

Table des matières

Préface de Philippe Le Poac	1
Préface d'Antoine Grall	7
Avant-propos	11
Remerciements	13
Présentation des auteurs	15
Chapitre 1. Objectifs et introduction.	19
André LANNON	
1.1. Les objectifs de cet ouvrage	19
1.2. La fiabilité, une application de la théorie des probabilités	20
1.2.1. La définition de la fiabilité	20
1.2.2. Les premiers temps de la fiabilité	21
1.2.3. La naissance de la fiabilité moderne	23
1.2.4. Le développement de la fiabilité moderne (1948-1960)	23
1.2.5. L'avènement des fiabilistes (1960-1974)	24
1.2.6. La <i>safety culture decade</i> (1975-1990)	26
1.2.7. Maximiser efficacité, performances et profits (1990-2007)	26
1.2.8. Le retour à la sûreté, l'aversion au risque (2007-2020)	27

1.3. La production nucléaire d'électricité	28
1.4. Présentation du contenu de l'ouvrage	34
1.5. Bibliographie	36

Chapitre 2. Les données d'entrée : retour d'expérience et expertise 39

André LANNOY et Emmanuel REMY

2.1. Les objectifs du retour d'expérience	39
2.2. La définition du retour d'expérience	41
2.3. La démarche du retour d'expérience	43
2.4. Le retour d'expérience « événementiel »	46
2.5. Le retour d'expérience « matériel »	48
2.5.1. Le modèle de maintenance : une approche par fonction	48
2.5.2. L'analyse de défaillance	49
2.5.3. Les critères de défaillance	51
2.5.4. La qualité des données	52
2.5.4.1. Au niveau de la collecte des informations	52
2.5.4.2. Au niveau de l'analyse	52
2.6. L'analyse de fiabilité	53
2.6.1. Les composants étudiés	54
2.6.2. Les caractéristiques des données	55
2.6.3. Principes d'estimation simple des données de fiabilité pour les EPS	56
2.7. Conclusion	58
2.8. Bibliographie	60

Chapitre 3. Les principes du calcul de fiabilité dans les EPS de niveau 1 63

Marc BOUISSOU

3.1. Introduction	63
3.2. La base de tous les calculs : une approximation exponentielle	65
3.2.1. Le principe des approximations exponentielles	65
3.2.2. Approximation exponentielle SRI	66
3.3. Les modèles utilisés	68
3.3.1. Les arbres d'événements	68
3.3.1.1. Arbres d'événements simples/avec dépendances	69
3.3.1.2. Ambiguïté des arbres d'événements	71
3.3.2. Les arbres de défaillances	72

3.4. La quantification des EPS	74
3.4.1. Calcul de probabilité des CI conditionnelle à un initiateur.	76
3.4.2. Calcul des facteurs d'importance.	78
3.4.3. Calcul d'incertitude.	80
3.5. La question du niveau de détail	81
3.6. Problèmes pratiques : taille des modèles, fortes probabilités.	83
3.6.1. La taille des modèles et l'explosion combinatoire.	83
3.6.2. Les EPS incendie, inondation, séisme : problème des fortes probabilités	84
3.7. Modèles « cousins » des modèles EPS	86
3.7.1. Les <i>Event Sequence Diagrams</i>	86
3.7.2. Les nœuds papillon	87
3.7.3. Les BDMP (<i>Boolean Logic Driven Markov Processes</i>)	87
3.8. Comment améliorer la précision des EPS classiques ?	91
3.8.1. Principes de la méthode I&AB	91
3.8.2. Les gains permis par I&AB	92
3.8.3. Application numérique de I&AB.	93
3.9. Une voie de recherche : les « EPS dynamiques ».	96
3.10. Logiciels pour réaliser les EPS.	98
3.11. Bibliographie	100

Chapitre 4. Fiabilité des structures : présentation générale, applications pour les centrales nucléaires 105

Emmanuel ARDILLON

4.1. Présentation générale de l'analyse de fiabilité des structures (AFS)	105
4.1.1. Pourquoi l'AFS ?	105
4.1.2. L'AFS : ses concepts.	108
4.1.2.1. L'AFS : un cas particulier de traitement d'incertitude	108
4.1.2.2. L'AFS : une des trois familles d'approches fiabilistes pour les composants	109
4.1.3. Des fondements anciens mais une histoire récente	109
4.1.4. L'AFS : du cas R-S (méthode contrainte-résistance) au cas général	110
4.1.4.1. Le cas R-S (méthode contrainte-résistance)	110
4.1.4.2. Le cas général.	111
4.1.5. Aperçu des méthodes de calcul	113
4.1.5.1. Simulation de Monte-Carlo.	113
4.1.5.2. Les deux grandes familles de méthodes classiques	113
4.1.5.3. Quelques méthodes avancées.	116

