TABLE DES MATIÈRES

Tome II
Les réacteurs nucléaires

CHAPITRE I LES FILIÈRES NUCLÉAIRES

1. Généralités
1.1 Constitution 13
1.2 Les différentes filières 14

2. Filière graphite-gaz
2.1 Historique 16
2.2 Caractéristiques de la filière 17
2.3 Schéma du réacteur de Bugey 1 18
2.4 Filière AGR 19

3. Filière RBMK
3.1 Description 20
3.2 L'accident de Tchernobyl 22

4. Filière à eau lourde (CANDU)
4.1 Développement 25
4.2 L'eau lourde 25
4.3 La filière CANDU 26

5. Filière à eau pressurisée
5.1 Développement 30
5.2 Caractéristiques de la filière REP 30

6. Filière à eau bouillante
6.1 Développement 32
6.2 Caractéristiques de la filière 32

7. Filière à neutrons rapides
7.1 La surgénération 34
7.2 Bilan neutronique en régime permanent 35
7.3 Caractéristiques de la filière 36
7.4 Historique 37
7.5 Centrale de Creys-Malville 39

8. Filière à haute température
8.1 Développement 41
8.2 Le combustible 42
8.3 Le GT-MHR 43

9. Les filières de demain
9.1 Les différentes générations de réacteurs 46
9.2 VHTR 47
9.3 GFR 47
9.4 SFR 48
9.5 SCWR 49
9.6 LFR 51
9.7 MSR 52

CHAPITRE II LES RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE

1. Caractéristiques générales 53
2. Le circuit primaire
2.1 Le cœur nucléaire 56
2.2 La cuve 60
2.3 Le pressuriseur 61
2.4 Le groupe motopompe primaire 66
2.5 Le générateur de vapeur 68
2.6 Les systèmes fluides 69
3. Le circuit secondaire
3.1 Schéma simplifié 71
3.2 Le groupe turboalternateur 75
3.3 Les réchauffeurs-surchauffeurs 76
3.4 Le condenseur 76
3.5 Les pompes d'extraction 78
3.6 Les turbopompes alimentaires 79
3.7 Le circuit de refroidissement du condenseur 79
4. Pilotage d'un réacteur
4.1 Fonctionnement en régime permanent 83
4.2 Démarrage d'un REP 83
4.3 Arrêt d'un REP 84
4.4 Bilan neutronique en régime permanent 85
4.5 Effets de la température et de l'usure du combustible 86
4.6 Effets du rapport de modération et de la teneur en bore 88
4.7 Effets dus à la présence du xénon 135 89
5. Sûreté
5.1 Dispersion dans l'environnement de produits radioactifs 91
5.2 L'APRP 91
5.3 Évènements externes 92
5.4 L'accident de TMI 92
5.5 Mesure et comparaison des risques 95
6. L'avenir de la filière
6.1 L'EPR 96
6.2 Autres réacteurs 99

CHAPITRE III THERMOHYDRAULIQUE DES RÉACTEURS

1. Généralités
1.1 Caractéristiques spécifiques 101
1.2 Les boucles de transfert 102
2. Distribution de la puissance volumique
2.1 Formes de l'énergie 107
2.2 Répartition de la puissance 108
3. Transfert de chaleur
3.1 Transfert de chaleur par conduction 112
3.2 Transfert de chaleur par convection 116
4. Thermohydraulique du cœur
4.1 Détermination des pertes de charge 122
4.2 Évolution de la température du fluide caloporteur 125
4.3 Transfert de chaleur avec ébullition 128
4.4 Ébullition dans un canal de réacteur à eau 129

CHAPITRE IV LE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

1. Généralités
1.1 Les éléments naturels d'intérêt nucléaire 137
1.2 Les cycles du combustible 137
2. L'uranium
2.1 Découverte 140

2.2 Propriétés nucléaires 140
2.3 Caractéristiques physiques 141
2.4 Le minerai d'uranium 141
2.5 Concentration chimique du minerai 143
2.6 Raffinage et conversion 143

3. L'enrichissement
3.1 L'unité de travail de séparation 145
3.2 La diffusion gazeuse 147
3.3 L'ultracentrifugation 153
3.4 Les tuyères de séparation 156
3.5 L'enrichissement par laser 157

4. Les éléments combustibles
4.1 Le matériau combustible 158
4.2 La gaine 161
4.3 Le combustible usé 162

5. Le retraitement
5.1 Le recyclage du combustible 173
5.2 Le procédé PUREX 173
5.3 La séparation poussée 175

6. Les déchets
6.1 Types et classements 176
6.2 Volume 177
6.3 Conditionnement entreposage et stockage 179
6.4 Effluents liquides et gazeux 185
6.5 Les déchets nucléaires et la loi française 186
6.6 Les déchets à l'étranger 189

7. Le Thorium
7.1 Caractéristiques 191
7.2 Géographie du thorium 192
7.3 Utilisations 192

8. Économie du cycle du combustible
8.1 Le minerai et la concentration de l'uranium 193
8.2 La conversion 195
8.3 L'enrichissement 196
8.4 Le retraitement 197
8.5 Le coût du combustible 198

CHAPITRE V LA FUSION THERMONUCLÉAIRE

1. Généralités
1.1 L'énergie de fusion 199
1.2 Les réactions de fusion 201

2. Le plasma thermonucléaire
2.1 Température 204
2.2 Neutralité 204
2.3 Section efficace de fusion 205
2.4 Les pertes d'énergie 209
2.5 Bilan d'énergie 210
2.6 Critère de Lawson 211

3. Le confinement magnétique
3.1 Le champ magnétique 215
3.2 Le chauffage du plasma 218
3.3 Les réalisations actuelles 218

4. Le confinement inertiel
4.1 Principe 220
4.2 Réalisations actuelles 223

5. Vers un réacteur nucléaire à fusion
5.1 Schéma de principe 224
5.2 Problèmes technologiques 225

5.3 Sécurité 227
5.4 Les déchets 227
5.5 ITER 228

ANNEXES

1. Quelques constantes physiques 232
2. Les unités en énergétique 233
3. Les unités anglo-saxonnes 234
4. Caractéristiques de l'eau liquide saturée 235
5. Table de la vapeur d'eau saturée 236
6. Géographie des centrales nucléaires 238
7. Éléments d'économie de l'énergie nucléaire 249
8. Sigles et abréviations 251
9. Tableau périodique des éléments 260
10. Liste alphabétique des éléments 261
11. Petit dictionnaire English-Français 262

SOURCES 267

CRÉDIT PHOTO 272

GLOSSAIRE 273

INDEX 275