

Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
Génie Électrique et Systèmes de Commande

Énergies nouvelles et renouvelables

Final ER54

Prénom, Nom : _____

Numéro INE: _____

B. Blunier, Printemps 2010

Détails

Question de cours _____ / 7 points

Eoliennes _____ / 3 points

Pile a combustible _____ / 11 points

Question de reflexion _____ / 9 points

Total: _____ / 30 points

Questions de cours Répondre aux questions sur cette feuille. Répondez aux questions à choix multiples sans erreur. En cas d'erreur, des points seront enlevés.

- (1^{pts}) 1. Donnez la relation mathématique entre la puissance et l'énergie (avertissement : -4 points si pas de réponse ou réponse fausse!)

1 pts

- (1^{pts}) 2. Donnez l'équation de la réaction globale d'une pile à combustible.

1 pts

- (2^{pts}) 3. Une seule réponse possible par question.

- (a) Quand la vitesse du vent est multipliée par 2, la puissance du vent est multipliée par
(a) 2 (b) 4 (c) 8 (d) 12
- (b) Si le diamètre d'une éolienne est multiplié par 2, la puissance sera multipliée par
(a) 2 (b) 4 (c) 8 (d) 10
- (c) Dans lequel des deux scénarios suivants, une éolienne produit le plus d'énergie ?
(a) un vent de 6 m/s pendant 100 h
(b) un vent de 3 m/s pendant 50 h et 9 m/s pendant 50 h
- (d) Le rendement d'un cœur de pile à combustible à membrane échangeuse de protons est de l'ordre de
(a) 30 % (b) 40 % (c) 50 % (d) 60 % (e) 80 %

2 pts

- (3^{pts}) 4. *Vrai* ou *Faux*. Pas de justification demandée.

- (a) _____ Il est préférable d'un point de vue économique d'avoir une seule éolienne d'une puissance P que n petites éoliennes de puissance P/n
- (b) _____ Il est possible *en théorie* de construire une éolienne capable de récupérer toute l'énergie du vent.
- (c) _____ Si trop d'éoliennes sont connectées au réseau, elle peuvent générer des instabilités sur le réseau.
- (d) _____ L'hydrogène est une source d'énergie au même titre que le pétrole ou le charbon.
- (e) _____ Dans l'histoire de l'automobile, il y a eu une période où, aux États-Unis, il y a avait plus de voitures électriques sur les routes que de voitures thermiques
- (f) _____ Le rendement d'un système pile à combustible est supérieur au rendement d'une batterie.

3 pts

7 pts

Exercices éoliennes Les exercices sont à résoudre sur cette feuille

- (3^{pts}) 1. Soit une éolienne de type NEG Micon 750/48 (génératrice de 750 kW, rotor de 48 mètre de diamètre) montée sur une tour de 50 mètres. La vitesse du vent v sur le site d'implantation est en moyenne de 5 m/s à 10 m de hauteur.

3 pts

En prenant l'hypothèse d'une densité de l'air standard ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$), une distribution statistique de Rayleigh c'est à dire,

$$\langle P_{\text{vent}} \rangle \text{ (W/m}^2\text{)} = \frac{6}{\pi} \frac{1}{2} \rho \langle v \rangle^3,$$

une classe de rugosité de 1 et une efficacité globale de 30 %, estimer l'énergie produite par année (kWh/an).

On rappelle :

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\ln(h/z)}{\ln(h_0/z)}$$

où z est la longueur de rugosité. Le tableau ci-dessous donne une classification de la rugosité et de la longueur de rugosité.

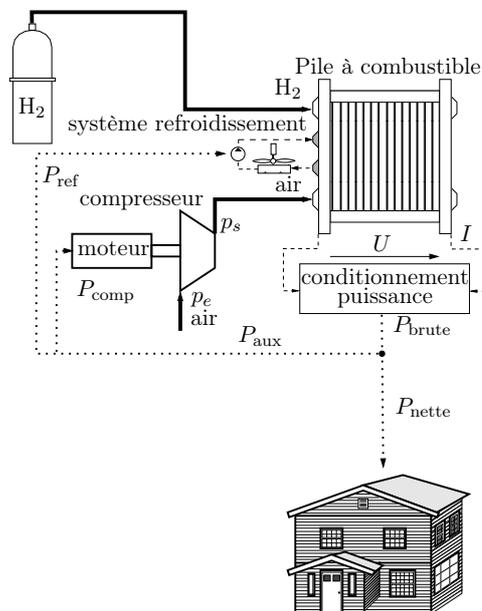
Classe de rugosité	Description	Longueur de rugosité z (m)
0	Surface de l'eau	0,0002
1	Surfaces ouvertes avec peu de brise-vent	0,03
2	Campagne avec des brise-vent à plus de 1 km aux alentours	0,1
3	Ville ou campagne avec beaucoup de brise-vent	0,4
4	Ville dense ou forêt	1,6

3 pts

Exercices pile à combustible Les exercices sont à résoudre sur cette feuille

- (11^{pts}) 1. Une pile à combustible PEFC alimente un petit immeuble résidentiel en électricité (figure ci-dessous). Elle est alimentée par un réservoir d'hydrogène pur sous pression (350 atm) et par un compresseur à air ayant un rapport de compression constant égal à 2 (rapport entre les pressions de sortie et d'entrée).

