Exercice I. LA BLUECAR (6,5 points)

Bac S Métropole rattrapage 09/2011

Voici la Bluecar ou B^0 : c'est une petite voiture citadine entièrement électrique, elle n'émet aucun gaz, aucune particule fine.
Alimentées par des batteries (Lithium Métal Polymère) des supercapacités et des panneaux solaires, ces voitures possèdent une autonomie de plus de 250 km soit bien plus que les 40 km qui sont la moyenne des déplacements.
Les supercapacités ont pour rôle de récupérer et stocker l'énergie de freinage, pus de la restituer au redémarrage. Il en résulte des accélérations plus puissantes, une augmentation de l'autonomie et une durée de vie accrue pour la batterie.
Ce sont des voitures rapides, leur vitesse maximale est de 130 km/h, agréables à conduire, sûres et endurantes.



D'après le site Internet Bluecar.

Dans cet exercice, on étudie quelques caractéristiques des trois composants principaux de la voiture cités dans le texte : le supercondensateur, la batterie Lithium Métal Polymère et les panneaux solaires placés sur la calandre et le toit.

Les trois parties sont indépendantes.

1. Le supercondensateur

Les supercondensateurs ont une capacité de plusieurs milliers de farads et une tension d'utilisation de 2,7 V. Un supercondensateur est équivalent à un dipôle MP associant en sérié un condensateur de grande capacité C et un conducteur ohmique de faible résistance R (voir la **figure 1** ci-dessous).



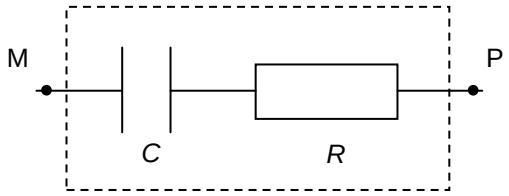


Figure 1. Modèle du supercondensateur

Les caractéristiques techniques d'un supercondensateur qu'on peut trouver à partir du site internet du constructeur sont les suivantes :

Capacité (25°C, 100 A)	$2{,}6 \times 10^3$ F	Masse	0,500 kg
Tension d'utilisation	2,7 V	* Énergie spécifique (2,7 V, 25°C)	$1{,}9 \times 10^4$ J.kg^{-1}
Résistance série (25°C,100 A)	0,35 mΩ	Constante de temps (25°C,100 A)	0,90 s

**L'énergie spécifique est l'énergie que le supercondensateur peut restituer par unité de masse.*

1.1. Étude théorique préalable de la décharge du supercondensateur
On étudie la décharge du supercondensateur, celui-ci ayant été au préalable chargé sous la tension d'utilisation E = 2,7 V.
Le schéma du circuit électrique de décharge est donné **figure 2**.

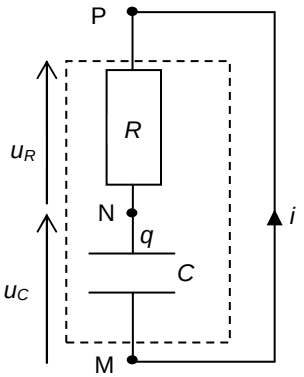


Figure 2.
Circuit de décharge

Avec l'orientation choisie, l'intensité i du courant s'exprime par la relation $i = \frac{dq}{dt}$ où q est la charge positive portée par l'armature N du condensateur. La tension aux bornes du dipôle NM s'exprime par la relation $u_C = \frac{q}{C}$.

1.1.1. Exprimer la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique en fonction de sa résistance R et de i, puis en fonction de R, C et $\frac{du_C}{dt}$.

1.1.2. Établir la relation entre u_R et u_C et en déduire l'équation différentielle vérifiée par u_C.

1.1.3. En vérifiant que l'expression $u_C(t) = E.e^{-\frac{t}{\tau}}$ est solution de l'équation différentielle, montrer que l'expression de la constante de temps τ est égale à RC.

1.1.4. L'expression de l'intensité i peut se mettre sous la forme $i(t) = I_0.e^{-\frac{t}{\tau}}$. Monter que l'intensité I_0 à t = 0 est égale à $-\frac{E}{R}$.

1.2. Étude de la variation de l'intensité du courant lors de la décharge du supercondensateur
On mesure, avec un capteur de courant spécifique, l'intensité i du courant lors de la décharge du supercondensateur. La courbe donnant l'intensité i en fonction du temps t est donnée **SUR LA FIGURE A1 DE L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Le logiciel de traitement à permis de tracer la tangente à l'origine.

1.2.1. Déterminer graphiquement la valeur de I_0. En déduire la valeur de la résistance R. Vérifier qu'elle est en accord avec celle du tableau.

