_2(g) + 4 H^+(aq) + 4 e^- = 2 H_2O(l)$.

II.1. Sur le document 2, indiquer le sens de déplacement des électrons dans le récepteur ainsi que le sens du courant électrique qui le traverse.

II.2. Ecrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction qui se produit dans la pile.

B - Etude d'une cellule

II.3. On dispose d'une cellule élémentaire de pile à combustible de type PEMFC comportant deux réservoirs permettant de stocker le dioxygène et le dihydrogène.

Au cours de son fonctionnement, elle consomme du dihydrogène et du dioxygène.

On étudie la consommation de dihydrogène en fonction du temps. Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau ci-dessous :

V(H_2) (en mL)	0	20	40	60	80	100	120	140
t (en s)	0	11	24	35	47	60	71	83

Le graphe $V(H_2) = f(t)$ et sa modélisation sont représentés sur le document 3.

II.3.1.

- Donner le coefficient directeur de la droite en précisant son unité.
- En déduire la consommation volumique moyenne de dihydrogène en $L.s^{-1}$.

II.3.2. Le volume molaire dans les conditions de l'expérience est $V_m = 24,1 L.mol^{-1}$.

Montrer que la consommation molaire moyenne de dihydrogène, notée $\frac{n(H_2)}{t}$ vaut $7,00 \times 10^{-5} mol.s^{-1}$.

II.3.3. A partir de la demi-équation de la réaction qui se produit à l'anode, montrer que la quantité de matière d'électrons échangés notée $n(e)$ et la quantité de matière de dihydrogène consommée notée $n(H_2)$ vérifient :

$$n(e) = 2 n(H_2)$$

II.3.4. Montrer que l'intensité débitée par la cellule vaut $I = 13,5 A$. On rappelle la relation donnant la quantité d'électricité débitée : $Q = I t = n(e) F$.

où I est l'intensité en ampère du courant qui parcourt le circuit, t la durée de fonctionnement en seconde et F la constante de Faraday en $C.mol^{-1}$.

II.3.5. La tension disponible aux bornes d'une cellule élémentaire est égale à $U = 0,8 V$. Calculer la puissance P_M fournie par cette cellule.

C - Utilisation de la pile pour un véhicule

II.4.1. La pile à combustible d'un véhicule en circulation est un groupement de cellules élémentaires. La puissance P_T que doit fournir cette pile est égale à 35 kW. Calculer N_C , le nombre de cellules nécessaires.

II.4.2. On supposera pour cette question que $N_C = 3250$. On rappelle que la consommation molaire moyenne de dihydrogène, notée $\frac{n(H_2)}{t}$ vaut $7,00 \times 10^{-5} \text{ mol.s}^{-1}$ et que le réservoir contient $n = 3400 \text{ mol}$ de dihydrogène.

Calculer la durée de fonctionnement en secondes, puis en heures, d'un véhicule qui consomme en permanence la puissance P_T .

Partie B - Le supercondensateur, source d'énergie

III - Etude d'un « super condensateur »

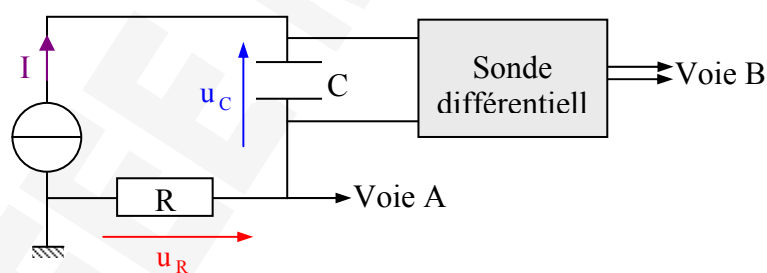
Un supercondensateur a une capacité **beaucoup plus élevée** qu'un condensateur électrochimique classique. On donne ci-dessous plusieurs caractéristiques physiques d'un élément unitaire d'une batterie de supercondensateurs :

Tension nominale :	2,7 V
Courant pic maximal :	600 A
Masse :	600 g
Energie spécifique (2,7 V ; 25 °C) :	5,3 Wh / kg
Puissance spécifique maximale (2,7 V ; 25 °C) :	20 kWh / kg

Au cours de cette étude, on se propose de déterminer expérimentalement la valeur de la capacité C du supercondensateur utilisé.

