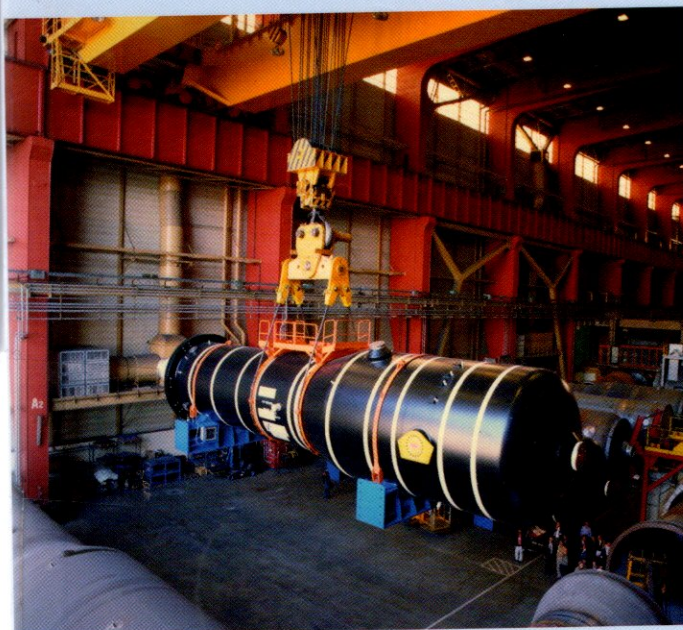


COLLECTION
**GÉNIE
ATOMIQUE**


La chaudière des réacteurs à eau sous pression



Pierre COPPOLANI,
Nathalie HASSENBOEHLER,
Jacques JOSEPH,
Jean-François PETETROT,
Jean-Pierre PY,
Jean-Sébastien ZAMPA

instn

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES
ET TECHNIQUES NUCLÉAIRES


EDP
SCIENCES

Partie II Le combustible des REP

Chapitre 3 : Conception et fabrication du combustible

45	3.1.1. Conception du combustible
46	3.1.2. Lignes de fabrication du combustible
47	3.1.3. Assemblage final
48	3.1.4. Sûreté des opérations
48	3.1.5. Contrôles de fabrication
48	3.2. L'assemblage et ses composants
48	3.2.1. Géométrie de l'assemblage
49	3.2.2. Caractéristiques de l'assemblage
51	3.2.3. Squelette de l'assemblage
55	3.2.4. Sollicitations et critères
57	3.2.5. Caractéristiques des matériaux
58	3.3. Contraintes de conception des crayons
58	3.3.1. Comportement du crayon sous irradiation
65	3.3.2. Critères de conception
65	3.3.3. Modèles de comportement, outils de calcul et méthodes
66	3.3.4. Etudes de conception
66	3.3.5. Exemples d'impact du comportement du combustible en réacteur sur le fonctionnement de la chaudière

Chapitre 4 : Retour d'expérience et évolution du combustible

71	4.1. Irradiation et retour d'expérience
71	4.2. Bénéfices du retour d'expérience : évolution des produits et améliorations des performances du combustible
72	4.2.1. Exemple des tubes-guides
73	4.2.2. Exemple des grilles
74	4.3. Perspectives d'évolution du combustible des REP

Partie III Le circuit primaire

Chapitre 5 : La boucle primaire, la cuve et ses composants

79	5.1. Boucle primaire
80	5.2. Cuve du réacteur
82	5.2.1. Eléments de la cuve
82	5.2.2. Matériau de la cuve
83	5.2.3. Contraintes de conception
84	5.2.4. Situations de fonctionnement
84	5.2.5. Dommages susceptibles d'affecter la cuve
90	5.2.6. Surveillance de la cuve
91	5.3. Structures internes
91	5.3.1. Structure des internes
93	5.3.2. Interfaces internes – Assemblages combustibles

Table des matières

Partie I La production d'électricité nucléaire

Chapitre 1 : La centrale nucléaire

1.1. Principe simplifié de fonctionnement	15
1.1.1. Fonctionnement de la chaudière en puissance	15
1.1.2. Fonctionnement à puissance réduite	17
1.1.3. États d'arrêts	17
1.1.4. Démarrage de l'installation	19
1.2. Circuit secondaire eau/vapeur et production d'électricité	19
1.2.1. Circuit vapeur	21
1.2.2. Condenseur	22
1.2.3. Circuit d'eau alimentaire	22
1.2.4. Évacuation d'énergie	23
1.2.5. Circuit de réfrigération	23
1.3. Architecture générale d'une centrale	24
1.3.1. Bâtiments de l'îlot nucléaire	24
1.3.2. Architecture générale des îlots nucléaires	27
1.3.3. Bâtiments de l'îlot conventionnel	27
1.3.4. Évolution de conception de l'enceinte de confinement	27