11 pts



Caractéristiques de la pile à combustible :

- Puissance électrique brute : $P_{brute} = 5 \text{ kW}$;
- Nombre de cellules : $n = 40$.

Le débit molaire (en moles par seconde) de dihydrogène en fonction du courant de la pile est donné par la formule suivante :

$$\dot{n}_{H_2}(I) = \frac{I}{2F} n.$$

Le débit massique d'air (en kilogrammes par seconde) alimentant la pile est donné par la formule suivante :

$$q_{air} = \nu \frac{I}{4F} n \frac{1}{\chi_{O_2}} \bar{M}_{air}$$

- où,
- ν est le rapport à la stœchiométrie du débit d'air, $\nu = 2$
 - n est le nombre de cellules qui composent la pile, $n = 40$
 - χ_{O_2} est la fraction molaire de dioxygène contenue dans l'air, $\chi_{O_2} = 0,21$
 - I est le courant de la pile [A]
 - F est la constante de Faraday, $F = 96\,485 \text{ [C/mol]}$
 - \bar{M}_{air} est la masse molaire de l'air, $\bar{M}_{air} = 28,85 \times 10^{-3} \text{ [kg/mol]}$

On considérera que cette pile n'utilise que 4 points de fonctionnement correspondant à 4 puissances de fonctionnement différentes :

	Puissance brute délivrée (W)	Taux de travail
P_1	500	20 %
P_2	2 000	30 %
P_3	3 000	40 %
P_4	4 500	10 %

Les pertes parasites au niveau du système seront assimilées :

- au circuit de refroidissement (pompe + ventilateur) ; la puissance de ces appareils sera considérée comme constante et égale à $P_{ref} = 40 \text{ W}$;
- au compresseur à air ; la puissance du compresseur dépend du débit massique d'air fourni à la pile. La puissance de compression est donnée par la formule suivante :

$$P_{comp} = \frac{q_{air} T_e c_p}{\eta_C} \left(\left(\frac{p_s}{p_e} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

- où, η_C est le rendement du compresseur : $\eta_C = 70 \%$
 γ coefficient isentropique de l'air : $\gamma = 1,4$
 q_{air} est le débit massique d'air [kg/s]
 p_e est la pression d'entrée du compresseur, $p_e = 1$ [atm]
 p_s est la pression de sortie du compresseur $p_s = 2$ [atm]
 c_p est la capacité thermique de l'air $c_p = 1004$ [J/kg·K]
 T_e est la température d'entrée de l'air $T_e = 298,15$ [K]

- (a) (1 pts) À partir des figures de la puissance brute et de la tension données page 8, déterminer pour chaque point de fonctionnement, le courant et la tension de la pile (remplir le tableau ci-dessous).

	P_{brute} (W)	Courant de la pile (A)	Tension de la pile (V)
P_1	500		
P_2	2 000		
P_3	3 000		
P_4	4 500		

- (b) (1 pts) Pour chaque point de fonctionnement, déterminer (remplir le tableau ci-dessous),
- le débit massique d'air utile,
 - la puissance du compresseur.

	P_{brute} (W)	Débit massique d'air (kg/s)	Puissance du compresseur (W)
P_1	500		
P_2	2 000		
P_3	3 000		
P_4	4 500		

- (c) (2 pts) Pour chaque point de fonctionnement, déterminer,
- la puissance totale consommée par les auxiliaires (compléter le tableau ci-dessous),
 - la puissance nette de la pile (compléter le tableau ci-dessous) ; reporter la puissance nette sur la figure de la puissance brute ci-dessous,
 - le rendement système (compléter le tableau ci-dessous).
- Que pouvez-vous en conclure ?

	P_{brute} (W)	Puissance des auxiliaires (W)	Puissance nette (W)	Rendement système
P_1	500			
P_2	2 000			
P_3	3 000			
P_4	4 500			

(d) (2 pts)

- Établir l'expression *analytique* de la chute de tension $\Delta U = P_{\text{comp}}/I$ provoquée par le compresseur en fonction de ν , F , n , χ_{O_2} , \bar{M}_{air} , T_e , c_p , η_C , p_s , p_e et γ ,
- Calculer la valeur de cette chute de tension.

(e) (2 pts) On suppose que la pile fonctionne 24 heures. Déterminer,

- l'énergie totale fournie par la pile,
- la quantité de dihydrogène consommée (en moles).

