

QCM de 10 questions + 1 exercice.

Cours et documents autorisés. Prévu pour 30 minutes environ. Noté sur 20 points.

QCM : attention : plusieurs bonnes réponses possibles.

Sur 13 points (car 26 bonnes réponses. Avec 0.5 point par bonne réponse et -0.5 point par mauvaise réponse).

1 - Une automobile (issue des segments B-C ou M1), équipée d'un générateur à pile à combustible pour la traction, consomme en moyenne pour 100 km parcourus (à état de charge constant pour les autres organes de stockage de l'énergie, comme les batteries) :

- Environ 1 kg d'H₂ ?
- Environ 10 kg d'H₂ ?
- Environ 100 g d'H₂O ?

2 - Qu'est-ce qu'une pile à combustible de type PEMFC ou PEFC ?

- Une pile à membrane échangeuse de protons (« Proton Exchange Membrane Fuel Cell ») ?
- Une pile à électrolyte polymère (« Polymer Electrolyte Fuel Cell ») ?
- Une pile à combustible à membrane perfluorée ?
- Une Pile Membranaire à Carbonate Fondu ?

3 - Un stack de pile à combustible destiné à une application de type transport ou stationnaire correspond-il à ?

- un assemblage de cellules unitaires mises en série à la fois au niveau de la connexion électrique et de la distribution fluide (c'est-à-dire vis-à-vis de la distribution des gaz réactifs dans le stack) ?
- un assemblage de cellules mises en série d'un point de vue électrique et placées en parallèle au niveau fluide (c'est-à-dire vis-à-vis de la distribution des gaz réactifs dans le stack) ?
- un assemblage de cellules électrochimiques entouré d'organes auxiliaires (ex. : compresseur d'air, convertisseur électronique, humidificateur(s), etc) destinés à le faire fonctionner grâce à un conditionnement approprié des énergies et des réactifs ?

4 - Quels sont actuellement les ordres de grandeur pour la densité de courant et la tension de cellule unitaire nominales d'une pile à combustible de type PEMFC destinée à une application transport ou stationnaire ?

- 10 A/cm² et 4.2 V ?
- 1 A/cm² et 0.7 V ?
- 0.1 A/cm² et 0.6 V ?

5 - Une pile à combustible de type PEMFC est le siège de « surtensions » électrochimiques (ou chutes de tensions depuis le potentiel à vide – « Open Circuit Voltage ») :

- d'activation (liées aux cinétiques des réactions d'oxydo-réduction) ?
- ohmiques (liées notamment à la résistance de la membrane et à sa charge en eau) ?
- de diffusion (liées au transport des réactifs notamment dans les couches de diffusion - GDLs) ?
- liées à la formation de dendrites dans le lithium des électrodes ?
- liées à la perméation possible de réactifs à travers l'électrolyte (phénomène de « crossover » dans la membrane) ?

6 - L'hybridation d'une pile à combustible PEMFC par d'autres éléments de stockage de l'énergie (ex. : batteries, supercondensateurs) permet-elle ?

- d'exploiter au mieux une complémentarité entre les caractéristiques technologiques de la pile et celles des autres éléments de stockage, en vue d'améliorer le rendement global du générateur hybride ?
- de tenir compte potentiellement de contraintes technico-économiques (ex. : coûts relatifs des différents composants, aspects logistiques liés à la distribution de l'électricité et de l'hydrogène), de problématiques matériaux (disponibilité de certains matériaux) ?
- de limiter les sollicitations sur les éléments et d'augmenter potentiellement la durée de vie de l'ensemble (avec un objectif d'au moins 60 000 h pour une application automobile) ?

- de récupérer de l'énergie électrique via la pile à combustible, par exemple lors des phases de freinage pour un véhicule ?

7 - La micro-cogénération par un stack de pile à combustible de type PEMFC, doté de 20 cellules et délivrant 100 A en régime nominal, produit-elle des puissances d'environ :

- 1.4 kW électriques (brut) et 1.1 kW thermiques ?
- 3 kW électriques et 3 kW thermiques ?
- 2 micro-Watt électriques et thermiques ?

8 - De quels éléments se compose une cellule élémentaire de pile à combustible de type PEMFC ?

- une membrane qui joue le rôle d'électrolyte,
- d'électrodes à base de lithium et de platine,
- d'électrodes à base de carbone et de platine (catalyseur),
- de couches de diffusion pour les réactifs, ou « Gas Diffusion Layers » en anglais,
- de plaques dites « bipolaires », métalliques ou en graphite, pour la distribution des réactifs,
- de plaques collectrices de courant en silicium.

9 – Quelles sont les principales propriétés d'une membrane de pile à combustible de type PEMFC ?

- la membrane doit être un conducteur protonique,
- elle doit être un isolant électronique,
- sa charge en eau doit être la plus faible possible
- elle doit empêcher au maximum la perméation des réactifs entre l'anode et la cathode,
- elle doit résister à des contraintes mécaniques liées aux différentiels de pression entre anode et cathode,
- elle doit produire un maximum de chaleur en régime nominal.

10 – Dans le plan de Nyquist, orthonormé :

- l'impédance d'un circuit électrique RC série se trouve représentée par un segment vertical,
- l'impédance d'un circuit RC parallèle se trouve représentée par un arc de cercle,
- le tracé de l'impédance d'une pile à combustible donne généralement à voir un ou plusieurs arcs de cercle (plus ou moins aplatis)
- l'ajout d'une résistance en série avec un dipôle de type « RC parallèle » décale l'arc de cercle vers la droite.

Exercice :

Sur 7 points (9 valeurs à calculer).

Soit un stack de pile à combustible PEMFC de 10 cellules, calculez, pour un courant de 100 A et une tension moyenne de 0.7V par cellule :

- la puissance électrique en [W] délivrée par le stack.
- une estimation des pertes thermiques en considérant une tension à vide réversible maximale de 1.25 V
- le débit d'hydrogène (théorique) consommé par le stack, en [mol/s], en [g/s], puis en [Nm³/min].
- le débit d'oxygène (théorique) consommé par le stack, en [mol/s], en [g/s], puis en [Nm³/h].
- le débit d'air (réel) à fournir au stack pour une sur-stœchiométrie de 2, à exprimer dans une unité au choix.