

EXERCICE 4 au choix du candidat (6 points)

(physique-chimie)

Vous indiquerez sur votre copie l'exercice 4 choisi : exercice 4 – A ou exercice 4 - B

EXERCICE 4 – A : Pipistrel Alpha Electro

Mots clés : oxydoréduction ; pile ; énergie et puissance électrique.

Le Pipistrel Alpha Electro est un petit avion biplace destiné à la formation des pilotes. Sa production a commencé en 2012 et il demeure le seul avion électrique commercial. Il fonctionne avec l'association de deux batteries lithium-ion utilisant la technologie NMC (nickel-manganèse-cobalt) refroidies par liquide.

On se propose d'étudier dans une première partie l'autonomie des batteries lithium-ion du Pipistrel Alpha Electro et dans une seconde partie le fonctionnement et les impacts environnementaux de l'utilisation de ces batteries.



<http://pipistrel-ca.com>

Données :

- masses molaires atomiques : $M(\text{Li}) = 6,94 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- constante de Faraday: $F = 9,65\cdot 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Partie I : Autonomie du Pipistrel Alpha Electro

Le Pipistrel Alpha Electro est un avion électrique biplace utilisé pour les vols de formation des pilotes d'une durée moyenne de 45 minutes. Son moteur est alimenté par deux batteries lithium-ion utilisant la technologie NMC (nickel-manganèse-cobalt) et refroidies par liquide. Un extrait des caractéristiques d'une batterie lithium-ion de l'Alpha Electro est fourni dans le tableau ci-dessous.

Paramètre	Valeur
Tension nominale	340 V
Courant de décharge	120 A
Capacité énergétique nominale	30 A.h
Température de fonctionnement	Discharge : 0 – 55 °C Charge : 0 – 45 °C
Méthode de refroidissement	Liquid
Poids estimé	72 kg
Dimension	546 mm x 265 mm x 375 mm

D'après : <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/batteries-systems-and-bms/>

1. Déterminer l'énergie disponible, en kW·h, dans une batterie de l'Alpha Electro totalement chargée.
2. Citer un phénomène physique et un phénomène chimique pouvant être à l'origine d'un échauffement des batteries qui les amènerait à des températures supérieures aux températures de fonctionnement recommandées.
3. La batterie est un convertisseur d'énergie. Décrire la conversion d'énergie mise en jeu dans une batterie lithium-ion.
4. Indiquer les différents transferts d'énergie ayant lieu au niveau du moteur de l'avion alimenté par la batterie.

Lors d'un vol de formation des pilotes, le moteur délivre une puissance de valeur 60 kW au cours du décollage, qui est réduite à 40 kW pendant la phase de montée, et enfin à 20 kW lorsque l'altitude est stabilisée.

Après 25 minutes de vol, le pilote stabilise son altitude et l'énergie disponible restante dans les deux batteries est de 59 %. Afin de préserver la durée de vie des batteries, l'entreprise qui commercialise l'avion recommande de ne jamais décharger les batteries en dessous de 20 %.

