

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

GÉNIE ÉNERGÉTIQUE

Piles à combustible

Principes, modélisation, applications
avec exercices et problèmes corrigés

Benjamin BLUNIER

Abdellatif MIRAOUI.

ellipses

Table des matières

Préface	iii
Avant-Propos	v
Liste des symboles	vii
A Généralités	1
I Principes et généralités	3
1 De la combustion thermique à la pile à combustible	3
2 Aperçu historique	6
3 Principe de fonctionnement	7
II Types de piles à combustible	9
1 Pile à combustible à membrane échangeuse de proton, PEFC	9
1.1 Type d'électrolyte	9
1.2 Température de fonctionnement	10
1.3 Applications principales et gamme de puissance	10
1.4 Avantages et inconvénients	10
2 Pile à combustible alcaline, AFC	10
2.1 Type d'électrolyte	10
2.2 Température de fonctionnement	11
2.3 Applications principales et gamme de puissance	11
2.4 Avantages et inconvénients	12
3 Pile à combustible à acide phosphorique, PAFC	12
3.1 Type d'électrolyte	12
3.2 Température de fonctionnement	12
3.3 Applications principales et gamme de puissance	13
3.4 Avantages et inconvénients	13
4 Pile à combustible à carbonates fondus, MCFC	14
4.1 Type d'électrolyte	14
4.2 Température de fonctionnement	14
4.3 Applications principales et gamme de puissance	15
4.4 Avantages et inconvénients	15

5	Pile à combustible à oxyde solide, SOFC	16
5.1	Type d'électrolyte	16
5.2	Température de fonctionnement	17
5.3	Applications principales et gamme de puissance	17
5.4	Avantages et inconvénients	17
6	Autres piles à combustible	18
6.1	Pile à alimentation directe en méthanol, DMFC	18
6.2	Pile à combustible réversible, RFC	18
6.3	Pile à combustible Zinc-air, ZAFC	19
III	Cœur d'une pile PEFC	21
1	Système pile à combustible	21
1.1	Alimentation en hydrogène	21
1.2	Alimentation en air	24
1.3	Circuit de refroidissement	24
1.4	Circuit d'humidification	24
1.5	Convertisseur statique	25
1.6	Système de contrôle	25
2	Cœur de pile et cellule élémentaire	25
2.1	Plaques bipolaires	26
2.2	Ensemble électrode membrane électrode	27
B	Modélisation de la pile PEFC	31
IV	Caractéristique statique	35
1	Tension à vide	35
1.1	Travail maximal fourni par une pile	35
1.2	Effet de la température et de la pression sur ΔG	36
1.3	Équation de Nernst	38
2	Tension de fonctionnement	40
2.1	Sources de dissipation irréversible de l'énergie	40
2.2	Évaluation des dissipations d'activation	41
2.3	Évaluation des dissipations ohmiques	43
2.4	Évaluation des dissipations par concentration	44
2.5	Somme des irréversibilités	45
3	Influence de la température et de la pression	48
3.1	Influence de la température	49
3.2	Influence de la pression	49
V	Rendements énergétiques	53
1	Rendement théorique (maximum)	53
2	Rendement tension	54
3	Rendement faradique	55
4	Rendement total pile	55

	5	Rendement matière	57
	6	Rendement système	57
	7	Rendement global du groupe électrogène PàC	59
VI		Consommation et débit des gaz	61
	1	Débit de dioxygène et d'air	61
	2	Débit d'air sec en sortie de la pile	63
	3	Débit de dihydrogène	63
	4	Production d'eau	64
	5	Production de chaleur	64
C		Application des piles à combustible	65
VII		Applications embarquées	67
	1	Domaine terrestre	67
	1.1	Automobiles	67
	1.2	Bus	69
	1.3	Deux-roues	69
	2	Domaine maritime	70
	3	Domaine aérospatial	70
VIII		Applications portables	71
	1	Un secteur en pleine croissance	71
	2	Technologies utilisées	71
	3	Exemples d'applications	72
	3.1	Générateurs portables	72
	3.2	Ordinateurs portables	72
	3.3	Téléphones portables	73
	3.4	Autres applications	73
IX		Applications stationnaires	75
	1	Filière AFC	75
	2	Filière MCFC	75
	3	Filière PAFC	76
	4	Filière PEFC	76
	5	Filière SOFC	77
D		Problèmes corrigés	79
	1	Consommation d'hydrogène d'une PàC	81
	2	Compression de l'air et stockage de H ₂	87
	3	Pression optimale du compresseur	97

4	Hydrogène : de la production à la consommation	103
5	Identification des paramètres d'une PàC	113
6	Véhicule à PàC	123
7	Ascenseur et récupération d'énergie	143
	Bibliographie	177

La collection TECHNOSUP dirigée par Claude Chèze est une sélection d'ouvrages dans toutes les disciplines, pour les filières technologiques des enseignements supérieurs.

Niveau **A Approche** (éléments, résumés ou travaux dirigés) *IUT - BTS - 1^{er} cycle*

Niveau **B Bases** (cours avec exercices et problèmes résolus) *IUP - Licence*

Niveau **C Compléments** (approfondissement, spécialisation) *Écoles d'ingénieurs, Master*

L'ouvrage : niveau B (Licence) et niveau C (Master, Écoles d'ingénieurs)
Enfin un ouvrage didactique en français sur les piles à combustible.

Cette technologie prometteuse et en plein essor y est développée de manière résolument pédagogique, pragmatique et facile à aborder.

- **La première partie expose les principes et les différents types de piles.**
- **La deuxième partie développe une modélisation de la pile.**
- **La troisième partie présente les différentes applications embarquées, portables et stationnaires.**

Puis, pour concrétiser les connaissances théoriques acquises, sont proposés dans une dernière partie divers exercices et problèmes réels, dont les solutions sont développées de manière dense et complète.

Les auteurs :

Michel Blunier, Ingénieur diplômé de l'université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM) est chercheur dans cette université où il travaille sur la gestion de l'air dans les piles à combustible.

Abdellatif Miraoui est Professeur des universités à l'UTBM où il dirige le département Génie électrique et systèmes de commande et une équipe de recherche Actionneurs électriques intégrés. Il est docteur honoris causa de l'université de Cluj-Napoca en Roumanie.

Illustration de couverture : Dessin de Léonard de Vinci.



www.editions-ellipses.fr