Chapitre 2 : Contraintes de conception et d'exploitation des centrales

2.1. Latitude de choix des principaux paramètres	29
2.1.1. Longueur du cycle de combustible	29
2.1.2. Rendement du cycle eau/vapeur	30
2.1.3. Taille du cœur	30
2.1.4. Pression primaire	31
2.2. Conception générale du cœur	35
2.2.1. Limites physiques du cœur	35
2.2.2. Modes de pilotage	37
2.3. Exigences d'exploitation venant du réseau	39
2.3.1. Exigences du réseau	39
2.3.2. Exigences au niveau des tranches nucléaires	40

8.1. Architecture des CV 129
 8.2. Thermohydraulique des générateurs de vapeur 132
 8.2.1. Hydraulique 132
 8.2.2. Thermique 133
 8.2.3. Conséquences sur la conception des CV 134
 8.2.4. Phénomènes de gonflement – Tassement 134
 8.3. Conception mécanique des générateurs de vapeur 136
 8.3.1. Faisceau tubulaire 136
 8.3.2. Enceinte sous pression secondaire 137

Chapitre 8 : Le générateur de vapeur

7.1. Principe de fonctionnement 115
 7.1.1. Courbe caractéristique 115
 7.1.2. Fonctionnement normal 118
 7.1.3. Fonctionnement anormal des GMP 118
 7.2. Architecture des GMP 121
 7.2.1. Éléments du GMP 121
 7.2.2. Partie hydraulique 123
 7.2.3. Barrière thermique 123
 7.3. Étanchéité du groupe motopompe primaire 124
 7.3.1. Étanchéité statique 124
 7.3.2. Système d'étanchéité d'arbre 124
 7.4. Ligne d'arbre 126
 7.4.1. Liaison pompe moteur 126
 7.4.2. Guidage de la ligne d'arbre 126
 7.5. Domaine de fonctionnement 127

Chapitre 7 : Les groupes motopompes primaires

6.1. Architecture du pressuriseur 107
 6.2. Principe de fonctionnement 107
 6.2.1. Régime stationnaire 107
 6.2.2. Régime transitoire 109
 6.2.3. Effet piston 110
 6.2.4. Soupapes de décharge et de sûreté 111

Chapitre 6 : Le pressuriseur

5.3.3. Interfaces internes supérieurs – Grappes de commande 97
 5.3.4. Instrumentation du cœur 97
 5.3.5. Circulation de l'eau dans la cuve 100
 5.4. Mécanismes de commande des grappes (MCG) 101
 5.4.1. Principe de fonctionnement 101
 5.4.2. Enceinte sous pression 103
 5.4.3. Mécanisme de levée 103
 5.4.4. Tige de commande 105
 5.4.5. Ensemble électromagnétique 106
 5.4.6. Système de surveillance de la position de la grappe 106

71
72
73
74
75
69
66
65
65
58
58
57
55
51
49
48
48
48
48
46
45
45
101
101
103
103
105
106
106
100
97
97

137	8.4. Soudapés des générateurs de vapeur
137	8.4.1. Principe de fonctionnement
140	8.4.2. Fonctionnement en eau

Partie IV Les principaux systèmes fluides

Chapitre 9 : Les systèmes auxiliaires

143	9.1. Système de contrôle volumétrique et chimique (RCV) / Système d'appoint en eau et en bore (REA)
144	9.1.1. Eléments du système de contrôle volumétrique et chimique RCV
151	9.1.2. Eléments du système d'appoint en eau et en bore (REA)
151	9.1.3. Fonctionnement des circuits RCV/REA
158	9.2. Système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA)
158	9.2.1. Eléments du circuit RRA
158	9.2.2. Protection contre les surpressions à froid
160	9.2.3. Bilan thermique et dimensionnement
161	9.2.4. Fonctionnement du RRA
161	9.2.5. Transitoire de refroidissement de 180 °C à 60 °C

Chapitre 10 : Les systèmes de sauvegarde

167	10.1. Système d'injection de sécurité (RIS)
167	10.1.1. Principes de conception du circuit
167	10.1.2. Eléments du RIS
168	10.1.3. Fonctionnement du RIS
170	10.1.4. Secours mutuel RIS/EAS
175	10.1.5. Système RIS des tranches de 900 MWe
177	10.2. Système d'alimentation en secours des générateurs de vapeur (ASG)
180	10.2.1. Eléments du système ASG
181	10.2.2. Fonctionnement
182	10.3. Système d'aspersion de l'enceinte (EAS)
182	10.3.1. Eléments du circuit EAS
183	10.3.2. Fonctionnement

Chapitre 11 : Les systèmes secondaires

185	11.1. Circuit eau-vapeur (VVP/ARE)
185	11.1.1. Groupe turboalternateur
185	11.1.2. Poste d'eau
187	11.2. Système de contournement de la turbine (GCT)
190	11.2.1. Eléments du système de contournement
190	11.2.2. Fonctionnement

Chapitre 12 : Les systèmes fluides support

195	12.1. Système de réfrigération intermédiaire (RRI)
195	12.1.1. Eléments du RRI
195	12.1.2. Fonctionnement

