Polynésie 09/2009 EXERCICE II. QUELLE SERA L'AUTOMOBILE DU FUTUR ? (6 points)

Le moteur thermique, étant très certainement appelé à disparaître, les constructeurs automobiles recourront probablement au « tout électrique » ou à une motorisation hybride mettant en jeu une pile à combustible.
Le but de cet exercice est d'étudier d'une part le supercondensateur pouvant intervenir dans ces deux types de véhicules et d'autre part, la pile à combustible.

1. Étude du supercondensateur

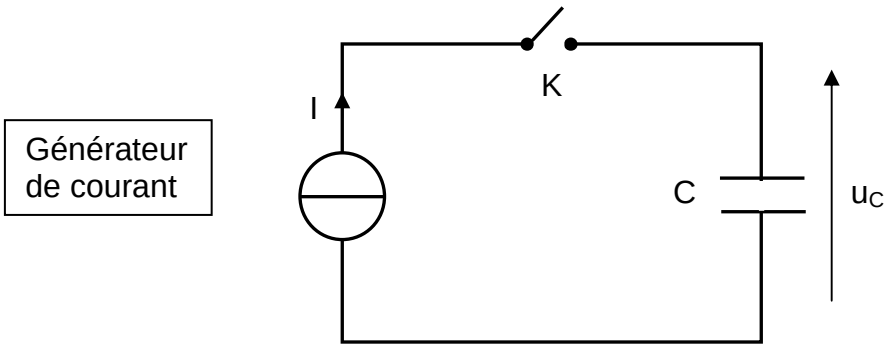
Un supercondensateur est un condensateur de technologie particulière permettant de stocker une quantité d'énergie beaucoup plus élevée qu'un condensateur électrolytique classique. Il permet de plus de la restituer plus rapidement qu'un accumulateur électrochimique.

Un supercondensateur est donc idéal pour stocker de l'énergie lors d'un freinage et la restituer, par exemple, lors d'une phase d'accélération.

Les caractéristiques du supercondensateur étudié, données à une température de 25℃ par le fabricant, sont fournies ci-dessous :
- *Capacité :* 2600 F
- *Tension nominale :* 2,7 V
- *Masse :* 500 g
- *Énergie massique du condensateur chargé sous une tension de* 2,7 V : 19 $kJ.kg^{-1}$

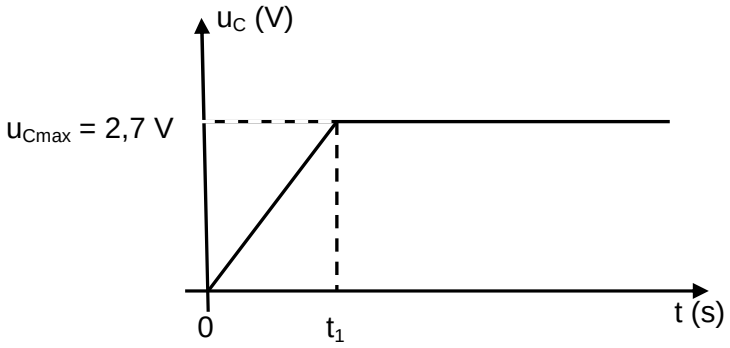
1.1. Charge du condensateur à courant constant

On réalise le circuit ci-dessous :



À l'instant t = 0 s, on ferme l'interrupteur K. On charge alors ce condensateur à l'aide d'un générateur de courant qui permet de délivrer une intensité constante I = 10 A puis on ouvre l'interrupteur à un instant $t = t_1$.
Un système d'acquisition permet de visualiser la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps.

On obtient la courbe suivante :



1.1.1. Recopier le schéma du montage électrique puis indiquer les branchements à réaliser pour visualiser la tension aux bornes du condensateur (voie 1 et masse).

1.1.2. Exprimer u_C en fonction de C et de la charge du condensateur.

1.1.3. Exprimer t en fonction de C, u_C et I lorsque $0 \leq t \leq t_1$

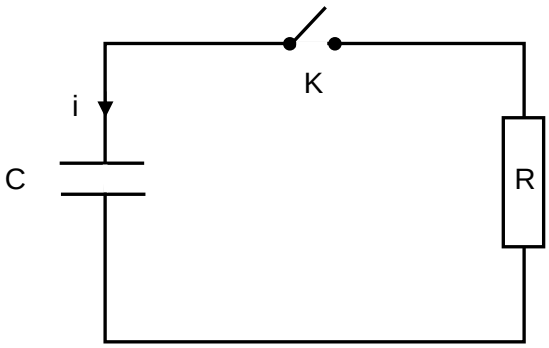
1.1.4. À l'aide de la courbe ci-dessus, calculer t_1.

