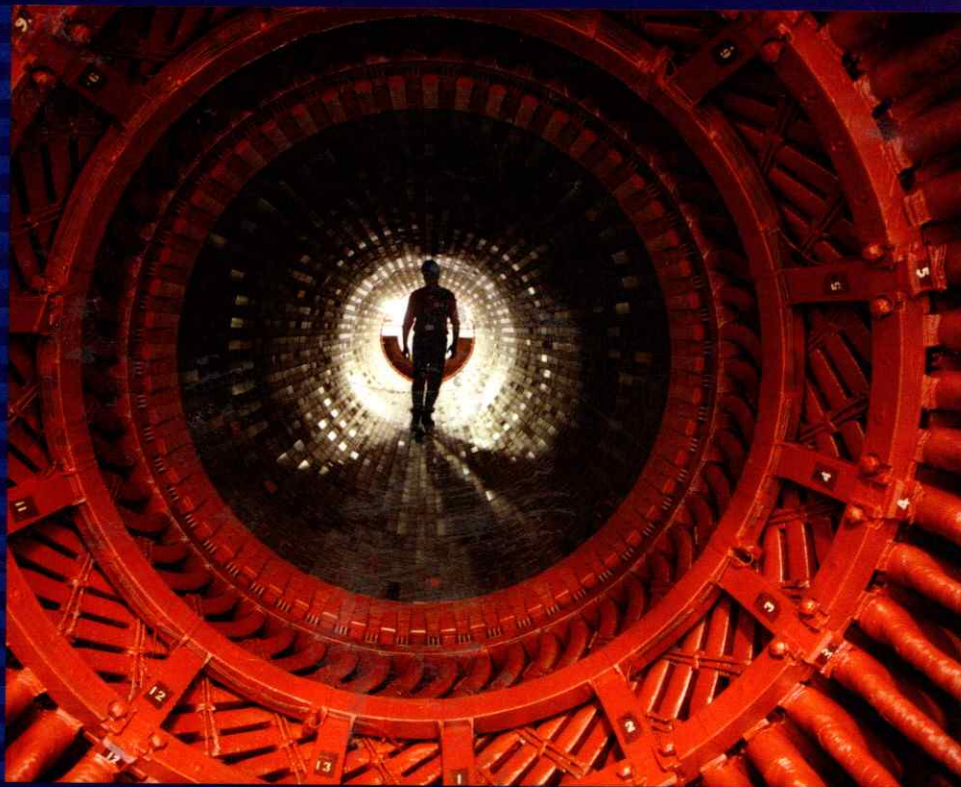




# La maintenance des centrales nucléaires

Jean-Pierre Hutin



*Lavoisier*  
TEC & DOC

# Table des matières

Préface .....	VII
Avant-propos .....	IX
Prélude lexicologique et sémantique .....	XV
Remerciements .....	XIX

## Partie 1

### L'objet à entretenir : une centrale nucléaire

#### Chapitre 1

<b>Conception et construction d'une centrale nucléaire, principes de sûreté .....</b>	<b>3</b>
1. Quelques précisions de vocabulaire .....	3
1.1. Une centrale, une tranche, un site .....	4
1.2. Exploitation, conduite, maintenancé .....	5
1.3. Systèmes, circuits, matériels .....	6
2. Description générale d'une tranche nucléaire et de son fonctionnement .....	6
2.1. Le principe .....	6
2.2. La chaudière .....	7
2.3. Le circuit secondaire et la production d'électricité .....	11
2.4. Le circuit tertiaire .....	11
2.5. Les infrastructures de génie civil .....	12
2.6. Le « reste » .....	13

3.	Conception des systèmes nucléaires et principes de sûreté .....	13
3.1.	Les objectifs de sûreté nucléaire .....	16
3.2.	La défense en profondeur .....	18
3.3.	Les redondances .....	18
3.4.	Les trois barrières .....	20
3.5.	La qualification des matériels aux conditions accidentelles .....	21
3.6.	Les Études Probabilistes de Sûreté (EPS) .....	23
3.7.	La notion « d'incidents » .....	24
4.	Conception, dimensionnement et fabrication des systèmes et des matériels .....	26
4.1.	Le cadre et les acteurs .....	26
4.2.	Les matériels de la chaudière .....	27
4.3.	Les matériels hors chaudière .....	35

*Chapitre 2*

<b>L'exploitation d'une tranche nucléaire et sa maintenance .....</b>	<b>37</b>
1. La vie d'une tranche nucléaire en exploitation .....	37
2. Politique de maintenance .....	40
2.1. Objectifs généraux .....	40
2.2. Principes .....	40
2.3. Les enjeux .....	40
3. Tranche en marche : des possibilités limitées pour la maintenance .....	40
3.1. Surveillance en fonctionnement .....	40
3.2. Mise hors-service pour maintenance .....	40
3.3. Comment faire davantage de maintenance « tranche en marche » ? .....	40
4. L'arrêt de tranche .....	40
4.1. La notion de cycle combustible .....	40
4.2. La planification des arrêts de tranche .....	40
4.3. La durée des arrêts .....	40
4.4. Pendant l'arrêt, une installation toujours en fonctionnement .....	40
5. Quelques spécificités de l'exploitation d'une tranche nucléaire .....	40
5.1. Rayonnements ionisants et radioprotection .....	40
5.2. Qualité et culture sûreté .....	40
5.3. Réglementation et Autorité de Contrôle .....	40