III.1. Etude de la charge à courant constant

On considère le schéma du circuit ci-dessous :



III.1.1. La valeur de la résistance de visualisation est $R = 50 \text{ m}\Omega$.

- Montrer que u_R , la tension aux bornes de la résistance, est l'image de l'intensité I .
- A l'aide du schéma ci-dessus, déduire la nature du générateur utilisé.
- Sur le chronogramme du document 4, les voies A et B sont réglées sur les calibres 100 mV / division et la position du zéro est décalée de la même façon pour les deux voies.
A partir du chronogramme du document 4, vérifier que $I = 10 \text{ A}$.
- On peut utiliser diverses résistances de $50 \text{ m}\Omega$ dont les puissances maximales d'utilisation sont :

3 W ; 10 W ; 25 W et 50 W.

Plus la puissance est élevée, plus le prix est important. A l'aide du calcul de la puissance consommée, déterminer le meilleur choix.

III.1.2. Donner la propriété essentielle d'une sonde de mesure de tension différentielle.

Justifier son utilisation pour visualiser u_C .

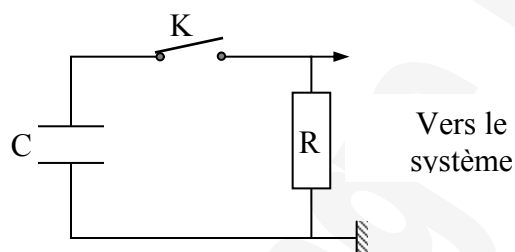
III.1.3. La relation qui lie la tension aux bornes d'un condensateur à l'intensité qui le traverse est :

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

A partir du chronogramme du document 4, la base de temps de l'oscilloscope étant réglée sur la calibre 10 s / division, déterminer la valeur de la capacité C.

III.2. Etude de la décharge

Le condensateur étant complètement chargé sous la tension $u_C = 2,7 \text{ V}$, on réalise le montage ci-dessous pour le décharger à travers un conducteur ohmique de résistance $R = 0,8 \Omega$:



A l'instant $t = 0 \text{ s}$, on ferme l'interrupteur K. Un système d'acquisition permet d'enregistrer pendant 4 heures l'évolution de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps. La courbe obtenue est représentée sur le document 5 à rendre avec la copie.

III.2.1. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ du circuit par une méthode au choix à expliquer. Les traits de construction doivent figurer sur le graphe rendu avec la copie.

III.2.2. Sachant que $\tau = R C$, en déduire la valeur de C.

III.3. Comparer les valeurs des capacités du supercondensateur obtenues par les deux méthodes.

Conclure.

IV - Stockage de l'énergie

L'énergie emmagasinée par un condensateur a pour expression : $W = \frac{1}{2} C u_C^2$; C étant la capacité du condensateur et u_C la tension à ses bornes.

