

Patrick Lyonnet

# Ingénierie de la fiabilité

Editions  
**TEC**  
& **DOC**

*Lavoisier*



## 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( $\chi^2$ ).....	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

<b>Bibliographie</b> .....	317
----------------------------	-----

<b>Index</b> .....	321
--------------------	-----



## 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 $\sigma_0^2$ connue.....	70
2.4. Intervalle de confiance d'une moyenne d'une population normale de variance $\sigma_0^2$ inconnue.....	71
2.5. Intervalle de confiance sur une proportion $p$ .....	71
2.6. Intervalle de confiance du taux de défaillances constant $\lambda$ .....	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 ( $\chi^2$ ).....	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
<b>4 Réseaux de Petri, RdP .....</b>	<b>120</b>
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
<b>5 Allocation de fiabilité .....</b>	<b>132</b>
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 JTE 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. Loix de probabilités.....	227
2.1. Loix discrètes.....	227
2.2. Loix 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 loix.....	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. Loix conjuguées.....	266
8.3. Utilisation de la quantité d'information de Fisher dans l' <i>a priori</i> .....	271