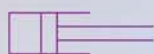


Patrick Lyonnet

# Fiabilité technique et humaine



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

*Lavoisier*



# Fiabilité technique et humaine

---

**Patrick Lyonnet**

Professeur des universités à l'École nationale d'ingénieurs  
de Saint-Étienne (ENISE)



[www.editions.lavoisier.fr](http://www.editions.lavoisier.fr)

## **Chez le même éditeur**

*Fiabilité, diagnostic et maintenance prédictive des systèmes*  
P. Lyonnet, M. Thomas, R. Rosario, 2012

*Supervision, surveillance et sûreté de fonctionnement des grands systèmes*  
Traité Systèmes Automatisés, IC2  
N. Matta, Y. Vandenboomgaerde, J. Arlat, 2012

*Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables*  
(Collection Sciences du risque et du danger, série Références)  
H. Procaccia, É. Ferton, M. Procaccia, 2011

*Sûreté de fonctionnement des équipements et calculs de fiabilité*  
G. Lasnier, 2011

*Fiabilité des ouvrages : sûreté, variabilité, maintenance, sécurité*  
(MIM, série Géomatériaux)  
J. Baroth, F. Schoefs, D. Breyse, 2011

*La simulation de Monte Carlo*  
(Collection méthodes stochastiques appliquées)  
B. Tuffin, 2010

*Les fondements des approches fréquentielle et bayésienne. Applications à la maîtrise du risque industriel*  
(Collection Sciences du risque et du danger, série Références)  
H. Procaccia, 2008

*Évaluation de la fiabilité prévisionnelle : Outil décisionnel pour la conception et le cycle de vie d'un bien industriel*  
A. Lannoy, H. Procaccia, 2006

*Évaluation et maîtrise du vieillissement industriel*  
(Collection EDF R&D)  
A. Lannoy, H. Procaccia, 2005

*Direction éditoriale* : Emmanuel Leclerc

*Édition* : Chantal Arpino

*Fabrication* : Estelle Perez

*Couverture* : Isabelle Godenèche

*Mise en pages* : Atelier SMB

© 2012, Lavoisier, Paris

ISBN : 978-2-7430-1467-4

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands Augustins – 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, d'autre part les analyses et courtes citations justifiées dans le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 – art. L. 122-4 et L. 122-5 et Code pénal art. 425).

# T able des matières

---

Notations utilisées . . . . . XI

Avant-propos . . . . . XIII

## Chapitre 1

### **Introduction à l'ingénierie de la fiabilité**

1. Historique de la fiabilité . . . . .	1
2. Les études de fiabilité dans le processus industriel . . . . .	2
3. Les grandeurs de bases en fiabilité . . . . .	7
4. Quelques définitions . . . . .	7
5. Évaluation des performances . . . . .	8
5.1. Terminologie d'après la norme NF EN 13306 . . . . .	8
5.2. Terminologie Termes utilisés donnés dans la Norme X60-500 relatif à la Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité . . . . .	10
5.3. Diagramme des temps de maintenance (EN 13306-2001) . . . . .	11
5.4. Diagramme des temps de maintenance . . . . .	12
5.5. Maintenance. . . . .	12
6. Bilan carbone des produits et fiabilité . . . . .	13
7. Concepts développés dans l'ouvrage. . . . .	14
Exercices du chapitre 1. . . . .	15

## Chapitre 2

### **Taux de défaillances, courbe en baignoire, relations de bases**

1. Courbe en baignoire . . . . .	17
1.1. Détermination empirique de la courbe en baignoire . . . . .	19
2. Définition mathématique du taux de défaillances et des fonctions de fiabilité . . . . .	20
2.1. Relations entre les fonctions de base de la fiabilité . . . . .	21
2.2. Espérance mathématique . . . . .	21
3. Composants électroniques et taux de défaillances constant. . . . .	22
3.1. Expression du taux de défaillances en électronique . . . . .	23
3.2. Modèle « FIDES général » . . . . .	23
3.3. Modèle mathématique de l'« UTE C 80-810 » pour un transistor de faible puissance . . . . .	23

4. Composants mécaniques et taux de défaillances croissant . . . . .	23
4.1. Modèle pour des composants mécaniques classiques. . . . .	25
5. Composants informatiques . . . . .	30
5.1. Taux de défaillances proportionnel. Modèle de « Cox ». . . . .	31
5.2. Modèle multiplicatif . . . . .	31
5.3. Taux de défaillances proportionnel pour les logiciels . . . . .	33
6. Moyennes et espérances mathématiques utilisées en fiabilité . . . . .	33
6.1. Fonction fiabilité sous préventif . . . . .	34
6.2. Espérance mathématique sous préventif (MTBR, MTBUR) . . . . .	36
6.3. Estimation des diverses fonctions empiriques de « fiabilité » . . . . .	37
Exercices du chapitre 2. . . . .	40

