

Générateur Electrochimique

REDIGER sur 2 copies séparées

PART A – Florence Druart : PEMFC (≈ 10 pt)

Pour les portions sans câblage électrique au lieu d'utiliser des locomotives diesels, des trains à pile à combustible PEMFC (Proton Exchange Membrane fuel Cell) sont mis en place avec un stockage de l'hydrogène sous pression à 450 atm. Ils doivent avoir une autonomie de 800 km à 140 km/h.

Le stack PEMFC utilisé a les performances représentées sur la figure 1, on suppose que les cellules du stack fonctionne à une tension de 0,7V. Sa consommation moyenne est de 750 Nm³/h d'hydrogène pour délivrer une puissance électrique brute de 1 MW. Le stack est refroidi par un circuit liquide caloporteur. Il est alimenté en oxygène grâce à l'air ambiant par l'intermédiaire d'un compresseur.

La consommation des auxiliaires représente 15% de la puissance brute fournie par le stack.

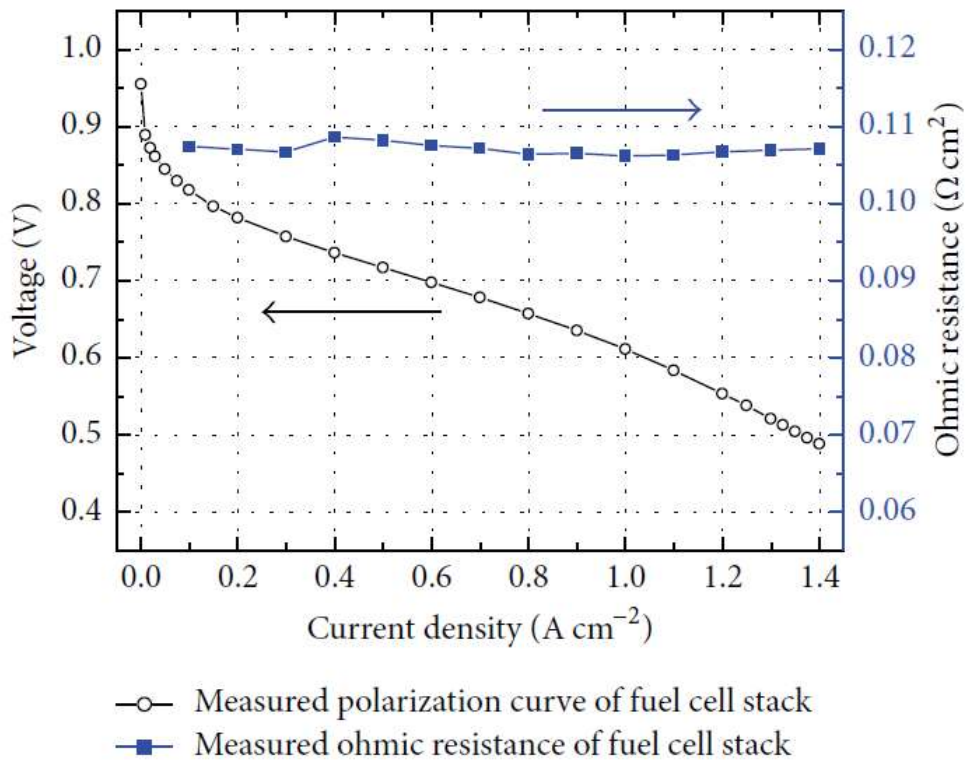


FIGURE 1: Measured polarization curve and ohmic resistances of the fuel cell stack.

1) A votre avis, pourquoi, pour cette application transport, a-t-on choisi une PEMFC plutôt qu'une autre pile à combustible ?

2) A quoi correspond la résistance ohmique représentée sur la figure 1 ?

3) D'après les données de consommation du stack, quel est le taux d'utilisation de l'hydrogène ?

Par la suite on supposera que le taux d'utilisation de l'hydrogène est de 80 %.

4) Quelle est le rendement de ce système ? Vous détaillerez votre calcul.

5) Quel est le volume du réservoir pour atteindre l'autonomie souhaitée, si on considère que le train consomme 4 MW en roulant à 140 km/h ?

En réalité on utilise plusieurs stack, chacun d'une puissance de 93 kW avec une surface de cellule de 400 cm².

6) Combien un stack contient-il de cellules pour pouvoir fournir cette puissance avec le point de fonctionnement choisi ?

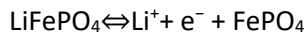
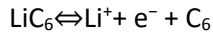
7) Quelle quantité de chaleur dégage-t-il ?

L'hydrogène qui alimente le stack est sec. On constate un taux de partage de l'eau produite dans la cellule PEMFC de 3% vers le compartiment anodique.