1.2.2. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ.

1.2.3. En déduire la valeur de la capacité C. Est-elle en accord avec la valeur indiquée dans les caractéristiques techniques ?

1.3. Étude énergétique

1.3.1. Calculer la valeur de l'énergie électrique maximale E_C emmagasinée et restituée par le condensateur lors de sa décharge en prenant la valeur de la capacité fournie dans le tableau.

1.3.2. Comparer cette valeur de l'énergie avec celle obtenue en utilisant les valeurs de la masse et de l'énergie spécifique de ce supercondensateur.

2. Les panneaux solaires
La cellule photovoltaïque est l'élément de base des panneaux solaires qui produisent de l'électricité.
La lumière arrivant sur une cellule génère une tension électrique à ses bornes.
Lors de la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique, les atomes de silicium qui composent la cellule passent d'un niveau d'énergie à un autre, plus élevé. Ce « saut d'énergie » peut se produire lorsqu'un photon est absorbé par le silicium.
L'énergie minimale ΔE des photons nécessaire à la transition entre deux niveaux vaut 1,1 eV.

Données :
- constante de Planck : $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J.s ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;
- conversion électron-volt : 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

2.1. Calculer la longueur d'onde dans le vide λ du rayonnement correspondant à cette transition d'énergie ΔE.
2.2. Cette radiation appartient-elle au domaine du visible ? Justifier.

3. La batterie Lithium Métal Polymère

La cellule électrochimique élémentaire de la batterie Lithium Métal Polymère est basée sur l'utilisation de quatre composants (**FIGURE A2 DE L'ANNEXE**).
Cette cellule élémentaire solide est constituée de deux électrodes au fonctionnement réversible : l'anode assure la fourniture des ions lithium lors de la décharge et la cathode agit comme un réceptacle où les ions lithium viennent s'intercaler.
Les deux électrodes sont séparées par un électrolyte polymère solide, le polyoxyéthylène. La conduction est assurée par des ions obtenus par dissolution de sels de lithium dans l'électrolyte.
Un collecteur de courant est relié à la cathode pour assurer la connexion électrique.

D'après le site internet « http://www.batscap.fr »

Caractéristiques électriques de la batterie :

Énergie	30 kW.h
Tension nominale	400 V
Puissance maximale	45 kW
Quantité d'électricité maximale disponible	75 A.h

Données :

- couple oxydoréducteur : Li^+ / Li ;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ;
- charge électrique élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ;
- masse molaire atomique du lithium : $M(Li) = 6{,}9$ $g.mol^{-1}$;
- l'ampère-heure (A.h) est une unité de quantité d'électricité : 1 A.h = 3600 C.

3.1. Réactions aux électrodes

3.1.1. **SUR LA FIGURE A2 DE L'ANNEXE,** représenter le sens conventionnel du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge à l'extérieur de la batterie quand elle débite.

3.1.2. Quelle est la nature de la réaction se produisant au pôle négatif ? Quelle est la nature de la réaction se produisant au pôle positif ?

3.1.3. Écrire la demi-équation d'oxydoréduction de la réaction se produisant au pôle négatif.

3.2. Autonomie de la batterie

3.2.1. Calculer en coulombs la valeur de la quantité d'électricité maximale disponible q_{max} qui est donnée en A.h dans le tableau.

3.2.2. En déduire la valeur de la quantité de matière maximale d'électrons échangés $n(e^-)_{éch}$ au cours de la réaction d'oxydoréduction en supposant que la batterie s'est complètement déchargée.

3.2.3. Calculer la masse de lithium correspondante.

3.2.4. À l'aide des valeurs données dans les caractéristiques électriques ci-dessus, déterminer la valeur de l'intensité du courant I_{max} que peut débiter cette batterie.

3.2.5. La batterie débite un courant d'intensité I = 100 A dans un circuit extérieur sous sa tension nominale U_{NOM}. Calculer la durée maximale Δt_{max} de fonctionnement de la batterie.

3.3. Étude de l'électrolyte

On donne la formule du polyoxyéthylène, aussi appelé polyéthylèneglycol.

$$H(—O—CH_2—CH_2—)\ \ldots\ (—O—CH_2—CH_2)—\mathbf{OH}$$

3.3.1. Nommer le groupe caractéristique en gras.

3.3.2. À quelle famille de composés organiques appartient le polyoxyéthylène ?