*Partie 2*

**Les hommes, les organisations, les méthodes**

*Chapitre 3*

<b>Les acteurs de la maintenance .....</b>	<b>41</b>
1. L'exploitant (EDF) .....	41
1.1. Le Parc nucléaire .....	41

13	1.2. Une centrale.....	91
16	1.3. Les entités communes au niveau « Parc ».....	98
18	2. Les fournisseurs de composants.....	108
18	2.1. Les chaudiéristes.....	108
20	2.2. Les fournisseurs de groupes turbo-alternateurs.....	110
21	2.3. Les autres fournisseurs de matériels.....	111
3	3. Les fournisseurs de service.....	112
4	3.1. Préambule.....	112
6	3.2. Les constructeurs d'origine.....	113
5	3.3. Les entreprises spécialisées à couverture nationale.....	113
7	3.4. Les entreprises locales.....	115
5	3.5. Les groupements professionnels.....	115
	4. Les autorités de contrôle et leurs appuis.....	116
	4.1. L'Autorité de Sûreté Nucléaire française.....	116
	4.2. L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN).....	120
	4.3. Les Autorités de Sûreté à l'étranger.....	121
	5. Les organismes de référence.....	123
	5.1. L'AFNEN.....	123
	5.2. Le CEFRI.....	125
	5.3. La COFREN.....	125
	6. Les organismes de formation et de recherche.....	126
	6.1. Les organismes de formation.....	126
	6.2. Les organismes de recherche et développement.....	128
	7. La société civile.....	130
	8. Les organismes internationaux.....	131
	8.1. L'AIEA.....	131
	8.2. L'Association mondiale des exploitants nucléaires (WANO).....	133
	8.3. L'Association des Autorités de Sûreté Nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (WENRA).....	134
	8.4. Autres organismes internationaux.....	134

#### Chapitre 4

	<b>L'organisation d'une intervention de maintenance.....</b>	<b>137</b>
	1. Les grandes étapes de la vie d'une opération de maintenance.....	137
	1.1. La préparation.....	138
	1.2. Le calage de l'intervention.....	139
	1.3. La réalisation.....	140
	1.4. Le contrôle.....	145
	1.5. Le repli du chantier.....	145
	1.6. La requalification.....	146
	2. Qualité et Sûreté.....	147
	3. L'organisation et la mise en œuvre de la radioprotection.....	149
	3.1. Responsabilités en matière de radioprotection.....	149
	3.2. Organisation du site en zones radiologiques.....	150
	3.3. Préparation et réalisation des interventions.....	151

3.4. Le suivi dosimétrique .....	153
3.5. Démarches de progrès .....	155
4. Les opérations de « maintenance nationale » .....	156
4.1. L'historique et le concept .....	156
4.2. Le développement et la préparation .....	157
4.3. Des activités très encadrées .....	158
4.4. La mise en œuvre .....	159

*Chapitre 5*

<b>Maintenance Tranche En Marche et Arrêt de Tranche</b> .....	161
1. Maintenance tranche en marche et gestion du fortuit .....	161
1.1. Surveillance des matériels en fonctionnement .....	161
1.2. Maintenance et projet « Tranche en Marche » .....	165
1.3. La gestion du fortuit .....	166
2. La maintenance en arrêt de tranche .....	169
2.1. Introduction .....	169
2.2. Les trois types d'arrêt : ASR, VP et VD .....	170
2.3. Une suite dense et ininterrompue d'activités interdépendantes ..	173
2.4. Le déroulement d'un arrêt de tranche .....	180
2.5. La préparation de l'arrêt de tranche .....	187
2.6. L'organisation du Projet d'Arrêt .....	193
3. Le pilotage des arrêts au niveau Parc .....	199
4. Conclusions .....	200

*Chapitre 6*

<b>Les activités amont et aval</b> .....	203
1. L'élaboration des programmes de maintenance préventive .....	203
1.1. Les premières années .....	203
1.2. L'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité .....	204
1.3. La méthode AP913 .....	204
1.4. Les bénéfices de « l'effet Parc » .....	204
1.5. Niveau local ou niveau national ? .....	204
1.6. Les pratiques à l'étranger .....	204
2. Choix d'une stratégie face à un problème matériel .....	211
2.1. Les méthodes et les données .....	211
2.2. Le cas particulier des modifications .....	211
2.3. Gestion globale du patrimoine industriel .....	211
3. La documentation .....	211
3.1. La documentation générale interne .....	211
3.2. La documentation d'origine externe .....	211
3.3. La documentation qui accompagne une activité .....	211
3.4. Papier ou écran ? .....	211
4. Les pièces de rechange et leur gestion .....	211
4.1. Acheter la bonne pièce de rechange .....	211
4.2. Acheter d'avance, ni trop ni trop peu .....	211