4.1.6. OpenTURNS : l’outil de traitement d’incertitude codéveloppé et utilisé chez EDF	117
4.2. La fiabilité des structures dans l’industrie de production d’électricité d’origine nucléaire	119
4.2.1. Optimisation de la politique de maintenance des générateurs de vapeur.	120
4.2.2. Risque de rupture brutale des cuves REP	121
4.3. Le pressuriseur, exemple d’exercice exploratoire d’application des approches probabilistes	122
4.4. L’optimisation probabiliste de la maintenance de bâches des centrales nucléaires	124
4.4.1. Introduction	124
4.4.2. Spécification du problème (étape A).	125
4.4.2.1. Critère de défaillance	125
4.4.2.2. Significativité de la corrosion	126
4.4.2.3. Modèle retenu.	126
4.4.3. Quantification des incertitudes (étape B)	127
4.4.3.1. Variable ε'	127
4.4.3.2. Variable $c_{0i, \text{réel}}$	128
4.4.4. Propagation des incertitudes : calcul du risque global de sous-épaisseur (étape C)	128
4.4.5. Utilisation des résultats probabilistes : détermination des points à réparer	129
4.4.5.1. Approche retenue.	129
4.4.5.2. Résultats numériques	130
4.4.6. Conclusion et perspectives de cette application	131
4.4.6.1. Intérêt industriel	131
4.4.6.2. Intérêt scientifique	131
4.5. La fiabilité des conduites forcées en hydroélectricité – Diagnostics de tenue mécanique.	132
4.6. Conclusion	134
4.7. Bibliographie.	135

Chapitre 5. Modélisations probabilistes et statistiques pour la fiabilité des matériels industriels 141

Emmanuel REMY

5.1. Introduction.	141
5.2. Quelques généralités en préambule.	142
5.3. Approches non paramétriques	148
5.4. Modèles paramétriques	151

5.4.1. Introduction	151
5.4.2. Quelques modèles adaptés aux composants non réparables	152
5.4.3. Prise en compte de facteurs influents	157
5.4.4. Modèles de maintenance imparfaite pour les matériels réparables	160
5.4.5. Modèles stochastiques de dégradation.	166
5.5. Statistique fréquentielle.	172
5.6. Statistique bayésienne.	179
5.7. Validation et sélection de modèles	183
5.8. Cas d'étude pour illustration.	186
5.9. Ouvertures et perspectives de R&D	189
5.10. Outils logiciels	190
5.11. Bibliographie	191

Chapitre 6. Les dimensions humaines et organisationnelles de la fiabilité et de la sûreté nucléaire. 197

Nicolas DECHY, Yves DIEN et Jean-François VAUTIER

6.1. Introduction et contexte historique dans le nucléaire	197
6.2. Définition des dimensions humaines et organisationnelles de la fiabilité et de la sûreté nucléaire	199
6.3. Théories des accidents et de la fiabilité	201
6.4. Des méthodes de collecte et d'analyse des données des sciences humaines et sociales	207
6.5. Fiabiliser les activités humaines.	209
6.5.1. « L'erreur humaine » : l'homme, un agent de fiabilité, faillible . .	210
6.5.2. La formation	212
6.5.3. Appliquer la procédure ou faire preuve de compétences ?	214
6.5.4. Analyser l'activité réelle et les situations de travail	215
6.5.5. Les interfaces homme-machine : le cas des salles de commande .	216
6.5.6. La prise en compte des FOH lors de la conception et des modifications	217
6.5.7. Les actions de conduite et leur faisabilité.	218
6.5.8. Approche quantitative de la fiabilité humaine	220
6.5.9. Les facteurs humains dans les interventions en maintenance . . .	220
6.6. Fiabiliser les organisations du travail et le management des risques . .	222
6.6.1. Démarche qualité et systèmes de management de la sûreté	222
6.6.2. Culture de sûreté	224
6.6.3. Gestion prévisionnelle des emplois et compétences – Gestion des ressources humaines.	225
6.6.4. Le management de la sûreté au quotidien, la prise de décision . .	226

6.6.5. L'analyse de risques, l'anticipation	227
6.6.6. L'adaptation, la résilience, l'urgence et la crise	229
6.6.7. L'analyse d'événement et le processus de retour d'expérience	230
6.6.8. La conduite du changement organisationnel	231
6.6.9. Organisation de la maintenance et de la sous-traitance	232
6.7. Aspects transversaux	234
6.7.1. Les défis de l'intégration, de l'organisationnel et de la temporalité	234
6.7.2. L'apport de l'approche systémique	236
6.7.3. Réflexivité et approche critique.	237
6.7.4. Spécialistes FOH et relais FOH : l'apport des réseaux FOH.	238
6.8. Conclusion	238
6.9. Bibliographie	240

Chapitre 7. Du trop peu au trop-plein : l'impact du Big Data. 253

André LANNOY et Emmanuel REMY

7.1. Introduction.	253
7.2. Vers une meilleure connaissance ?	255
7.2.1. Une nouvelle collecte du retour d'expérience	255
7.2.2. L'importance du prétraitement et de la validation	257
7.2.3. Une meilleure vision du profil de fonctionnement.	258
7.2.4. Vers les méthodes du Big Data	259
7.2.5. Les approches fiabilistes.	260
7.2.6. Le traitement <i>a posteriori</i> ou la visualisation.	264
7.3. Diagnostic et pronostic	265
7.3.1. Le diagnostic.	265
7.3.2. Le pronostic	267
7.3.3. Les modèles classiques de fiabilité pour le pronostic	268
7.4. La confiance	269
7.5. Conclusion	270
7.6. Bibliographie.	272

Chapitre 8. Conclusions et perspectives. 275

André LANNOY

8.1. Centrales nucléaires et progrès de la fiabilité	276
8.2. Les enjeux liés à la fiabilité ?	278
8.3. Des perspectives pour le futur	279
8.3.1. Concernant les données du retour d'expérience et leur qualité	279
8.3.2. Concernant la fiabilité des systèmes	280

8.3.3. Concernant la fiabilité des structures	281
8.3.4. Concernant les données du Big Data et la fiabilité des composants	282
8.3.5. Concernant la fiabilité des organisations et des activités	283
8.4. Bibliographie	285
Liste des auteurs	289
Index	291