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

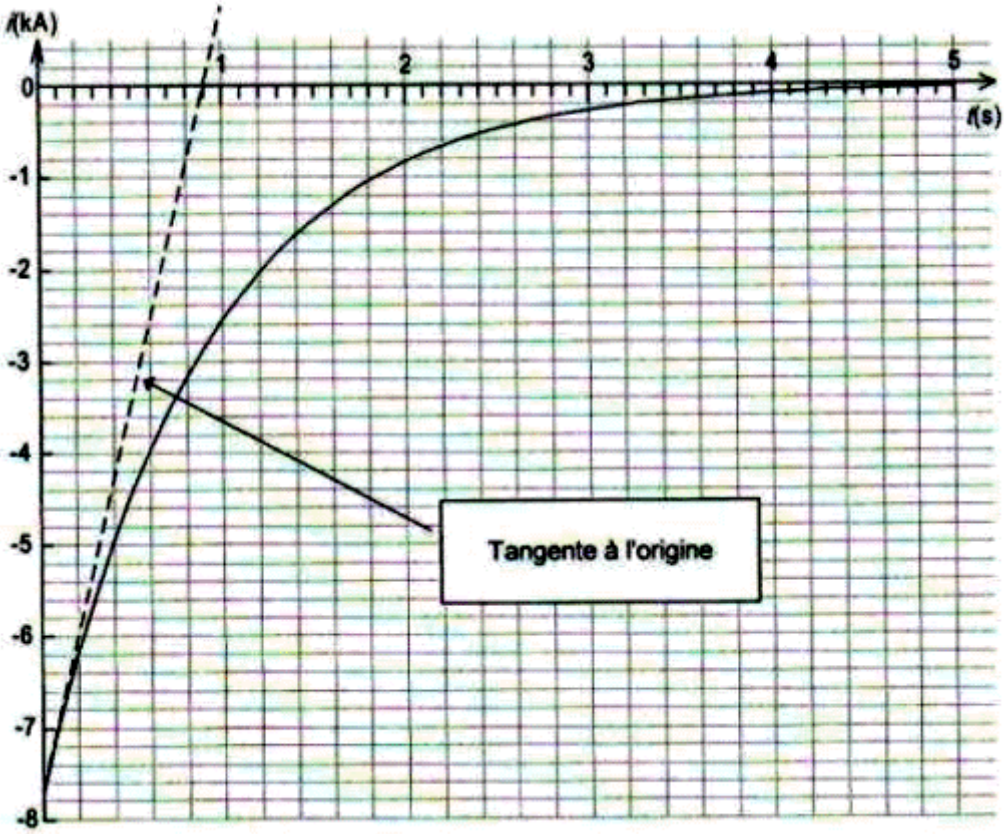


Figure A1. Intensité *i* débitée par le supercondensateur en fonction du temps

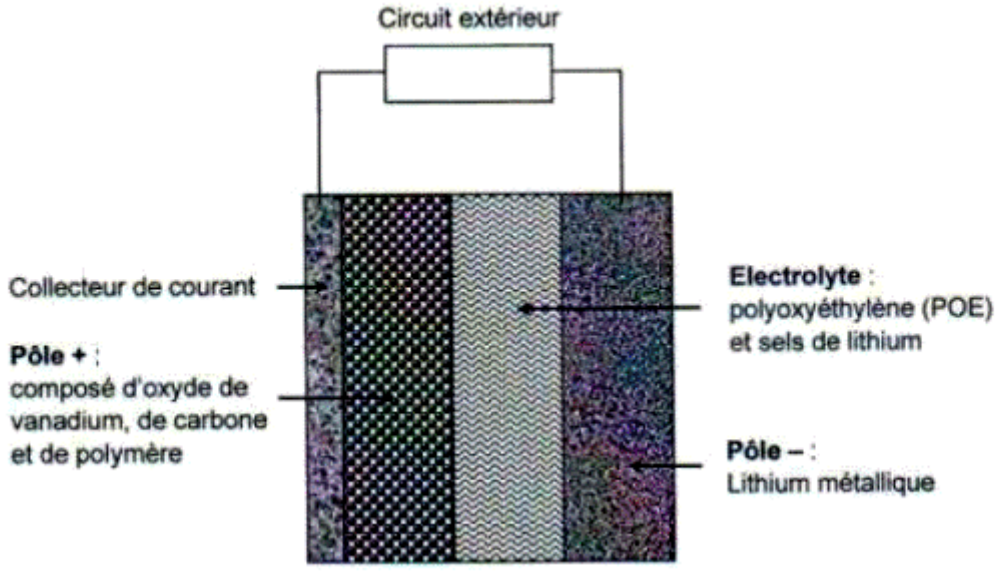


Figure A2. Cellule électrochimique élémentaire de la batterie Lithium Métal Polymère