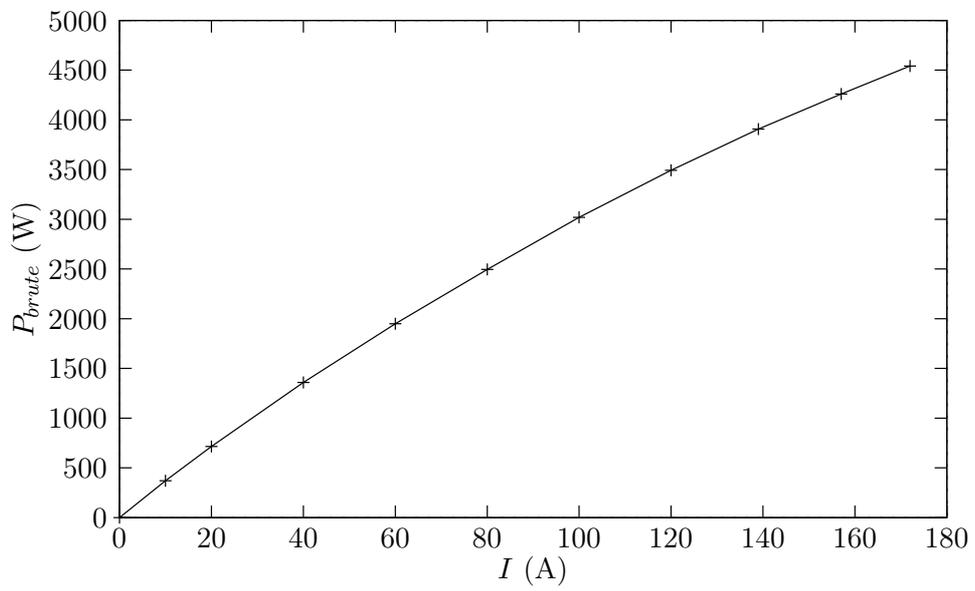
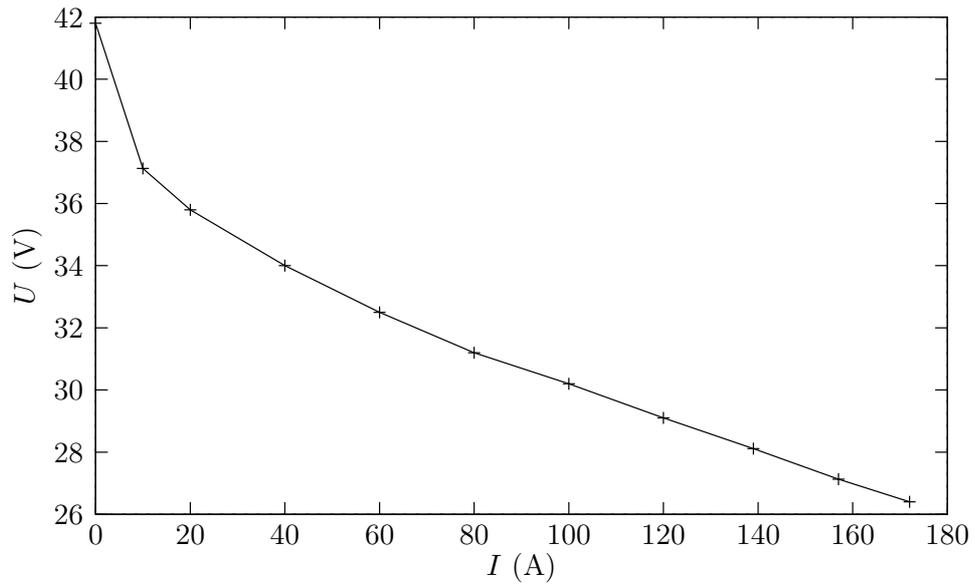
(f) (3 pts)

- Déterminer le volume en mètres-cube (à pression atmosphérique) de dihydrogène pour un fonctionnement de 1 an. On rappelle la formule des gaz parfaits :

$$p \cdot V = n R T$$

- où, p est la pression [Pa] (1 atm=101 325,024 Pa)
 n le nombre de moles
 V le volume du gaz [m³]
 R la constante des gaz parfaits $R = 8,314$ [J/mol·K]
 T la température $T = 298,15$ [K]

- calculer le volume du gaz sachant que le dihydrogène (considéré comme un gaz parfait) est stocké sous une pression de 350 atm.
- Conclure.



Question de réflexion Répondre à la question sur une feuille à part.

(9^{pts}) 1. Voici un extrait tiré du livre *L'île mystérieuse* (1873-74) de Jules Verne :

« [...] Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables et d'une intensité que la houille ne saurait avoir. [...] L'eau est le charbon de l'avenir ». (Cyrus Smith)

Commenter les propos du héros Cyrus Smith de *L'île mystérieuse* à la lumière de vos connaissances sur l'hydrogène et la pile à combustible. Donner votre avis personnel quant à l'avenir de l'hydrogène et de pile à combustible dans les nouvelles technologies de l'énergie.

9 pts