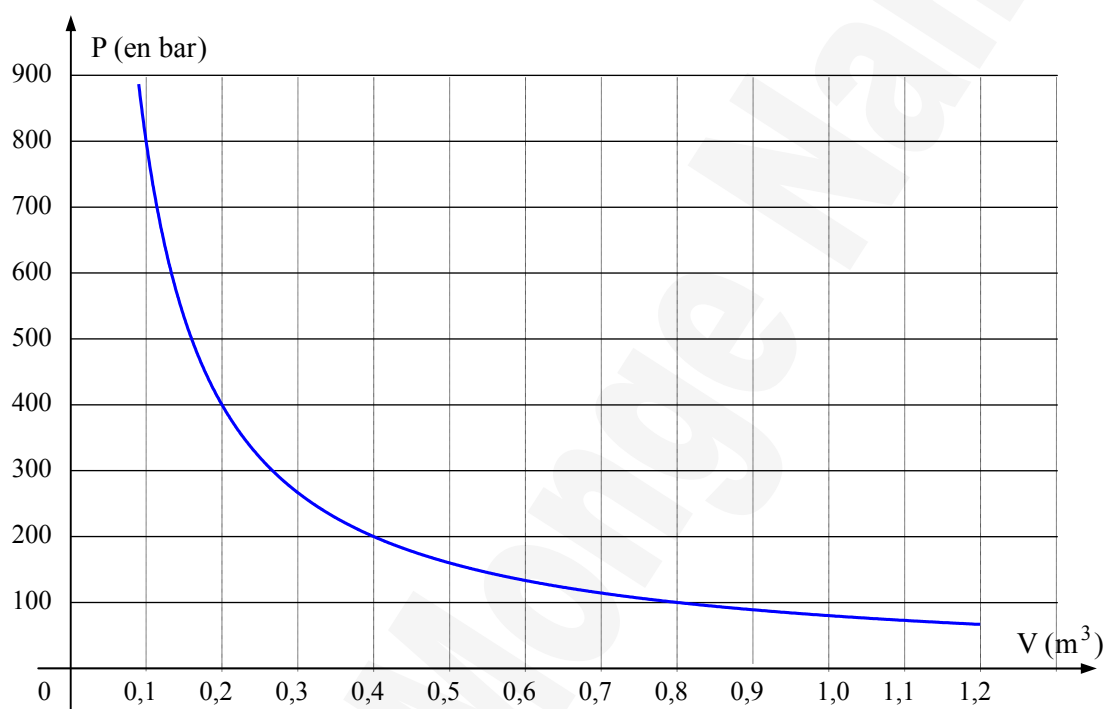
IV.1. Calculer l'énergie emmagasinée par un condensateur de capacité $C = 3300 \text{ F}$ soumis à une tension $u_C = 2,7 \text{ V}$. Exprimer le résultat en Joule puis en W.h.

IV.2. La masse du condensateur étant de 600 g, calculer la valeur de l'énergie spécifique du condensateur et la comparer à la valeur donnée par le constructeur.

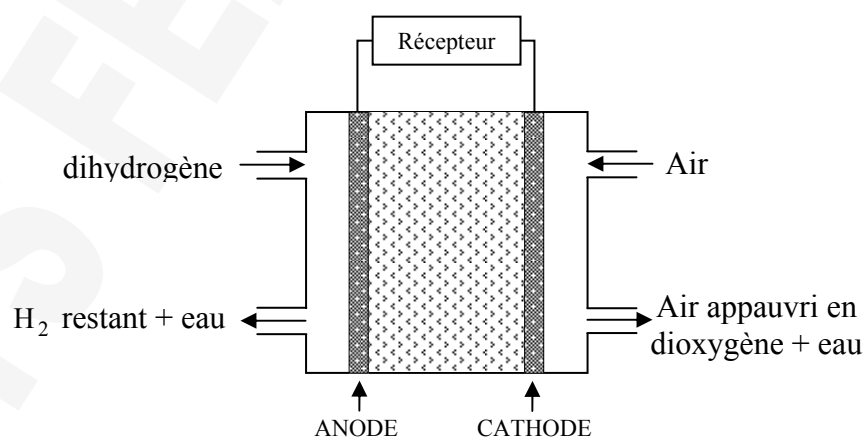
Document réponse à rendre impérativement avec la copie