4.3. Les produits consommables et les PMUC .....	225
4.4. Les stocks, leur gestion et la logistique associée à EDF .....	226
5. Le système d'information .....	229
5.1. Un Système d'Information : quoi et pourquoi ? .....	229
5.2. Un peu d'histoire .....	230
5.3. Le SdIN, nouveau SI .....	230
6. La formation et les compétences .....	232
6.1. Les principes .....	232
6.2. Les moyens .....	234
6.3. Les prestataires .....	234
7. Le Retour d'EXpérience (ou REX) .....	235
7.1. Quel retour d'expérience ? .....	235
7.2. L'organisation du REX .....	236

### Chapitre 7

<b>Politique industrielle et relations entre exploitant et prestataires</b> .....	<b>239</b>
1. Approvisionnement .....	239
1.1. Une mise en concurrence parfois difficile .....	239
1.2. La position privilégiée du chaudiériste .....	240
1.3. Une diversification limitée .....	242
2. Relations avec les prestataires : l'histoire .....	242
2.1. Des relations « historiques » .....	242
2.2. La crise .....	243
2.3. La démarche et la charte prestataires .....	244
2.4. Les évolutions de la charte .....	245
3. La politique industrielle aujourd'hui .....	246
3.1. Des objectifs précis .....	246
3.2. Modalité de choix des prestataires, systèmes de qualification .....	249
3.3. Formation des prestataires .....	253
4. Les formes de contractualisation .....	254
4.1. Les appels d'offre .....	254
4.2. « Mieux-disant » plutôt que « moins-disant » .....	255
4.3. Des marchés pluriannuels .....	255
4.4. La rémunération .....	255
4.5. Les prestations intégrées .....	256
5. Conditions d'intervention et radioprotection des intervenants .....	257
5.1. Une volonté de partenariat .....	257
5.2. Suivi médical et protection radiologique .....	258
6. Surveillance des activités sous-traitées .....	259
7. La situation à l'étranger .....	260

### Chapitre 8

<b>Les méthodes et les techniques</b> .....	<b>263</b>
1. Surveillance en fonctionnement .....	263
1.1. La surveillance des fuites .....	263

1.2.	La surveillance vibratoire .....	264
1.3.	La surveillance des caractéristiques physico-chimiques des fluides ...	265
1.4.	La surveillance à des fins d'expertise .....	266
1.5.	Le développement de la maintenance conditionnelle .....	267
2.	Examens non destructifs (END) .....	269
2.1.	Généralités .....	269
2.2.	Examens visuels .....	270
2.3.	Ressuage .....	271
2.4.	Magnétoscopie .....	271
2.5.	Radiographie .....	273
2.6.	Examens par ultrasons .....	276
2.7.	Examens par courants de Foucault .....	278
2.8.	Méthodes de détection de fuite à l'arrêt .....	281
2.9.	Thermographie infrarouge .....	281
2.10.	Autres méthodes et techniques d'expertise .....	282
2.11.	Qualification des méthodes d'examen non destructif .....	286
3.	Le traitement des défauts détectés sur les matériels .....	288
3.1.	Démarche générale .....	288
3.2.	Recherche de l'origine du défaut .....	289
3.3.	Évaluation de la nocivité du défaut et de ses conséquences potentielles .....	290
3.4.	Étude de réparabilité .....	291
4.	Réparation, mitigation, remplacement .....	291
4.1.	Élimination des défauts dans les matériaux métalliques .....	291
4.2.	Grippage de vis et réparation de taraudages .....	292
4.3.	Mitigation .....	293
4.4.	Remplacement des gros composants .....	294
5.	Radioprotection .....	296
5.1.	Réduction de la contamination des matériels et des circuits .....	296
5.2.	Optimisation des doses reçues et réduction des risques de contamination pour les personnes .....	298
6.	Robotique et nouvelles technologies .....	300
6.1.	Porteurs d'outils .....	300
6.2.	Procédés automatisés .....	301
6.3.	Prudence de l'exploitant .....	301
6.4.	L'usage des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) .....	302

### Partie 3

## Les matériels et leur maintenance

### Chapitre 9

<b>Les assemblages combustible .....</b>	<b>301</b>
1. Conception et fabrication .....	301

2.	Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation .....	311
2.1.	Endommagement par corps migrants .....	311
2.2.	Usure par vibration .....	312
2.3.	Dégradation des gaines « de l'intérieur » .....	312
2.4.	Corrosion par le fluide primaire .....	313
2.5.	Déformation globale des assemblages .....	313
2.6.	Endommagement lors de la manutention .....	314
2.7.	Résultats globaux .....	314
3.	Surveillance et maintenance .....	315
3.1.	Surveillance de l'activité du primaire .....	315
3.2.	Inspection des assemblages .....	315

