

Patrick Lyonnet

Ingénierie de la fiabilité

Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Table des matières

Notations utilisées	IX
---------------------------	----

Avant-propos	XI
--------------------	----

Chapitre 1

Introduction à l'ingénierie de la fiabilité

1. Historique de la fiabilité	1
2. Les études de fiabilité dans le processus industriel.....	1
3. Les grandeurs de bases en fiabilité	6
4. Quelques définitions	6
5. Concepts développés.....	6

Chapitre 2

Taux de défaillances, courbe en baignoire

1. Courbe en baignoire	9
1.1. Détermination empirique de la courbe en baignoire.....	10
2. Définition mathématique du taux de défaillances et des fonctions de fiabilité	12
2.1. Relations entre les fonctions de base de la fiabilité.....	12
2.2. Espérance mathématique	13
3. Composants électroniques et taux de défaillances constant.....	14
3.1. Expression du taux de défaillances en électronique.....	14
3.2. Modèle « FIDES général »	14
3.3. Modèle mathématique de l'« UTE C 80-810 » pour un transistor de faible puissance	14
4. Composants mécaniques et taux de défaillances croissant.....	15
5. Composants informatiques.....	16
5.1. Taux de défaillances proportionnel. Modèle de « Cox ».....	17
5.2. Modèle multiplicatif.....	17
5.3. Taux de défaillances proportionnel pour les logiciels	19
6. Moyennes et espérances mathématiques utilisées en fiabilité.....	20
6.1. Fonction fiabilité sous préventif.....	21
6.2. Espérance mathématique sous préventif (MTBR, MTBUR).....	21
6.3. Estimation des diverses fonctions empiriques de « fiabilité »	22

Chapitre 3

Les modèles de fiabilité

1. Fiabilité des composants et des systèmes mécaniques et électroniques	25
1.1. Modèles de fiabilité pour des données continues.....	25
1.2. Modèles de fiabilité pour des données discrètes.....	32
2. Fiabilité des Logiciels et modèles de croissance.....	35
2.1. Introduction à la fiabilité des logiciels.....	35
2.2. Modèles d'évaluation déterministe de la complexité des logiciels	35
2.3. Modèles d'évaluation probabiliste	37
2.4. Choix des modèles.....	44
2.5. Intervalles de confiances associés	45
3. Croissance de la fiabilité.....	49
3.1. Modèle de Duane	49
3.2. Modèle AMSAA (Army Material System Analysis Activity).....	50
3.3. Modèle de Compertz.....	50

Chapitre 4

Estimation ponctuelle et par intervalle des paramètres

1. Estimation ponctuelle.....	51
1.1. Méthode du maximum de vraisemblance	51
1.2. Méthode de la régression linéaire.....	60
1.3. Méthode graphique (ou manuelle)	62
2. Estimation par intervalle de confiance.....	70
2.1. Concept de la méthode d'estimation par intervalle de confiance	70
2.2. Typologie des intervalles.....	70
2.3. Intervalle de confiance d'une moyenne d'une population normale de variance σ_0^2 connue.....	70
2.4. Intervalle de confiance d'une moyenne d'une population normale de variance σ_0^2 inconnue.....	71
2.5. Intervalle de confiance sur une proportion p	71
2.6. Intervalle de confiance du taux de défaillances constant λ	72
2.7. Intervalle de confiance sur les paramètres de la loi de Weibull.....	73
2.8. Intervalles de confiances obtenus par répliques d'échantillon	74
3. Tests d'adéquations	75
3.1. Test de Khi-deux (χ^2)	76
3.2. Test de Kolmogorov Smirnov	77

Chapitre 5

Fiabilité des systèmes

1. Considérations générales sur les systèmes	79
2. Fiabilité des systèmes non réparables.....	81
2.1. Typologie des systèmes.....	81
2.2. Chemins et coupes d'un système	86
2.3. Redondances et tolérances aux fautes	88
3. Fiabilité des systèmes réparables	99
3.1. Chaînes de Markov et graphe d'états du système.....	99
3.2. Évaluation de la disponibilité des systèmes réparables à l'aide des chaînes de Markov.....	100