### Chapitre 3

#### Les modèles de fiabilité

1. Fiabilité des composants et des systèmes mécaniques et électroniques . . .	45
1.1. Modèles de fiabilité pour des données continues. . . . .	45
1.2. Modèles de fiabilité pour des données discrètes . . . . .	53
2. Fiabilité des logiciels et modèles de croissance . . . . .	56
2.1. Introduction à la fiabilité des logiciels . . . . .	56
2.2. Modèles d'évaluation déterministe de la complexité des logiciels . . .	57
2.3. Modèles d'évaluation probabiliste . . . . .	58
2.4. Choix des modèles . . . . .	65
2.5. Intervalles de confiance associés . . . . .	66
3. Croissance de la fiabilité . . . . .	70
3.1. Modèle de Duane . . . . .	70
3.2. Modèle AMSAA (Army Material System Analysis Activity) . . . . .	71
3.3. Modèle de Compertz . . . . .	71
Exercices du chapitre 3. . . . .	71

### Chapitre 4

#### Estimation ponctuelle et par intervalle des paramètres

1. Estimation ponctuelle . . . . .	75
1.1. Méthode du maximum de vraisemblance . . . . .	75
1.2. Méthode de la régression linéaire . . . . .	83
1.3. Méthode graphique (ou manuelle) . . . . .	87
2. Estimation par intervalle de confiance . . . . .	94
2.1. Concept de la méthode d'estimation par intervalle de confiance . . .	94
2.2. Typologie des intervalles . . . . .	95
2.3. Intervalle de confiance d'une moyenne d'une population normale de variance $\sigma_0^2$ connue . . . . .	95
2.4. Intervalle de confiance d'une moyenne d'une population normale de variance $\sigma_0^2$ inconnue . . . . .	95
2.5. Intervalle de confiance sur une proportion $p$ . . . . .	96
2.6. Intervalle de confiance du taux de défaillances constant $\lambda$ . . . . .	97

2.7. Intervalle de confiance sur les paramètres de la loi de Weibull . . . . .	98
2.8. Intervalles de confiance obtenus par répliques d'échantillon . . . . .	99
3. Tests d'adéquations . . . . .	99
3.1. Test de Khi-deux ( $\chi^2$ ) . . . . .	100
3.2. Test de Kolmogorov Smirnov . . . . .	102
Exercices du chapitre 4. . . . .	103

### Chapitre 5

## Modélisation stochastique et fiabilité des systèmes non réparables

1. Généralités sur les systèmes . . . . .	107
2. Caractéristiques « fiabilité » des systèmes non réparables . . . . .	109
2.1. Typologie des systèmes . . . . .	110
2.2. Chemins et coupes d'un système . . . . .	114
2.3. Facteur d'importance des composants ou modules. . . . .	116
2.4. Redondances et tolérances aux fautes . . . . .	122
Exercices du chapitre 5. . . . .	132

### Chapitre 6

## Modélisation stochastique et fiabilité des systèmes réparables

1. Fiabilité des systèmes réparables. . . . .	137
1.1. Chaînes de Markov et graphe d'états du système . . . . .	137
1.2. Évaluation de la disponibilité des systèmes réparables à l'aide des chaînes de Markov . . . . .	138
1.3. Évaluation de fiabilité des systèmes réparables à l'aide des chaînes de Markov . . . . .	153
2. Réseaux de Petri, RdP . . . . .	159
2.1. Généralités sur les réseaux de Petri . . . . .	159
2.2. Réseaux de Petri Autonome RdPA . . . . .	161
2.3. Réseaux de Petri non autonome. . . . .	161
2.4. Réseaux de Petri synchronisés . . . . .	161
2.5. Réseaux de Petri temporisés . . . . .	162
2.6. Réseaux de Petri interprétés . . . . .	162
2.7. Réseaux de Petri colorés. . . . .	162
2.8. Réseaux de Petri Stochastiques RdPS . . . . .	162
2.9. Du réseau de Petri aux chaînes de Markov. . . . .	167
2.10. Illustration de l'utilisation de la simulation de Monte Carlo et des réseaux de Petri stochastiques . . . . .	169
3. Allocation de fiabilité. . . . .	170
3.1. Répartition égalitaire . . . . .	171
3.2. Méthode AGREE (Advisory Group of Reliability of Electronic Equipment 1957). . . . .	171
3.3. Méthode ARINC . . . . .	172
3.4. Méthode de faisabilité par objectif (Feasibility-Of-Objectives Technique FOOT) . . . . .	173

3.5. Méthode d'allocation des poids moyens, (Kuo 1999) . . . . .	174
3.6. Méthode de répartition des systèmes réparables . . . . .	174
3.7. Résolution du problème d'optimisation . . . . .	175
Exercices du chapitre 6. . . . .	175