### Chapitre 10

La cuve .....	317
1. Conception et fabrication de la cuve .....	317
1.1. Description et éléments sur la fabrication .....	317
1.2. La démonstration de sûreté prenant en compte la fragilisation de l'acier .....	324
1.3. Problèmes rencontrés en fabrication et impactant la maintenance .....	332
2. Retour d'expérience et problèmes rencontrés en exploitation .....	334
2.1. La fragilisation de l'acier de la cuve .....	334
2.2. Endommagement du plan de joint, des trous taraudés et de la goujonnerie de fermeture .....	335
2.3. Adaptateurs des traversées de couvercle .....	335
2.4. Liaisons bimétalliques .....	339
2.5. Endommagement du revêtement interne .....	339
2.6. Fuites au-dessus du couvercle .....	339
3. Surveillance en fonctionnement .....	341
4. Maintenance à l'arrêt .....	341
4.1. Inspection en service .....	342
4.2. Suivi de la fragilisation due à l'irradiation .....	346
4.3. Actualisation périodique de la démonstration de sûreté .....	347
4.4. L'épreuve hydraulique .....	349
5. La situation à l'étranger .....	350
5.1. Inspection en service .....	350
5.2. Fragilisation de l'acier et ses conséquences .....	351
5.3. Zones en alliage de nickel .....	352

### Chapitre 11

Les équipements internes de la cuve .....	353
1. Conception et fabrication .....	353
1.1. Dispositions générales et fonctions .....	353
1.2. Les équipements internes inférieurs .....	354
1.3. Les équipements internes supérieurs .....	357



1.4.	Le positionnement respectif des différents éléments .....	36
1.5.	Fabrication .....	36
2.	Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation .....	36
2.1.	Relâchement du calage des internes .....	36
2.2.	Vibrations et usure .....	36
2.3.	Incidents de manutention .....	36
2.4.	Corrosion sous contrainte des broches de tubes-guides .....	36
2.5.	Fissuration des vis du cloisonnement .....	36
2.6.	Usure des tubes-guides .....	36
3.	Surveillance en fonctionnement .....	37
4.	Maintenance pendant l'arrêt .....	37
5.	Réparation, rénovation et remplacement .....	37

*Chapitre 12*

**Les grappes de contrôle et leurs mécanismes de commande .....** 37

1.	Conception et fabrication .....	37
1.1.	La maîtrise de la réactivité .....	37
1.2.	Les grappes de contrôle .....	37
1.3.	La tige de commande et son carter .....	37
1.4.	Les mécanismes de commande des grappes .....	37
1.5.	Fonctionnement de l'ensemble .....	38
2.	Retour d'expérience et problèmes rencontrés .....	38
2.1.	Grappes de contrôle .....	38
2.2.	Mécanismes de commande des grappes .....	38
2.3.	Carter des tiges et des mécanismes .....	38
3.	Surveillance en fonctionnement .....	38
4.	Maintenance pendant les arrêts .....	38
4.1.	Grappes de contrôle .....	38
4.2.	Mécanismes de commande des grappes .....	38
4.3.	Carter de la tige et des mécanismes .....	39
4.4.	Bobines électromagnétiques .....	39

*Chapitre 13*

**Les Générateurs de Vapeur (GV) .....** 39

1.	Conception et fabrication .....	39
1.1.	Description .....	39
1.2.	Les problèmes d'accessibilité .....	40
1.3.	Fonctionnement des GV .....	40
2.	Retour d'expérience et problèmes rencontrés en exploitation .....	40
2.1.	Corrosion sous contrainte des tubes côté primaire .....	40
2.2.	Les dépôts de produits de corrosion côté secondaire .....	40
2.3.	Corrosion des tubes côté secondaire .....	40
2.4.	Usure des tubes par frottement .....	40
2.5.	Fissuration des tubes par fatigue vibratoire .....	40
2.6.	Déformations de tubes .....	40

0	2.7. Structures de supportage du faisceau tubulaire.....	419
1	2.8. Structures supérieures du GV.....	420
1	2.9. Enveloppe secondaire sous pression.....	420
2	2.10. Fond primaire et plaque à tubes.....	421
2	2.11. Évolution de l'état général des GV français.....	421
4	3. Surveillance en fonctionnement.....	425
6	3.1. Surveillance de la chimie.....	425
7	3.2. Surveillance des fuites primaire-secondaire.....	425
9	3.3. Surveillance des performances.....	426
0	3.4. Surveillance acoustique.....	426
1	4. Inspection et entretien courant à l'arrêt.....	426
2	4.1. Principes généraux.....	426
	4.2. Programme standard pour des GV « sans histoire ».....	427
	4.3. Programmes spécifiques aux différents types de dégradation.....	429
75	4.4. Nettoyage du secondaire.....	430
	4.5. Test d'étanchéité.....	431
75	5. Réparations.....	432
75	5.1. Bouchage des tubes.....	432
76	5.2. Réparation locale des tubes.....	433
78	5.3. Réparation des structures supérieures.....	434
79	5.4. Extraction d'une portion de tube.....	435
80	6. Mitigation, rénovation, remplacement.....	435
82	6.1. Mise en compression mécanique de la peau interne des ZTD.....	436
82	6.2. Détensionnement thermique des petits cintres.....	436
85	6.3. Remplacement ou repositionnement des BAV.....	436
87	6.4. Remplacement des générateurs de vapeur (RGV).....	436
87	7. Méthodes et outils spécifiques.....	439
88	7.1. Méthodes et outils pour inspection.....	440
88	7.2. Outils pour intervention et réparation.....	442
89	7.3. Tapes d'obturation des tuyauteries primaires.....	444
90	7.4. Dispositif de mise en pression d'un tube.....	445
391		