3.3. Évaluation de fiabilité des systèmes réparables à l'aide des chaînes de Markov	114
4. Réseaux de Petri, RdP	120
4.1. Généralités sur les réseaux de Petri	120
4.2. Réseaux de Petri Autonome RdPA	122
4.3. Réseaux de Petri non-autonome	122
4.4. Réseaux de Petri synchronisés	122
4.5. Réseaux de Petri temporisés	123
4.6. Réseaux de Petri interprétés	123
4.7. Réseaux de Petri colorés	123
4.8. Réseaux de Petri Stochastiques RdPS	123
4.9. Du réseau de Petri aux chaînes de Markov	128
4.10. Illustration de l'utilisation de la simulation de Monte Carlo et des réseaux de Petri stochastiques	130
4.11. Pourquoi la fiabilité des systèmes en phase de conception ?	131
5. Allocation de fiabilité	132
5.1. Évaluation du facteur complexité	133
5.2. Allocation en fonction des coûts	133

Chapitre 6

Banques de données de fiabilité et retours d'expériences

1. Banques de Données de Fiabilité disponibles	135
2. MIL-HDBK-217F (MiLiTary HanDBook)	137
3. Banque de données de fiabilité mécanique OREDA (Offshore REliability DAta bank)	140
4. AVCO Corporation USA	143
5. UTE C 80-810 de juillet 2000	146
6. FIDES, Guide méthodologique de fiabilité pour les systèmes électroniques, 2004	150
7. Retour d'expériences « REX »	154
7.1. Développement d'un projet « REX »	154
7.2. Collecter les données brutes	155
7.3. Filtrer les données	156
7.4. Traduire ces données en informations exploitables	156
7.5. Capitaliser la connaissance	156
8. Retour d'expériences en informatique	160

Chapitre 7

Fiabilité expérimentale (Essais)

1. Généralité sur les essais de fiabilité	161
1.1. Notion de courbe d'efficacité	161
1.2. Plan de contrôle d'un taux de défaillance à partir d'un essai tronqué avec remplacement	163
2. Essai tronqué sans remplacement	164
2.1. Méthode générale	164
2.2. Utilisation de la loi binomiale	164

3. Essai censuré à r défaillances.....	165
3.1. Méthode générale.....	165
3.2. Définition du plan.....	165
4. Essai progressif.....	166
4.1. Méthode générale.....	166
4.2. Définition du plan.....	166
5. Essais accélérés.....	167
5.1. Essais accélérés et modèle de comportement.....	167
5.2. Facteur d'accélération « F_A », et rapport des taux de défaillances « $r\lambda$ ».....	168
5.3. Facteur d'accélération « F_A ».....	168
5.4. Rapport des taux de défaillances « $r\lambda$ ».....	168
5.5. Modèles d'accélération.....	169
5.6. Principes de base.....	169
5.7. Les divers essais accélérés.....	169
5.8. Formes des contraintes appliquées.....	170
5.9. Lois d'accélération utilisées.....	171
5.10. Loi de fatigue ou de limite d'endurance.....	174
5.11. Loi d'Eyring.....	176
5.12. Loi de Peck.....	176
5.13. Loi « Exponential relationship ».....	176
5.14. Loi « Exponential-Power relationship ».....	177
5.15. Loi « Quadratic and polynomial relationships ».....	177
5.16. Modèle à hasard proportionnel.....	177
6. Essais de fiabilité des logiciels.....	181

