Partie A - Stockage du dihydrogène dans un véhicule équipé de pile à combustible

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

I.1.1. La quantité n de dihydrogène s'écrit : $\boxed{n = \dfrac{m}{M(H_2)}}$ avec : $M(H_2) = 2\,M(H)$; A.N. : $n \cong 3{,}4 \times 10^3$ mol

I.1.2. L'équation d'état du gaz parfait s'écrit : $\boxed{P\,V = n\,R\,T}$

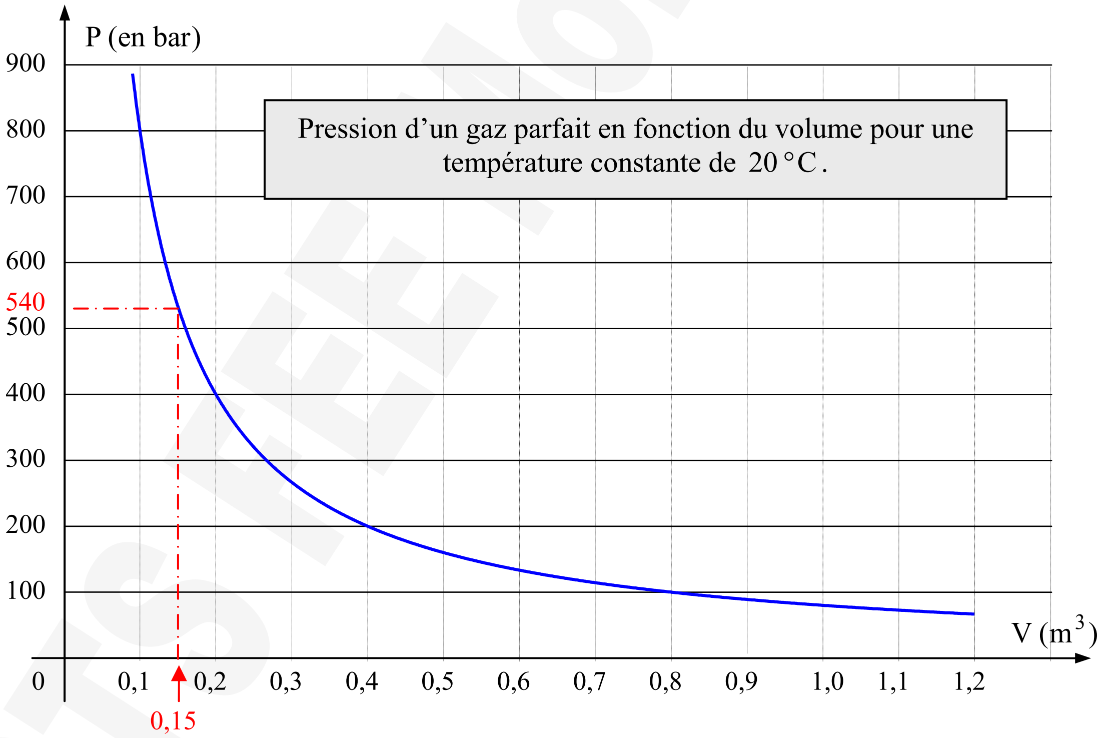
- P : pression du gaz (en Pa)
- V : volume du gaz (en m^3)
- T : température absolue du gaz (en K)
- n : quantité de gaz (en mol)
- R : constante des gaz parfaits : $R \cong 8{,}31\ J.mol^{-1}.K^{-1}$

I.1.3. Dans les conditions imposées (P_0 ; T_0), on a : $\boxed{V_0 = \dfrac{n\,R\,T_0}{P_0}}$ A.N. : $V_0 \cong 82\ m^3$

Remarque : $T_0 \cong 293$ K

I.1.4. Le volume que l'on peut raisonnablement consacrer au stockage du dihydrogène ne peut excéder le mètre-cube ! Il y a donc un problème !

I.2.1. Le volume occupé par le gaz est de $0{,}15\ m^3$; si ce gaz était un gaz parfait, la pression de stockage serait voisine de 540 bars ! (exploitation du document 1).