8) Donner l'humidité relative qui règne dans ce compartiment sachant que la pile fonctionne sous 2 atm et $P_{\text{sat}} = 0,2 \cdot 10^5$ Pa dans les conditions de fonctionnement choisies. Conclure sur le bon fonctionnement ou pas du stack PEMFC.

PART B – Yann Bultel : pile et accumulateur (≈10 pt)

Une batterie Li-ion C/électrolyte organique/LiFePO₄ (IUPAC) est constituée d'une électrode en graphite associée à une électrode LiFePO₄ et d'un électrolyte organique au sel de Lithium. Les deux réactions aux deux électrodes sont respectivement :



A. Caractéristiques théoriques d'une batterie Li-ion batterie C/LiFePO₄

A.1. Ecrire les demi-réactions pour les électrodes négative et positive lors de la décharge et proposer un schéma du générateur électrochimique. Écrire la réaction globale en décharge.

A.2. Un constructeur veut développer une cellule commerciale d'une capacité nominale de 10 Ah, calculer la masse théorique minimale de matière active pour :

a) électrode négative

b) électrode positive

A.3. La masse de matière active pour l'électrode négative est toujours surdimensionnée d'un facteur 20 % par rapport à la positive. Après assemblage, tout le lithium est contenu dans le matériau de l'électrode sous forme de LiFePO₄ tandis que le graphite est vide sous forme de C₆. Quels sont les rapports d'insertion, γ et x respectivement pour Li _{γ} FePO₄ et Li _{x} C₆ à la fin de la première charge ?

Données:

Masse molaire du C = 12.0 g/mol;

Masse molaire du LiFePO₄ = 157.7 g/mol;

Constante de Faraday, $F = 96500 \text{ C/mol}$

B. Caractéristiques pratiques d'une batterie Li-ion batterie C/LiFePO₄

B.1. La capacité nominale donnée par le constructeur est de 10Ah mesurée à 25±3°. La capacité est obtenue durant une décharge en 5 heures jusqu'à une tension de 2,5V.

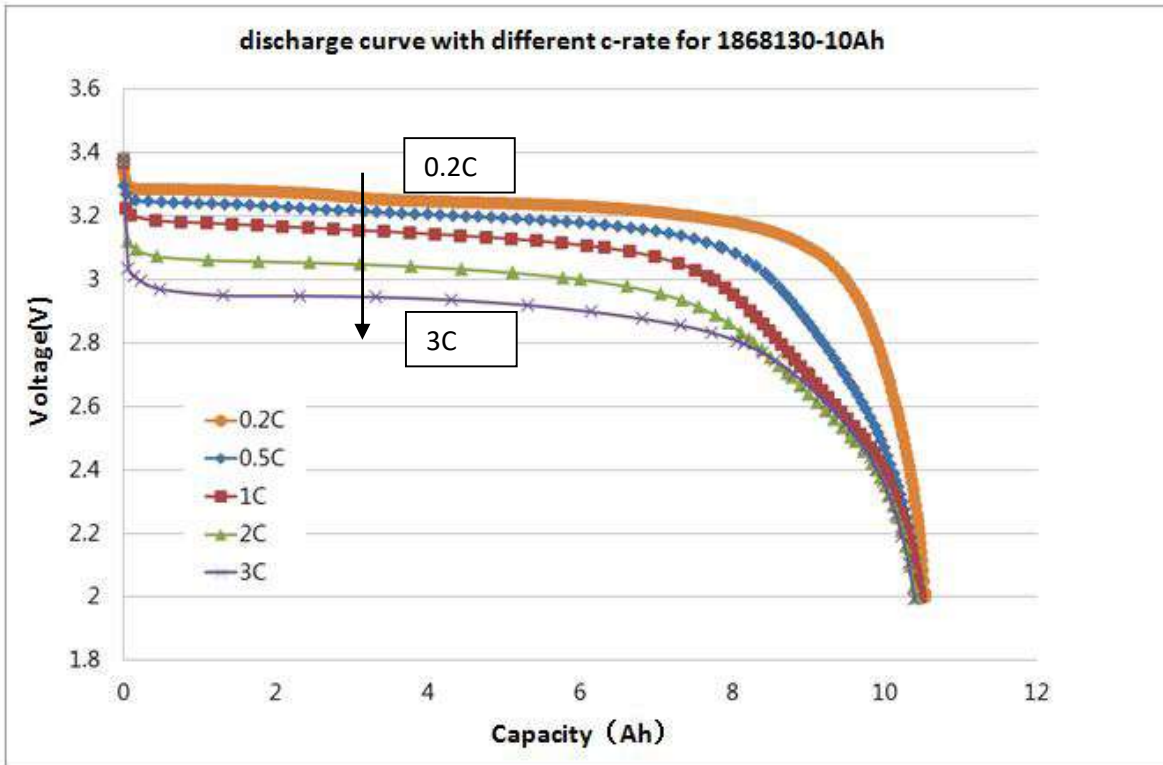
a) Quel est le régime de décharge (C/n) ?

b) Quel est le courant correspondant ?