1.1.5. Exprimer puis calculer l'énergie emmagasinée par le condensateur lorsque la tension à ses bornes est de 2,7 V.

1.1.6. Le résultat est-il en accord avec les caractéristiques données par le fabricant ? Justifier.

1.2. Décharge du condensateur

Le condensateur étant chargé sous une tension de 2,7 V, on réalise le circuit suivant pour étudier sa décharge à travers un conducteur ohmique de résistance R = 1,0 Ω :



À l'instant t = 0 s, on ferme l'interrupteur K. On visualise, à l'aide du système d'acquisition, l'évolution de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps.

1.2.1. Reproduire le schéma ci-dessus, puis, en utilisant la convention récepteur, représenter les tensions u_C aux bornes du condensateur et u_R aux bornes du conducteur ohmique.

1.2.2. Établir l'équation différentielle vérifiée par u_C, donnée ci-dessous :

$$RC\frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

1.2.3. Par une équation aux dimensions, montrer que le produit RC est homogène à un temps.

1.2.4. La solution de l'équation différentielle précédente est de la forme $u_C = A + B.e^{-t/RC}$ où A et B sont des constantes.
À partir de la condition initiale, trouver une relation entre A et B.
Quelle est la valeur de u_C lorsque le condensateur est déchargé ?
En déduire les valeurs de A et B.

1.2.5. La courbe représentant l'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps est donnée en annexe à rendre avec la copie.
Déterminer graphiquement la constante de temps du circuit, par une méthode au choix que l'on précisera. Vérifier cette valeur par le calcul.

2. Étude d'une pile à combustible

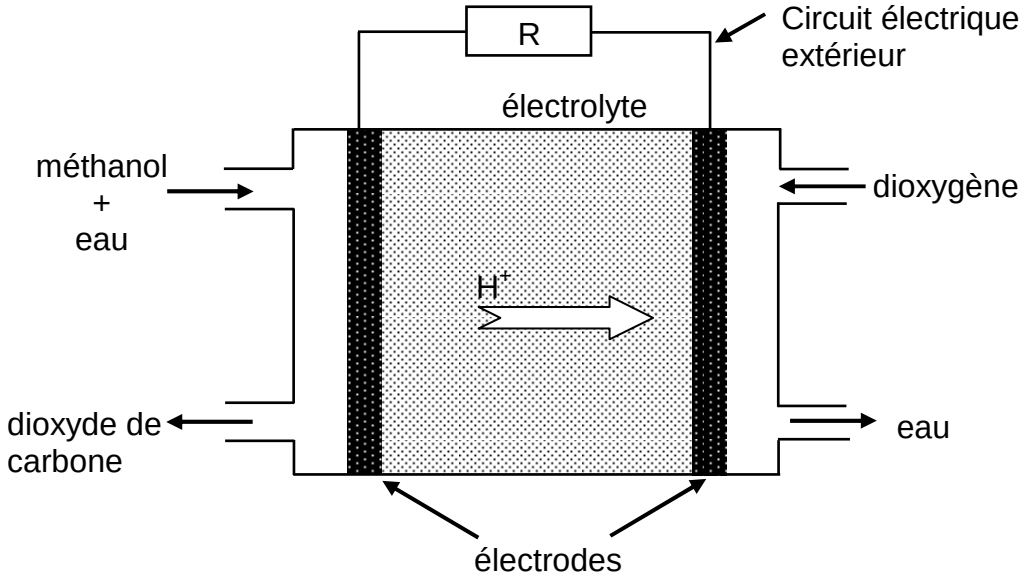
Une pile à combustible (PAC) est un assemblage de cellules élémentaires, comprenant deux électrodes contenant un catalyseur (le plus souvent du platine), séparées par un électrolyte, dont le rôle est de permettre la migration des ions d'une électrode à l'autre.
Le comburant est du dioxygène. Le combustible est le plus souvent du dihydrogène.
Ce combustible, gazeux à température ambiante et inflammable, pose des problèmes de stockage.
Un autre combustible possible est le méthanol. Ce combustible est certes toxique, mais liquide, à température ambiante. Il est principalement produit à partir de gaz naturel. On se dispense ainsi du problème de stockage du dihydrogène. Une telle pile à combustible est appelée DMFC (Direct Methanol Fuel Cells).
L'électrolyte utilisé est acide.

Cette deuxième partie s'intéresse à la réaction dans les DMFC.

Données :

- La température est fixée à 298 K dans tout l'exercice.
- masses molaires :
  $M(H) = 1,0\ g.mol^{-1}$ $M(O) = 16,0\ g.mol^{-1}$ $M(C) = 12,0\ g.mol^{-1}$
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,02.10^{23}\ mol^{-1}$
- charge élémentaire : $e = 1,60.10^{-19}\ C$
- masse volumique du méthanol liquide : $\rho = 0,79\ g.mL^{-1}$

La pile débite un courant à travers un dipôle ohmique de résistance R selon le schéma ci-dessous :



L'équation associée à la réaction lorsque la pile débite est :

$$2CH_3OH(aq) + 3O_2(g) = 2CO_2(g) + 4H_2O(l)$$

2.1. Les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont $CO_2(g)/CH_3OH(aq)$ et $O_2(g)/H_2O(l)$.
Écrire les demi-équations électroniques rendant compte des transformations se produisant à chaque électrode.
Préciser à quelle électrode a lieu chaque réaction et indiquer s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

2.2. Indiquer la polarité des électrodes sur le schéma de la pile à combustible de **l'annexe à rendre avec la copie** et représenter le sens de circulation des électrons dans le circuit extérieur, lorsque la pile fonctionne.