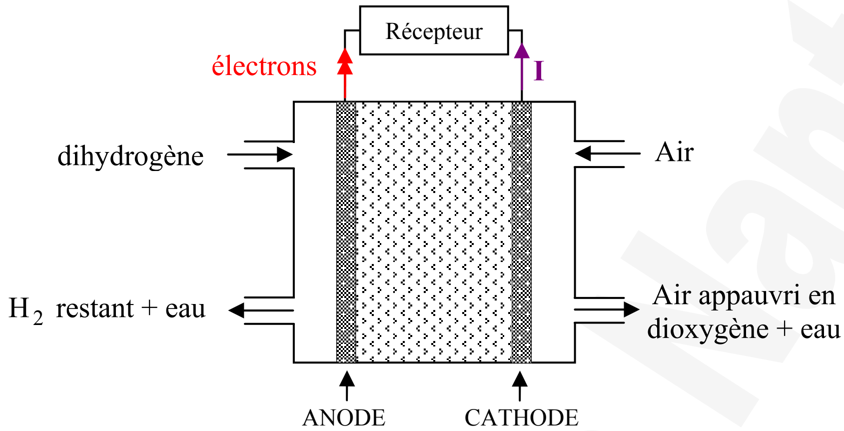


I.2.2. Comme la pression relevée est différente de celle que nous aurions onbtenu si le gaz était parfait, on en déduit que le dihydrogène, à cette pression, ne peut plus être assimilé à un gaz parfait ; le modèle du gaz parfait n'est plus valable, dans ces conditions.

II – La pile à combustible à dihydrogène

A - Etude de la réaction chimique

II.1. La libération d'électrons se fait à l'anode, compte tenu de la réaction qui s'y déroule ;des électrons sont donc capturés à la cathode.



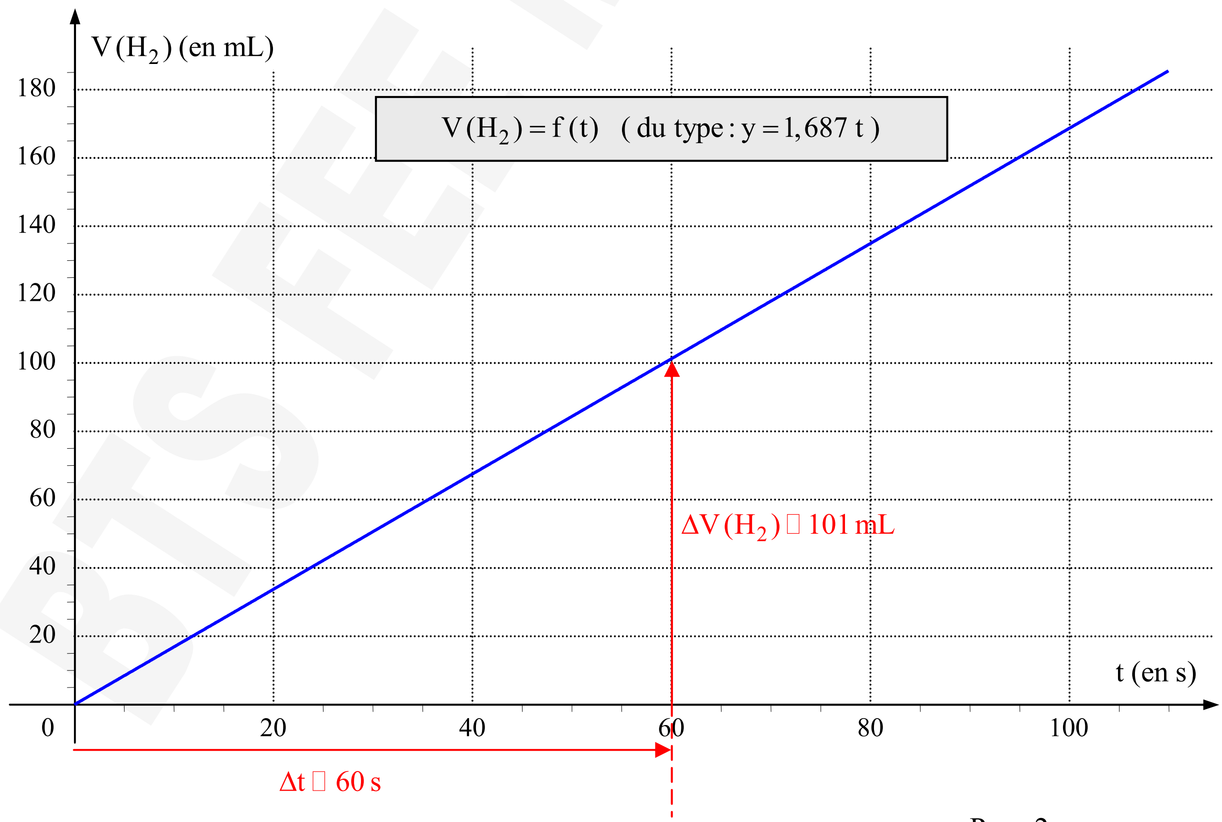
II.2.

$$2\,(\,H_2(g) \rightleftharpoons 2\,H^+(aq) + 2\,e^-\,)$$
$$O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- \rightleftharpoons 2\,H_2O(\ell)$$
$$2\,H_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\,H_2O(\ell)$$

II – Etude d'une cellule

II.3.1.