#### Chapitre 14

393	<b>Les groupes motopompes primaires.....</b>	<b>447</b>
393	1. Conception et fabrication.....	447
393	1.1. Dispositions générales.....	447
400	1.2. La volute et l'hydraulique de pompe.....	450
403	1.3. La barrière thermique.....	451
405	1.4. Joints d'arbre et injection aux joints.....	452
406	1.5. Assemblage et étanchéité statique.....	454
410	1.6. Le moteur et l'arbre.....	454
411	1.7. Maladies et modifications « de jeunesse ».....	455
413	2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation.....	456
416	2.1. Retour d'expérience global.....	456
418	2.2. Problèmes liés à l'exploitation.....	457

- 2.3. Fatigue thermique sur les arbres . . . . .
- 2.4. Fatigue thermique sur la barrière thermique . . . . .
- 2.5. Dégradation des joints d'arbre et dérive des fuites . . . . .
- 2.6. Érosion par cavitation de la roue . . . . .
- 2.7. Défaillance du palier de pompe . . . . .
- 2.8. Crises vibratoires et défretage de roue sur les pompes 1300 . . . . .
- 2.9. Desserrage des vis de guide d'eau . . . . .
- 2.10. Inétanchéité aux joints de volute . . . . .
- 2.11. Adaptation plastique des brides d'assemblage . . . . .
- 2.12. Moteurs . . . . .
- 2.13. Non-qualités en maintenance . . . . .
- 3. Surveillance en fonctionnement . . . . .
- 4. Maintenance pendant l'arrêt . . . . .
  - 4.1. Historique de l'évolution des programmes . . . . .
  - 4.2. Principes généraux . . . . .
  - 4.3. Contenu des programmes standards . . . . .
  - 4.4. Programmes spécifiques à certains problèmes . . . . .
- 5. Rénovation et remplacement . . . . .
- 6. Moyens industriels . . . . .
- 7. Situation à l'étranger . . . . .
  - 7.1. Parc mondial . . . . .
  - 7.2. Pratiques de maintenance . . . . .

*Chapitre 15*

**Le pressuriseur . . . . .**

- 1. Conception et fabrication . . . . .
  - 1.1. Description générale . . . . .
  - 1.2. Fonctionnement . . . . .
  - 1.3. Les manchettes thermiques . . . . .
- 2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation . . . . .
  - 2.1. Un retour d'expérience globalement positif . . . . .
  - 2.2. Liaisons bimétalliques (LBM) . . . . .
  - 2.3. Débit de dose en fond de pressuriseur . . . . .
  - 2.4. Les cannes chauffantes . . . . .
  - 2.5. Les piquages d'instrumentation des pressuriseurs des tranches 1300 . . . . .
- 3. Maintenance du pressuriseur . . . . .
  - 3.1. Surveillance en fonctionnement . . . . .
  - 3.2. Maintenance préventive à l'arrêt . . . . .
  - 3.3. Réparations . . . . .
  - 3.4. Rénovation, remplacement . . . . .
- 4. Soupapes de sûreté du CPP . . . . .
  - 4.1. Historique . . . . .
  - 4.2. Conception de la « solution » SEBIM . . . . .
  - 4.3. REX . . . . .
  - 4.4. Maintenance des soupapes SEBIM . . . . .

Cahiers de maintenance

## Chapitre 16

<b>Le Circuit Primaire Principal (CPP) et ses tuyauteries</b> .....	495
1. Une définition réglementaire .....	495
2. Surveillance et maintenance globale du circuit primaire principal .....	496
2.1. Surveillance de la chimie du fluide primaire .....	496
2.2. Surveillance des fuites .....	497
2.3. Corps migrants et surveillance acoustique .....	498
2.4. Comptabilisation des situations .....	500
2.5. Les visites .....	503
2.6. Épreuve hydraulique .....	504
3. Les tuyauteries principales du CPP .....	505
3.1. Conception et fabrication .....	505
3.2. Retour d'expérience et problèmes rencontrés en exploitation .....	507
3.3. Surveillance et maintenance .....	510
4. Les tuyauteries auxiliaires du CPP et les organes de robinetterie .....	511
4.1. Conception et fabrication .....	511
4.2. Retour d'expérience et problèmes rencontrés en exploitation .....	512
4.3. Surveillance et maintenance .....	518
5. Dispositifs anti-débattements (DAD) et auto-bloquants (DAB) du CPP .....	520
5.1. Dispositifs anti-débattement (DAD ou butées) .....	521
5.2. Dispositifs auto-bloquants (ou DAB) .....	522
6. Les liaisons bimétalliques du CPP .....	524
7. Les zones en alliage de nickel du CPP .....	526
8. Les zones singulières du CPP .....	527

## Chapitre 17

<b>Le Bâtiment Réacteur (BR) et les infrastructures internes</b> .....	531
1. Bâtiment réacteur .....	531
1.1. Conception et construction .....	531
1.2. Retour d'expérience sur le BR .....	536
1.3. Surveillance en fonctionnement .....	539
1.4. Maintenance pendant les arrêts pour rechargement .....	540
1.5. L'épreuve enceinte .....	541
1.6. Réparation, rénovation .....	542
1.7. Situation des autres exploitants .....	543
2. Dispositifs de manutention .....	544
2.1. Le pont polaire .....	544
2.2. La machine de chargement du combustible .....	548