5. Estimer la durée totale du vol. Comparer avec la durée moyenne d'un vol de formation.

Partie II : Fonctionnement et impacts environnementaux des batteries lithium-ion

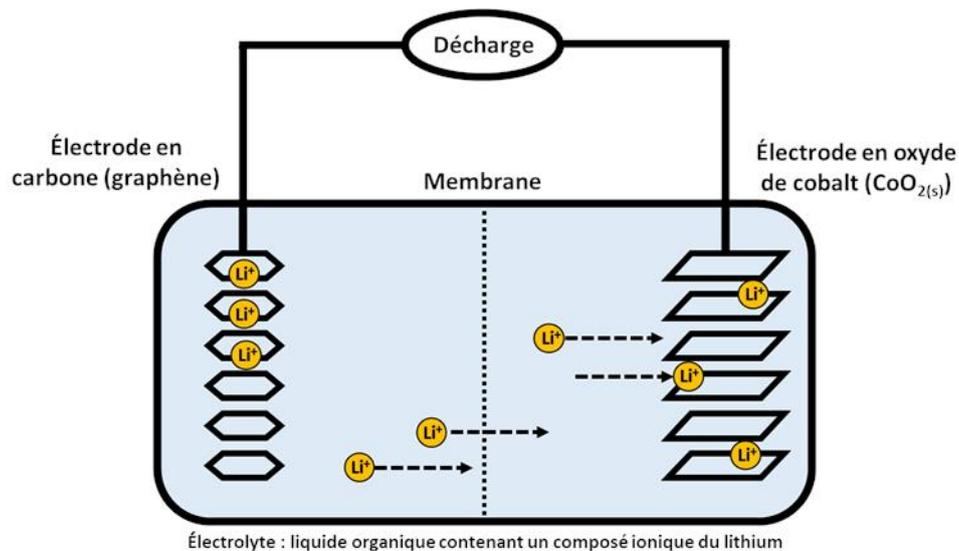
Les batteries lithium-ion ont été commercialisées au début des années 1990 et se sont vite imposées comme les batteries de référence pour la motorisation des véhicules électriques ou des dispositifs portables.

	plomb-acide	Nickel-cadmium	lithium-ion
Tension à vide de la cellule	2,0 V	1,2 V	3,6 V
Énergie spécifique	25 à 50 W·h/kg	30 à 60 W·h/kg	100 à 230 W·h/kg
Domaine de température	0 °C à 50 °C	-30 °C à 50 °C	-20 °C à 50 °C
Nombre de cycles charge-décharge avant fin de vie	300	1200	2000
Autodécharge	≈ 5 %/mois	≈ 15 %/mois	≈ 2 %/mois
Temps de charge	10 heures	5 heures	3 heures
Prix	100 €/kW·h	400 €/kW·h	300 €/kW·h

Source : Batterie électrochimique, *Stéphane Raelle, Université de Lorraine.*

6. Justifier le choix de la batterie lithium-ion pour les avions électriques.

On s'intéresse au fonctionnement des batteries lithium-ion avec la technologie NMC (nickel-manganèse-cobalt) qui ont été choisies pour cet avion. On donne le schéma de la batterie lithium-ion durant la décharge, ainsi que sa composition.



- Une électrode constituée de carbone sous forme de feuilles de graphène.
 - Une électrode constituée de plusieurs oxydes métalliques : nickel (Ni), manganèse (Mn) et oxyde de cobalt (CoO_2). Le cobalt étant présent en majorité, on considérera qu'il est le seul métal à intervenir dans la réaction de fonctionnement de la pile.
 - Un électrolyte liquide organique contenant un composé ionique comportant des cations lithium dans lequel baignent les électrodes séparées par une membrane perméable aux ions Li^+ .
7. En considérant que le nombre d'oxydation de l'oxygène dans $\text{CoO}_{2(s)}$ et dans $\text{LiCoO}_{2(s)}$ vaut **(-II)** et que celui du lithium dans LiCoO_2 vaut **(+I)**, déterminer le nombre d'oxydation de l'élément cobalt dans chacune des espèces chimiques suivantes : $\text{CoO}_{2(s)}$ et $\text{LiCoO}_{2(s)}$.
En déduire l'oxydant et le réducteur dans le couple comportant les deux espèces chimiques $\text{CoO}_{2(s)}$ et $\text{LiCoO}_{2(s)}$.

Une batterie est considérée en fin de vie après un certain nombre de cycles charge/décharge. On souhaite déterminer la masse de lithium présente dans les batteries du Pipistrel Alpha Electro afin d'anticiper son recyclage.

8. a. Lors de la décharge, les atomes de lithium se transforment en cations lithium, déterminer alors la quantité d'électricité maximale qui peut être libérée par gramme de lithium. L'exprimer en C.
- b. Montrer que $1 \text{ A.h} = 3600 \text{ C}$, et exprimer la charge électrique maximale libérée par 1 gramme de lithium en A.h.
- c. Sachant que la tension aux bornes de la batterie est de 3,6 V et que l'énergie totale stockée dans les deux batteries est de 20 kW.h, déterminer la masse totale de lithium présente dans les deux batteries du Pipistrel Alpha Electro.