a) Le coefficient directeur de cette droite est égal au débit volumique D_V : $\boxed{D_V \cong \dfrac{\Delta V(H_2)}{\Delta t} \cong 1{,}687\ mL.s^{-1}}$



b) Le débit volumique s'écrit aussi : $\boxed{D_V \cong 1{,}687 \times 10^{-3}\ \text{L.s}^{-1}}$

II.3.2. Le débit molaire $D_M = \dfrac{n(H_2)}{1\ \text{s}}$ s'écrit : $\boxed{D_M = \dfrac{D_V}{V_m} = \dfrac{n(H_2)}{1\ \text{s}}}$ $\boxed{\text{A.N.}: D_M \cong 7{,}00 \times 10^{-5}\ \text{mol.s}^{-1}}$

$n(H_2)$ représente donc la quantité de dihydrogène consommée en une seconde.

II.3.3. La réaction se produisant à l'anode indique qu'il y a deux fois plus d'électrons mis en jeu que de dihydrogène ; on a donc bien : $n(e) = 2\,n(H_2)$

$n(e)$ représente donc la quantité d'électrons qui sont échangés entre l'anode et la cathode en une seconde.

II.3.4. L'intensité I débitée par la cellule s'écrit : $\boxed{I = \dfrac{Q}{t} = \dfrac{n(e) \times 1\ F}{1\ \text{s}}}$ $\boxed{\text{A.N.}: I \cong 13{,}5\ \text{A}}$

II.3.5. La puissance P_M fournie par cette cellule s'écrit : $\boxed{P_M = U\,I}$ $\boxed{\text{A.N.}: P_M \cong 10{,}8\ \text{W}}$

C - Utilisation de la pile pour un véhicule

II.4.1. Le nombre de cellules élémentaires est donné par : $\boxed{N_C = \dfrac{P_T}{P_M}}$ $\boxed{\text{A.N.}: N_C \cong 3240}$

II.4.2. Le débit molaire total (pour toutes les cellules) s'écrit : $N_C \times D_M$; il correspond aussi à : $\dfrac{n}{\Delta t}$.

On en déduit : $\boxed{\Delta t = \dfrac{n}{N_C \times D_M}}$ $\boxed{\text{A.N.}: \Delta t \cong 1495 \times 10^4\ \text{s}}$ soit : $\boxed{\Delta t \cong 4\text{h}\ 9\ \text{min}}$

III. - Etude d'un « super condensateur »

III.1. Etude de la charge à courant constant

III.1.1.

a) On applique la Loi d' Ohm à la résistance R (en convention récepteur) : $\boxed{u_R = R\,I}$

Dans ce cas, la tension u_R reproduit fidèlement les variations de I (à un coefficient multiplicatif près).

b) Le générateur est un générateur idéal de courant.

c) Compte tenu de la position du zéro de tension, la tension u_R correspond à 5 divisions :

$u_R = 5\ \text{divisions} \times 100\ \text{mV / division}$ soit : $\boxed{u_R = 500\ \text{mV}}$

D'autre part, la loi d'Ohm nous donne : $\boxed{I = \dfrac{u_R}{R}}$; on obtient : $\boxed{I = 10\ \text{A}}$

d) Désignons par P_R la puissance reçue par R (convention récepteur).

Cette puissance est entièrement dissipée au sein de R par effet Joule

$\boxed{P_R = u_R\,I}$ $\boxed{P_R = 5{,}0\ \text{W}}$

Le meilleur choix est donc une résistance de puissance maximale égale à 10W !

III.1.2. La sonde différentielle de tension permet de brancher l'oscilloscope sans se préoccuper des problèmes de masse Sans cette sonde différentielle, la masse de l'oscilloscope devant coïncider avec celle du générateur (comme indiqué sur le schéma), on ne peut obtenir, sur la voie B que la somme des deux tensions $u_C + u_R$!

III.1.3. Le chronogramme $u_C(t)$ nous permet de calculer $\dfrac{du_C}{dt}$ (coefficient directeur de la droite) :