Chapitre 8

Analyse statique et qualitative de la fiabilité

1. Analyse fonctionnelle.....	183
1.1. Méthodes d'analyse fonctionnelle.....	183
1.2. Pratique de l'analyse fonctionnelle.....	184
1.3. Principe clef de l'analyse fonctionnelle.....	184
1.4. Classement des fonctions de services (fonctions principales et fonctions contraintes).....	200
1.5. Des fonctions au bloc diagramme fiabilité.....	201
2. Analyse des dysfonctionnements, AMDEC.....	204
2.1. Introduction à l'AMDEC.....	204
2.2. Déroulement de l'AMDEC.....	205
2.3. Initialisation de l'étude AMDEC.....	205
2.4. Analyse et description fonctionnelle.....	206
2.5. Cotation de la criticité, (généralités).....	206
2.6. Analyse AMDEC.....	207
2.7. Synthèse et décisions.....	217
2.8. Plan d'actions de l'AMDEC.....	217
2.9. Conclusion au sujet des « AMDEC ».....	217
3. Analyse des Effets des Erreurs de Logiciel, AEEL.....	217
3.1. Pratique de l'analyse des effets des erreurs de logiciel en quatre phases.....	218
4. Analyse Préliminaire des Risques, APR.....	219
5. « HAZARD AND Operability study », HAZOP.....	220

6. « Hazard Analysis Critical Control Point », HACCP.....	220
7. Arbre de défaillances ADD.....	221
7.1. Construction de l'arbre de défaillances.....	221
7.2. Évaluation probabiliste.....	223

Chapitre 9

Probabilités et mécanique probabiliste

1. Théorie des probabilités.....	225
1.1. Probabilités – définitions.....	225
1.2. Théorème des probabilités totales.....	226
1.3. Théorème de Bayes.....	226
2. Lois de probabilités.....	227
2.1. Lois discrètes.....	227
2.2. Lois continues.....	232
3. Régression linéaire et multiple.....	245
3.1. Régression linéaire.....	245
3.2. Régression multiple.....	247
4. Processus de renouvellement.....	248
4.1. Processus de renouvellement simple.....	249
4.2. Équation de renouvellement dans le cas du Processus Homogène de Poisson (PHP).....	249
4.3. Processus Non homogène de Poisson (PNHP).....	250
4.4. Processus de renouvellement simple modifié.....	250
4.5. Processus de renouvellement simple modifié stationnaire ou processus stationnaire.....	250
4.6. Processus de renouvellement alterné à deux lois.....	251
4.7. Processus de renouvellement superposé.....	251
4.8. Quelques propriétés utiles.....	251
5. Transformée de Laplace.....	252
6. Vecteurs aléatoires.....	253
6.1. Fonction de répartition conjointe.....	253
6.2. Fonction de densité conjointe.....	253
6.3. Fonction marginale de répartition.....	254
6.4. Fonction densité marginale conjointe.....	254
6.5. Moments d'ordre 1 et 2.....	255
6.6. Variables aléatoires non indépendantes (cas général).....	256
6.7. Tableau d'association de deux variables aléatoires indépendantes gaussiennes.....	258
7. Mécanique probabiliste et méthode résistance/contrainte.....	258
7.1. Méthode résistance/contrainte.....	259
7.2. Marge et indice de Cornell (1952/70).....	260
7.3. Indice d'Hasofer et Lind (1974).....	263
7.4. Résolution par simulation de Monte Carlo.....	264
8. Fiabilité bayésienne.....	265
8.1. Démarche bayésienne.....	265
8.2. Lois conjuguées.....	266
8.3. Utilisation de la quantité d'information de Fisher dans l' <i>a priori</i>	271

Chapitre 10

Exercices et problèmes avec solutions

1. Exercices.....	275
2. Solutions.....	284

Annexes – Tables statistiques

Loi binomiale	289
Loi de Poisson	293
Loi de Gauss	297
Loi de Student	298
Loi de Khi-deux(χ^2).....	299
Loi de Fischer-Snedecor	300
Loi Kolmogorov-Smirnov.....	302
Loi de Weibull (calcul de MTBF).....	303
Loi Gamma	304
Rangs médians d'après Johnson.....	304
Rangs médians à 5 %.....	308
Rangs médians à 95 %	312
Table de nombres au hasard.....	316

Bibliographie	317
----------------------------	-----

Index	321
--------------------	-----