## Chapitre 18

<b>La turbine</b> .....	553
1. Conception, fabrication, exploitation .....	553
1.1. Dispositions générales .....	553
1.2. Les rotors .....	556

1.3. Les paliers et les étanchéités .....	55
1.4. Les organes d'admission et les auxiliaires .....	55
1.5. Enjeux de la maintenance .....	55
2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation .....	56
2.1. Comportement global des turbines .....	56
2.2. Rotors BP à disques frettés .....	56
2.3. Rotors à disques soudés .....	56
2.4. Problèmes rencontrés sur les autres composants des turbines .....	56
3. Surveillance en fonctionnement .....	56
4. Maintenance à l'arrêt .....	56
4.1. Dispositions générales pour la maintenance à l'arrêt .....	56
4.2. Visite des corps HP .....	56
4.3. Visite des corps BP équipés de rotors à disques frettés .....	56
4.4. Visite des corps BP équipés de rotors à disques soudés .....	56
4.5. Maintenance autre que la visite des corps proprement dite .....	56
5. Réparation, rénovation, remplacement .....	56

### Chapitre 19

#### L'alternateur .....

1. Conception et construction .....	57
1.1. Le stator .....	57
1.2. Le rotor .....	57
1.3. L'excitatrice .....	57
1.4. Les paliers .....	57
1.5. Les joints d'étanchéité à l'huile .....	57
1.6. Refroidissement de l'alternateur .....	57
2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation .....	57
2.1. Rotor .....	57
2.2. Stator .....	57
2.3. Autres composants de l'alternateur .....	57
3. Surveillance en fonctionnement .....	57
4. Maintenance à l'arrêt .....	57
4.1. Contenu général .....	57
4.2. Différents types de visites .....	57
5. Maintenance exceptionnelle et rénovation .....	57

### Chapitre 20

#### Le condenseur .....

1. Conception et fabrication .....	58
1.1. Dispositions générales .....	58
1.2. Les enjeux d'un condenseur « en bon état » .....	58
1.3. La question des matériaux .....	58
2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation .....	58
2.1. Performances en général .....	58
2.2. Faisceau tubulaire .....	58

58	2.3. Plaque à tubes et boîte à eau.....	606
59	2.4. Joints et compensateurs.....	606
59	2.5. Structures internes.....	607
50	3. Surveillance et maintenance en fonctionnement.....	607
50	3.1. Surveillance du vide au condenseur.....	607
61	3.2. Surveillance des paramètres physico-chimiques	
65	du fluide secondaire.....	607
67	3.3. Suivi des performances.....	608
67	3.4. Conditionnement du circuit de refroidissement.....	608
69	3.5. Nettoyage en service des tubes.....	609
69	3.6. Rondes et relevés.....	609
70	4. Maintenance courante à l'arrêt.....	609
71	4.1. Contrôles systématiques.....	610
72	4.2. Contrôles adaptés.....	610
74	4.3. Visites décennales.....	612
75	4.4. Réparations.....	612
	4.5. Nettoyage.....	612
	5. Rénovation et remplacement.....	613

### Chapitre 21

579	<b>Le poste d'eau et autres composants du circuit secondaire.....</b>	<b>615</b>
580	1. Les réchauffeurs du poste d'eau.....	615
582	1.1. Conception et fabrication.....	615
583	1.2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation.....	617
584	1.3. Surveillance en fonctionnement.....	619
584	1.4. Maintenance courante à l'arrêt.....	619
585	1.5. Rénovation et remplacement.....	620
585	2. Les sécheurs-surchauffeurs.....	621
587	2.1. Conception et fabrication.....	621
590	2.2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation.....	626
592	2.3. Surveillance en fonctionnement.....	628
592	2.4. Maintenance courante à l'arrêt.....	629
592	2.5. Rénovation et remplacement.....	630
593	3. Les pompes du poste d'eau.....	631
594	3.1. Pompes d'extraction.....	631
	3.2. Pompes alimentaires.....	634
	4. Les turbopompes de l'alimentation de secours des GV.....	636
597	4.1. Conception et fabrication.....	636
597	4.2. Retour d'expérience.....	636
597	4.3. Surveillance et maintenance.....	637

### Chapitre 22

599	<b>Les aéroréfrigérants et les matériels des circuits d'eau brute.....</b>	<b>639</b>
600	1. Prise d'eau, station de pompage et tambours filtrants.....	640
601	2. Tuyauteries en béton à âme tôle.....	641

- 2.1. Conception et installation
- 2.2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation
- 2.3. Surveillance et maintenance préventive
- 3. Aéroréfrigérants
- 3.1. Dispositions générales
- 3.2. REX, problèmes rencontrés en exploitation
- 3.3. Surveillance et maintenance