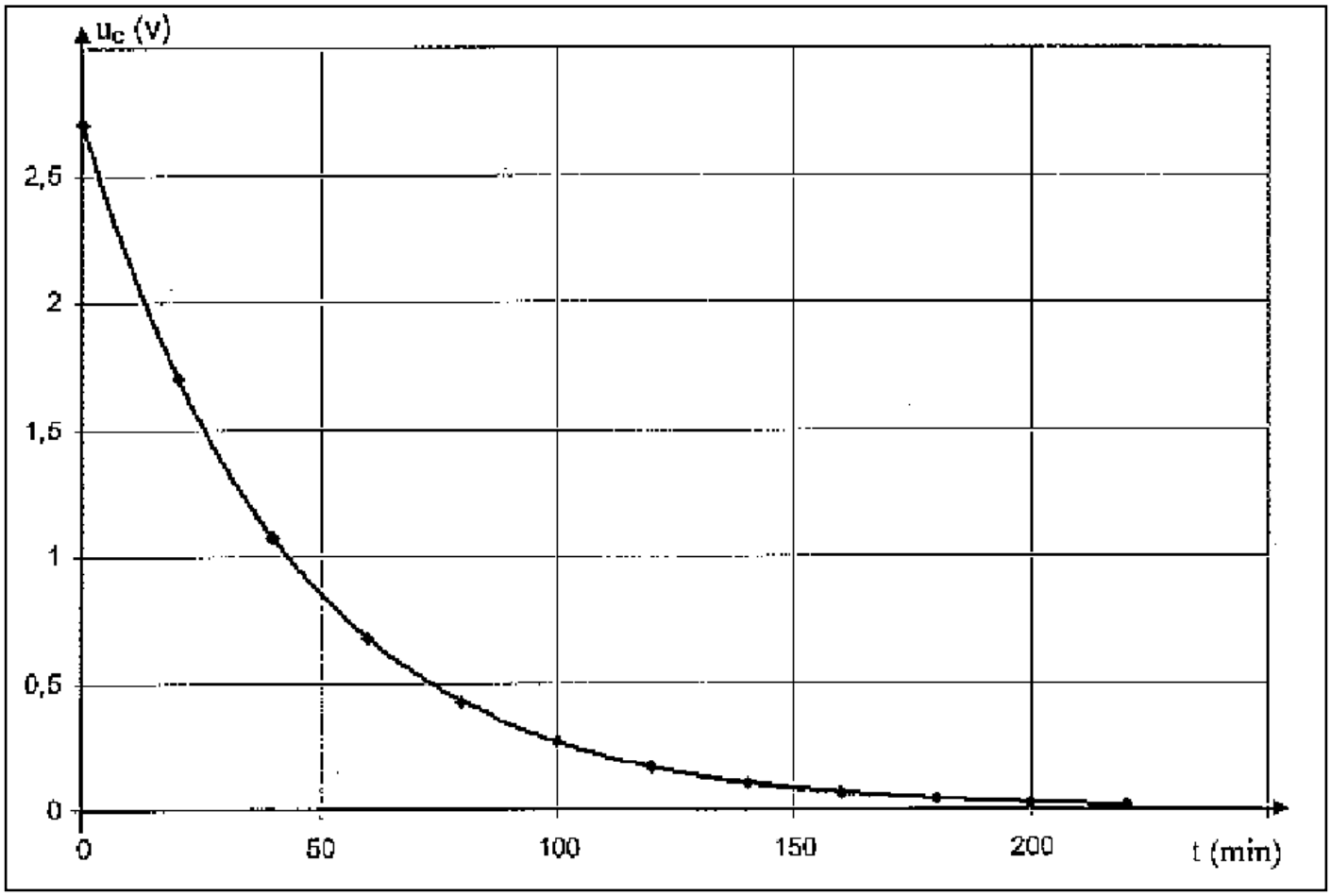
2.3. La pile débite un courant de 50 mA pendant 2,0 h.
Exprimer puis calculer le nombre de moles d'électrons n_e transférés spontanément pendant cette durée.

2.4. Exprimer la masse de méthanol consommé en fonction du nombre de moles d'électrons n_e puis la calculer.

2.5. Exprimer puis calculer le volume de méthanol consommé.

ANNEXE à rendre avec la copie

1.2.5. Courbe représentant l'évolution de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps :



2.2. Schéma de la pile à combustible :