B.2. La figure ci-après montre les courbes de décharge à différents régimes (C-rate).

a) Estimer la résistance interne de la cellule

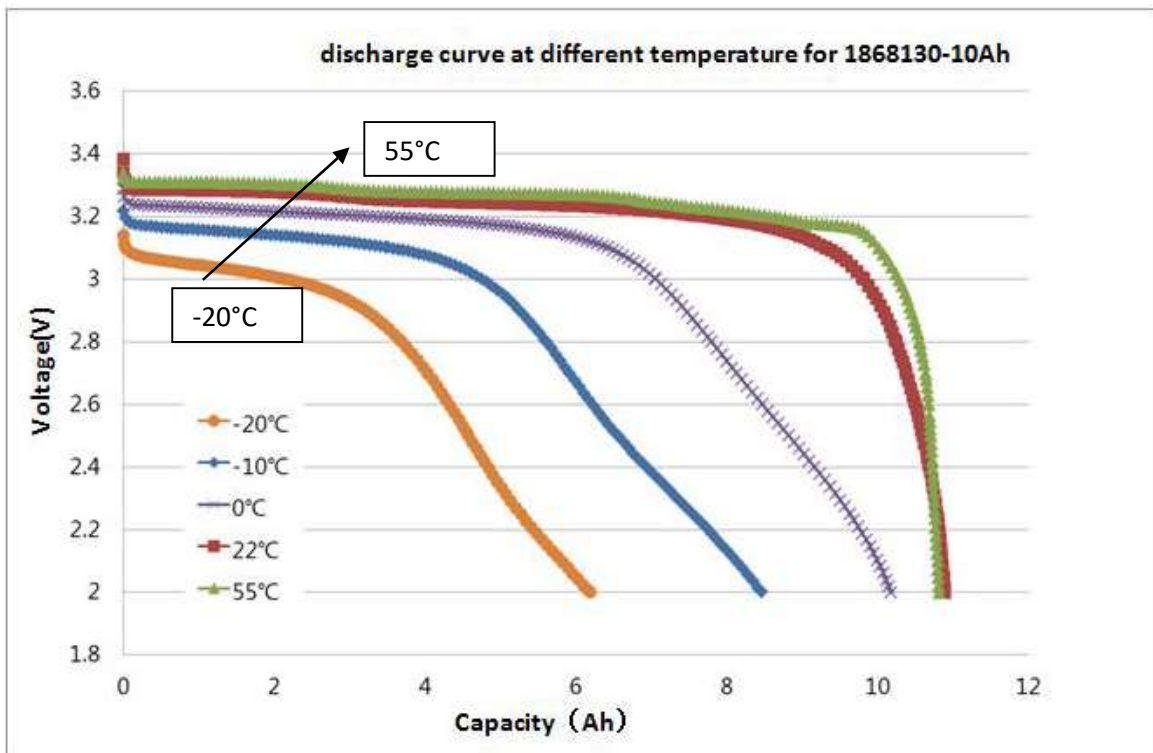
b) Estimer la capacité pratique, la tension moyenne de la cellule et l'énergie de la cellule à chaque régime (0.2C, 0.5C, 1C, 2C, 3C) pour une tension de coupure de 2.5V.



B.3. La figure montre les courbes de décharge à différentes températures dans la condition de décharge standard avec un courant constant de C/5.

a) Estimer la capacité pratique, la tension moyenne de la cellule et l'énergie de la cellule pour une tension de coupure de 2,5V pour chaque température (-20°C, -10°C, 0°C, 22°C, 55°C).

b) Expliquer la forme des courbes.



C. Caractéristiques pratiques d'un module Li-ion C/LiFePO4

C.1. Les cellules sont assemblées pour constituer un module 6S3P.

- Proposer un schéma du module indiquant le nombre de cellules en série et le nombre de branches en parallèle.
- Compte tenu des caractéristiques pratiques à C/5 à 25°C, estimer la capacité pratique, la tension moyenne du module et l'énergie du module.
- Estimer sa résistance interne.

C.2. Ce module est utilisé pour stocker l'énergie produite par une ferme de panneaux photovoltaïques. La production PV est donnée par la figure ci-dessous. Le rendement électrique du module de batterie est de 85 %.

- Estimer le nombre minimal de modules pour stocker l'électricité pendant une journée.
- Si la tension moyenne du pack est de 400V, proposer une architecture électrique nSkP pour les modules.