### Chapitre 23

#### Les matériels mécaniques

- 1. Tuyauteries et supports
  - 1.1. Description générale
  - 1.2. Retour d'expérience et problèmes rencontrés en exploitation
  - 1.3. Surveillance et maintenance
- 2. Appareils de robinetterie
  - 2.1. Généralités communes à tous les appareils
  - 2.2. Les robinets à commande
  - 2.3. Les clapets
  - 2.4. Les soupapes
- 3. Pompes
  - 3.1. Dispositions générales
  - 3.2. Retour d'expérience
  - 3.3. Maintenance
- 4. Assemblages à brides boulonnées
  - 4.1. Description
  - 4.2. Le choix du joint
  - 4.3. Le serrage
  - 4.4. Retour d'expérience et préconisations

### Chapitre 24

#### Les matériels électriques

- 1. Câbles électriques
  - 1.1. Conception et fabrication
  - 1.2. Modes de dégradation et retour d'expérience
  - 1.3. Maintenance des câbles
- 2. Tableaux électriques
  - 2.1. Dispositions générales
  - 2.2. Retour d'expérience et maintenance du tableau lui-même
  - 2.3. Retour d'expérience et maintenance des appareils associés
- 3. Moteurs électriques haute tension
  - 3.1. Dispositions générales
  - 3.2. Retour d'expérience
  - 3.3. Maintenance

541	4. Batteries .....	703
542	4.1. Dispositions générales .....	703
643	4.2. Maintenance .....	704
644		
644	<i>Chapitre 25</i>	
646	<b>L'instrumentation et le contrôle-commande</b> .....	707
648	1. Dispositions générales .....	707
	1.1. De quoi est composé un système de contrôle-commande ? .....	707
	1.2. Le classement de sûreté des systèmes .....	709
651	2. Les composants et les technologies .....	709
652	2.1. L'instrumentation .....	709
652	2.2. Les actionneurs .....	710
653	2.3. Les automates du niveau 1 .....	710
662	2.4. Niveau 2 : la salle de commande .....	714
664	2.5. Quelques commentaires sur les évolutions technologiques .....	715
664	3. Retour d'expérience et maintenance .....	716
664	3.1. Quelques considérations générales .....	716
671	3.2. Chaînes de mesure de la puissance neutronique .....	719
678	3.3. Modules électroniques analogiques du contrôle-commande	
681	principal (niveau 1) .....	724
684	3.4. Protection du réacteur des tranches 1300 (SPIN) .....	727
684	3.5. La question des logiciels .....	730
686	4. Stratégies long terme sur le contrôle-commande .....	733
687	4.1. Rénovation ou non ? .....	733
688	4.2. Les termes de l'analyse stratégique .....	734
688	4.3. La stratégie d'EDF .....	735
688	4.4. La situation chez les autres exploitants .....	736
689		
690	<i>Chapitre 26</i>	
	<b>Les transformateurs de puissance</b> .....	739
	1. Conception et fabrication .....	740
691	1.1. Dispositions générales et principe de fonctionnement .....	740
691	1.2. Les trois transfos de puissance et leurs fonctions .....	742
692	1.3. Construction et composants d'un transfo de puissance .....	742
693	2. Retour d'expérience, problèmes rencontrés en exploitation .....	746
694	2.1. Vision globale du retour d'expérience .....	746
697	2.2. L'électrisation statique .....	749
697	2.3. La dégradation des isolants .....	750
697	2.4. La corrosion par certaines huiles .....	751
697	2.5. Les traversées .....	752
699	2.6. Autres avaries .....	753
701	3. Maintenance des transformateurs .....	753
701	3.1. Enjeux de la maintenance des transfos .....	753
701	3.2. Stratégie générale : surveillance et échange standard .....	754
702	3.3. Diagnostic et appréciation du risque .....	755



- 3.4. Programmes de maintenance . . . . .
- 3.5. Stratégies de rénovation à long terme . . . . .
- 3.6. L'interaction avec le poste d'évacuation d'énergie . . . . .

*Partie 4*

**Et demain ?**

*Chapitre 27*

**La durée de fonctionnement . . . . .**

- 1. Qu'est-ce que la « durée de fonctionnement » d'une tranche nucléaire ? . . . . .
- 2. La situation du Parc Français . . . . .
- 3. La gestion de la durée de fonctionnement . . . . .
  - 3.1. L'excellence au quotidien . . . . .
  - 3.2. Une anticipation suffisante en maintenance exceptionnelle . . . . .
  - 3.3. Des visites complètes et des réexamens de sûreté tous les dix ans . . . . .
  - 3.4. Les actions « durée de fonctionnement » . . . . .
  - 3.5. Le Grand Carénage . . . . .
- 4. Les composants non remplaçables . . . . .
  - 4.1. La cuve . . . . .
  - 4.2. Les enceintes de confinement . . . . .
- 5. L'obsolescence industrielle et le tissu industriel en support . . . . .
- 6. L'obsolescence réglementaire et l'évolution des exigences . . . . .
- 7. Le maintien des compétences et des connaissances . . . . .
- 8. La centrale nucléaire et son environnement . . . . .
  - 8.1. L'impact d'une centrale nucléaire sur son environnement . . . . .
  - 8.2. L'impact de l'environnement sur une centrale nucléaire . . . . .
- 9. Les aspects économiques . . . . .