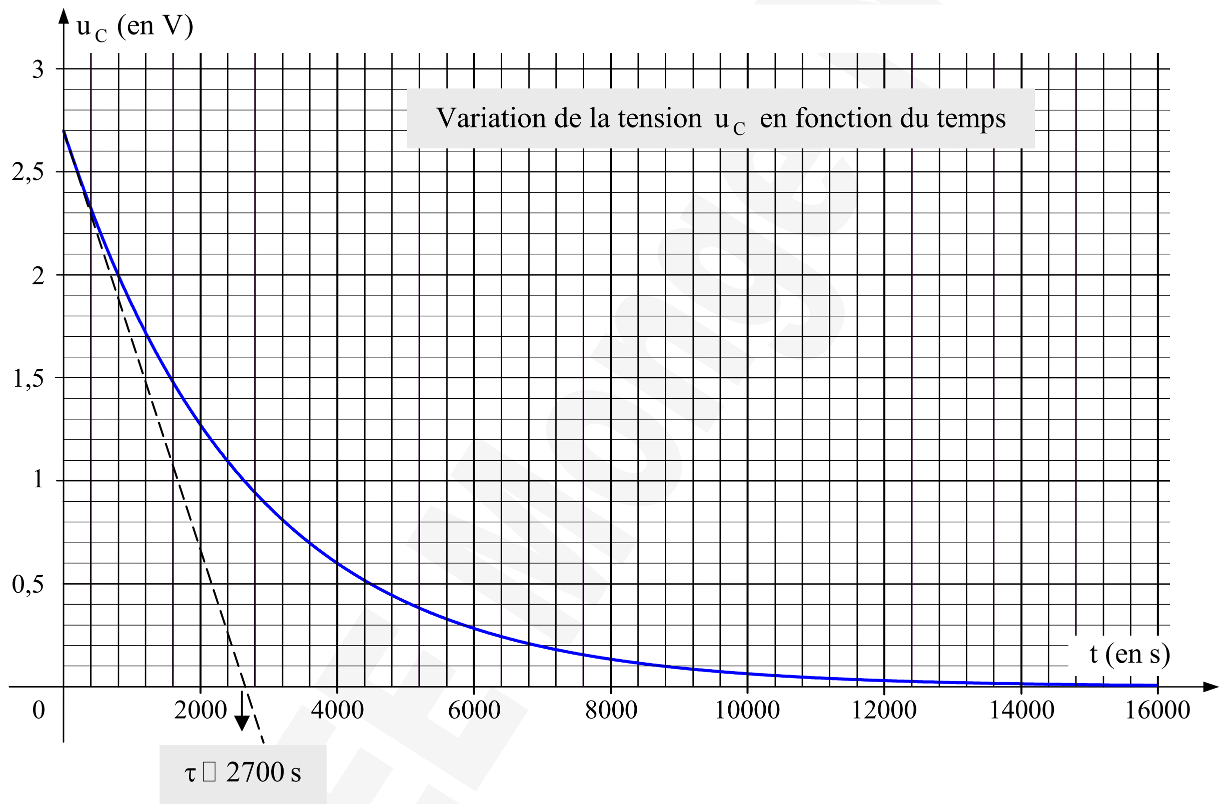
$$\text{On a : } \frac{du_C}{dt} = \frac{3\text{ div.} \times 100\text{ mV / div.}}{10\text{ div.} \times 10\text{ s / div.}} \quad \text{soit : } \boxed{\frac{du_C}{dt} = 3 \times 10^{-3}\text{ V / s}}$$

$$\text{On en déduit C : } \boxed{C = \frac{I}{\dfrac{du_C}{dt}}} \qquad \boxed{\text{A.N.} : C \cong 3330\text{ F}}$$

III.2. - Etude de la décharge

III.2.1. La tangente à la courbe de décharge à l'instant initial rencontre l'axe des temps à l'instant τ ; on a :

$$\boxed{\tau \cong 2700\text{ s}}$$



III.2.2. On en déduit la valeur de R : $\boxed{C = \dfrac{\tau}{R}}$ $\qquad \boxed{C \cong 3375\text{ F}}$

III.3. Pour comparer les deux valeurs, il est judicieux de calculer l'écart relatif :

$$\varepsilon = \left| \frac{3330\text{ F} - 3375\text{ F}}{3330\text{ F}} \right| \cong 2\ \%\text{ par excès} \quad \text{; cet écart n'est pas important !}$$

IV – Stockage de l'énergie

IV.1. $\boxed{W = \dfrac{1}{2} C\, u_C^{\,2}}$ $\qquad \boxed{W \cong 1{,}2 \times 10^4\text{ J}}$ soit : $\boxed{W \cong 3{,}3\text{ Wh}}$ $(1\text{ Wh} = 3600\text{ J})$

IV.2. L'énergie spécifique est désignée par E_{sp} :

$\boxed{E_{sp} = \dfrac{W}{m}}$ (m : masse du condensateur) $\qquad \boxed{E_{sp} \cong 5{,}6\text{ Wh / kg}}$

La comparaison s'effectue en calculant l'écart relatif ε_1 entre les deux valeurs celle du constructeur étant désignée par $E_{sp\,const}$: $\varepsilon_1 = \left| \dfrac{E_{sp\,const} - E_{sp}}{E_{sp\,const}} \right| \cong 5\ \%$ par excès

On retrouve, effectivement, les indications du constructeur avec une assez bonne précision.