Document 1

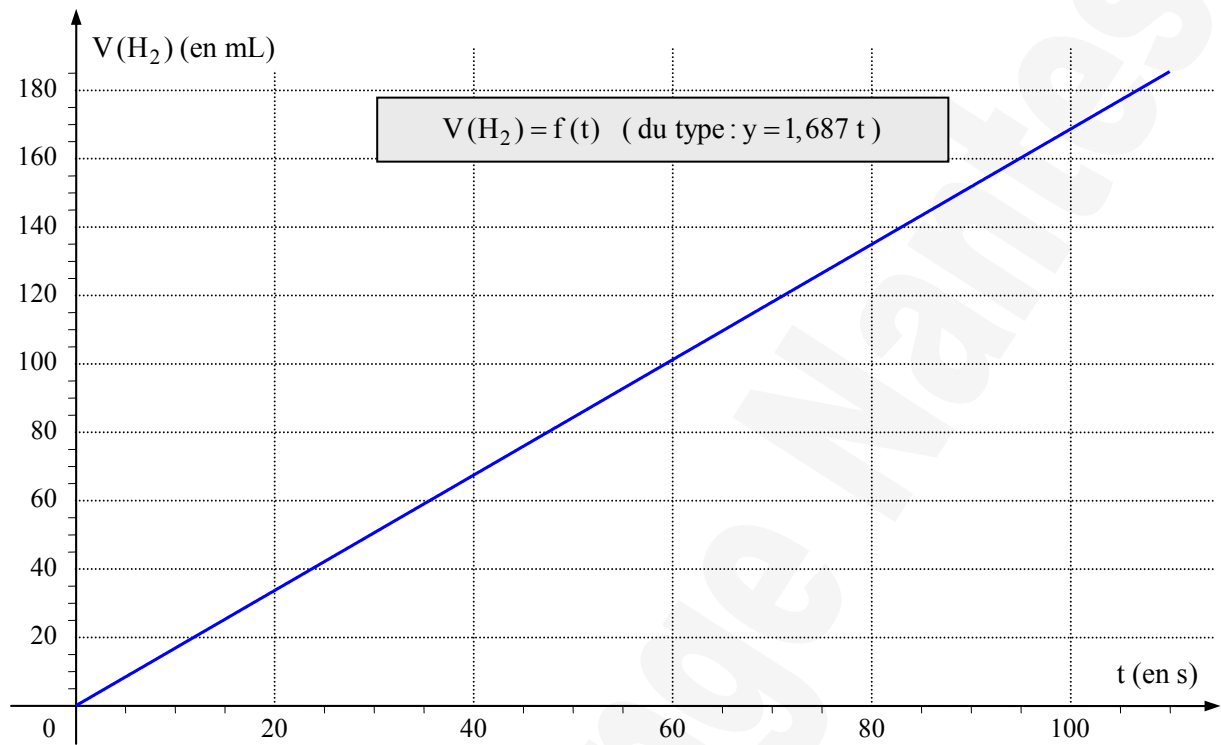
Pression d'un gaz parfait en fonction du volume pour une température constante de 20°C .



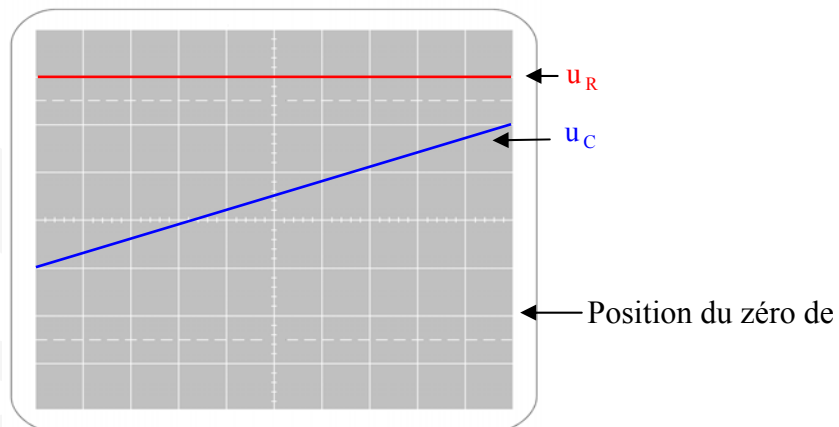
Document 2



Document 3



Document 4



Document 5