*Annexes*

*Annexe 1*

**Les mécanismes d'endommagement des matériaux . . . . .**

- 1. Comportement mécanique des matériaux et rupture . . . . .
  - 1.1. Comportement sous traction d'un matériau continu . . . . .
  - 1.2. Rupture des matériaux métalliques . . . . .
  - 1.3. Caractérisation de la résistance à la rupture . . . . .
  - 1.4. Comportement d'un matériau fissuré . . . . .
  - 1.5. Le flambage . . . . .
- 2. Les mécanismes de vieillissement des matériaux métalliques . . . . .
  - 2.1. Le durcissement et la fragilisation par irradiation . . . . .
  - 2.2. Le gonflement . . . . .
  - 2.3. Le vieillissement thermique . . . . .

58	2.4. La fragilisation par l'hydrogène . . . . .	797
59	3. La fatigue . . . . .	797
60	3.1. Généralités . . . . .	797
	3.2. Les étapes d'une rupture par fatigue . . . . .	799
	3.3. Facteurs aggravants . . . . .	799
	3.4. La modélisation . . . . .	800
	3.5. Application aux chaudières nucléaires . . . . .	803
	3.6. Le cas de la fatigue thermique . . . . .	804
	3.7. La maîtrise de la fatigue . . . . .	807
765	4. La corrosion . . . . .	807
	4.1. La corrosion atmosphérique . . . . .	808
765	4.2. Les mécanismes de la corrosion aqueuse . . . . .	808
766	4.3. Les différentes formes de corrosion aqueuse . . . . .	809
768	4.4. La corrosion-érosion . . . . .	814
768	4.5. La maîtrise des phénomènes . . . . .	815
769	5. La corrosion sous contrainte . . . . .	817
770	5.1. Mécanismes et maîtrise du phénomène . . . . .	817
771	5.2. La corrosion sous contrainte des alliages de nickel dans le milieu primaire . . . . .	819
772	5.3. La corrosion sous contrainte des aciers inoxydables dans le milieu primaire . . . . .	820
773	6. L'usure et l'érosion . . . . .	820
773	6.1. Définitions . . . . .	820
774	6.2. Les mécanismes d'usure . . . . .	821
774	6.3. L'érosion . . . . .	822
776	7. Les mécanismes de dégradation des bétons . . . . .	824
776	7.1. Généralités . . . . .	824
776	7.2. La corrosion des armatures . . . . .	824
777	7.3. La lixiviation . . . . .	825
778	7.4. Les retraits et fluages . . . . .	825
	7.5. Les réactions de gonflement . . . . .	826
	8. Le vieillissement des polymères . . . . .	826
	8.1. Le vieillissement physique . . . . .	826
	8.2. Le vieillissement chimique . . . . .	827

## Annexe 2

785	Centrales nucléaires citées . . . . .	831
785	1. Centrales nucléaires françaises . . . . .	831
786	2. Centrales nucléaires non françaises . . . . .	832

## Annexe 3

793	Glossaire . . . . .	835
794	1. Acronymes, sigles et abréviations . . . . .	835
794	2. Termes techniques . . . . .	842
796	Index . . . . .	849

**Jean-Pierre Hutin** est ingénieur de l'ENSM Nantes et de Lehigh University (États-Unis). Entré au Service de la Production thermique d'EDF en 1978, il prend la tête du Département Maintenance en 1991 puis devient directeur technique du Parc nucléaire en 1995, en charge des principales affaires techniques, de leur traitement et des stratégies associées. Il est ensuite directeur de Programmes à EDF R&D et fonde le Materials Ageing Institute. Auteur de nombreux articles, il a été représentant d'EDF dans différents organismes français et internationaux, expert auprès de la Commission européenne et de l'AIEA et enseignant dans plusieurs écoles d'ingénieurs.

## La maintenance des centrales nucléaires

Pour qu'une centrale nucléaire produise de l'électricité de façon sûre, propre, compétitive et pérenne, la maintenance a un rôle clé à jouer. C'est ce que Jean-Pierre Hutin, ancien directeur technique du Parc nucléaire EDF, nous explique en ne négligeant aucune facette de la question.

Après avoir rappelé ce qu'est une centrale nucléaire, il aborde les aspects humains et organisationnels de la maintenance : les acteurs, la préparation et le déroulement des interventions, les activités en support, la politique industrielle, etc. Puis sont passés en revue tous les matériels avec leur conception, le retour d'expérience, les programmes et les stratégies de maintenance. Une annexe rappelle les connaissances de base relatives aux mécanismes d'endommagement des matériaux.

Les points forts de cet ouvrage ? Un souci constant de vulgarisation pour être simple tout en restant rigoureux ; une mise en perspective pour comprendre comment la maintenance des centrales nucléaires s'est mise en place année après année ; des informations précises sur le comportement des installations, la façon dont les problèmes ont été traités et résolus, le retour d'expérience présenté en toute transparence. L'ouvrage se focalise sur le Parc nucléaire français mais évoque également les pratiques des autres exploitants. Bref, un ouvrage technique et scientifique mais aussi un livre « d'histoires » que l'auteur a vécues et qu'il raconte avec une grande liberté de ton.

Cet ouvrage s'adresse aux techniciens et ingénieurs en formation ou en activité dans le domaine de la maintenance d'installations industrielles, nucléaires ou non. Il permettra également à toute personne intéressée de mieux comprendre les enjeux techniques du nucléaire.