Partie V Les alimentations électriques et le contrôle-commande

12.2. Système d'eau brute secourue (SEC) 198
 12.2.1. Éléments du circuit SEC 199
 12.2.2. Fonctionnement 199

Chapitre 13 : Les alimentations électriques

13.1. Liaisons externes 203
 13.1.1. Réseau principal 203
 13.1.2. Réseau auxiliaire 203
 13.2. Réseau interne de la tranche 203
 13.2.1. Sources externes 204
 13.2.2. Sources internes 204
 13.2.3. Auxiliaires 204
 13.3. Fonctionnement des alimentations électriques 205
 13.3.1. Fonctionnement normal 205
 13.3.2. Défaillance du réseau principal 205

Chapitre 14 : Les systèmes de régulation

14.1. Moyens de régulation des besoins 211
 14.1.1. Besoins d'un exploitant 211
 14.1.2. Régulation turbine 216
 14.2. Grandeurs réglées dans un réacteur RFP et capteurs associés 218
 14.2.1. Température moyenne primaire 219
 14.2.2. Pression primaire 221
 14.2.3. Niveau pressuriseur 221
 14.2.4. Niveau dans les générateurs de vapeur 221
 14.2.5. Autres grandeurs principales mesurées pour la régulation 221
 et capteurs associés 222
 14.3. Principaux organes réglants 223
 14.3.1. Grappes de contrôle 224
 14.3.2. Vannes de contournement vapeur au condenseur 225
 14.3.3. Vannes de décharge à l'atmosphère 225
 14.3.4. Chauffières du pressuriseur 225
 14.3.5. Aspersions pressuriseur 226
 14.3.6. Vanne de charge (circuit de contrôle volumétrique et chimique) 226
 14.3.7. Vannes réglantes du circuit d'eau alimentaire normale 227
 14.3.8. Vannes réglantes des turbopompes alimentaires 227
 14.4. Chaînes de régulation 227
 14.4.1. Chaîne de régulation de température moyenne par les grappes 227
 14.4.2. Chaîne de contrôle du contournement vapeur au condenseur 239
 14.4.3. Chaîne de régulation des vannes de décharge à l'atmosphère 244
 14.4.4. Chaîne de régulation de la pression dans le pressuriseur 245
 14.4.5. Chaîne de régulation du niveau dans le pressuriseur 247
 14.4.6. Chaîne de régulation du niveau dans les générateurs de vapeur 252

14.4.7. Chaîne de régulation de vitesse des turbopompes d'eau alimentaire	260
14.4.8. Chaîne de régulation de niveau dans la bache alimentaire et le condenseur (tranches CP2 et postérieures)	261
14.4.9. Chaînes de régulation de la pression de la bache alimentaire (tranches CP2 et postérieures)	262
14.5. Fonctionnement d'une tranche en « grand transitoire » : l'îlotage	264
14.5.1. Le transitoire et ses enjeux	264
14.5.2. Commentaires sur l'intervention des systèmes et l'évolution des principaux paramètres	265
14.5.3. Xénon et dilution	267
14.5.4. Recouplage de l'alternateur et remontée en puissance	269
 Chapitre 15 : Le système de protection	
15.1. Protections spécifiques et protections génériques	273
15.2. Arrêt automatique du réacteur et systèmes de sauvegarde	274
15.2.1. Système d'arrêt automatique du réacteur (AAR)	274
15.2.2. Système d'injection de sécurité (RIS ou IS)	274
15.2.3. Aspersion enceinte (EAS)	275
15.2.4. Alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG)	275
15.2.5. Autres actions commandées par le système de protection	275
15.3. Protections génériques	275
15.3.1. Capteurs associés aux protections génériques	276
15.3.2. Dimensionnement des seuils de surpuissance linéique	276
15.3.3. Dimensionnement des chaînes de Rapport de Flux Thermique Critique	276
15.3.4. Effets dynamiques	276
15.3.5. Alarmes et arrêt automatique du réacteur	277
15.3.6. Limites des protections génériques	277
15.4. Protections spécifiques du cœur : chaînes de protection nucléaire	277
15.4.1. Instrumentation	278
15.4.2. Recouvrement des gammes d'instrumentation	278
15.4.3. Seuils	278
15.5. Protections spécifiques du réacteur en cas de brèche primaire	278
15.5.1. Signaux primaires déclenchant l'arrêt automatique du réacteur	279
15.5.2. Signaux primaires déclenchant la mise en service de l'injection de sécurité	279
15.5.3. Cas des signaux issus des conditions dans l'enceinte	280
15.6. Protections spécifiques du réacteur en cas de brèche secondaire	281
15.6.1. Transitoires de RTV et risques pour le primaire	281
15.6.2. Actions requises	281
15.6.3. Signal d'injection de sécurité par basse pression vapeur	282
15.6.4. Nécessité d'autres signaux pour couvrir tout le spectre des tailles de brèche	283
15.6.5. Dimensionnement des seuils, brèches interfaces et spectre de brèche	284
15.7. Conclusion sur le système de protection	285
Annexe	287