### Chapitre 7

## Banques de données de fiabilité et retours d'expériences

1. Banques de Données de Fiabilité disponibles . . . . .	185
2. MIL-HDBK-217F (MILitary HanDBOOK) . . . . .	187
3. Banque de données de fiabilité mécanique OREDA (Offshore REliability DATA bank) . . . . .	191
4. AVCO Corporation USA . . . . .	192
5. 5 UTE C 80 810 de juillet 2000 . . . . .	197
6. FIDES, Guide méthodologique de fiabilité pour les systèmes électroniques, 2004 . . . . .	197
7. Retour d'expériences « REX » . . . . .	204
7.1. Développement d'un projet « REX » . . . . .	205
7.2. Collecter les données brutes . . . . .	205
7.3. Filtrer les données . . . . .	206
7.4. Traduire ces données en informations exploitables. . . . .	207
7.5. Capitaliser la connaissance . . . . .	207
8. Tables de Barringer, indications sur le paramètre $\beta$ de Weibull . . . . .	211
8.1. Estimation des paramètres de Weibull avec une connaissance « a priori de $\beta$ » . . . . .	213
9. Retour d'expériences en informatique . . . . .	215
Exercices du chapitre 7. . . . .	215

### Chapitre 8

## Analyse qualitative de la fiabilité

1. Analyse fonctionnelle . . . . .	219
1.1. Méthodes d'analyse fonctionnelle . . . . .	219
1.2. Pratique de l'analyse fonctionnelle. . . . .	220
1.3. Principe clef de l'analyse fonctionnelle . . . . .	220
1.4. Classement des fonctions de services (fonctions principales et fonctions contraintes) . . . . .	236
1.5. Des fonctions au bloc diagramme fiabilité . . . . .	237
2. Analyse des dysfonctionnements, AMDEC . . . . .	240
2.1. Introduction à l'AMDEC . . . . .	240
2.2. Déroulement de l'AMDEC. . . . .	241
2.3. Initialisation de l'étude AMDEC. . . . .	241
2.4. Analyse et description fonctionnelle . . . . .	242
2.5. Cotation de la criticité, (généralités). . . . .	242
2.6. Analyse AMDEC . . . . .	243
2.7. Synthèse et décisions . . . . .	253



2.8. Plan d'actions de l'AMDEC . . . . .	253
2.9. Conclusion au sujet des « AMDEC . . . . .	253
3. Analyse des Effets des Erreurs de Logiciel, AEEL . . . . .	253
3.1. Pratique de l'analyse des effets des erreurs de logiciel en quatre phases . . . . .	254
4. Analyse Préliminaire des Risques, APR . . . . .	255
5. « HAZARD AND Operability study », HAZOP . . . . .	256
6. « Hazard Analysis Critical Control Point », HACCP . . . . .	256
7. Arbre de défaillances ADD . . . . .	257
7.1. Construction de l'arbre de défaillances . . . . .	257
7.2. Évaluation probabiliste . . . . .	259
Exercices du chapitre 8 . . . . .	260

## Chapitre 9

### Probabilités et mécanique probabiliste

1. Théorie des probabilités . . . . .	265
1.1. Probabilités – définitions . . . . .	265
1.2. Théorème des probabilités totales . . . . .	266
1.3. Théorème de Bayes . . . . .	266
2. Lois de probabilités . . . . .	267
2.1. Lois discrètes . . . . .	267
2.2. Lois continues . . . . .	272
3. Régression linéaire et multiple . . . . .	285
3.1. Régression linéaire . . . . .	285
3.2. Régression multiple . . . . .	287
4. Processus de renouvellement . . . . .	288
4.1. Processus de renouvellement simple . . . . .	289
4.2. Équation de renouvellement dans le cas du Processus Homogène de Poisson (PHP) . . . . .	289
4.3. Processus Non homogène de Poisson (PNHP) . . . . .	290
4.4. Processus de renouvellement simple modifié . . . . .	290
4.5. Processus de renouvellement simple modifié stationnaire ou processus stationnaire . . . . .	290
4.6. Processus de renouvellement alterné à deux lois . . . . .	291
4.7. Processus de renouvellement superposé . . . . .	291
4.8. Quelques propriétés utiles . . . . .	291
5. Transformée de Laplace . . . . .	292
6. Vecteurs aléatoires . . . . .	293
6.1. Fonction de répartition conjointe . . . . .	293
6.2. Fonction de densité conjointe . . . . .	293
6.3. Fonction marginale de répartition . . . . .	294
6.4. Fonction densité marginale conjointe . . . . .	294
6.5. Moments d'ordre 1 et 2 . . . . .	295
6.6. Variables aléatoires non indépendantes (cas général) . . . . .	296
6.7. Tableau d'association de deux variables aléatoires indépendantes gaussiennes . . . . .	297

6.8. Combinaison de couple de lois de Gauss . . . . .	298
7. Mécanique probabiliste et méthode résistance/contrainte . . . . .	300
7.1 Méthode résistance/contrainte . . . . .	301
7.2 Marge et indice de Cornell (1952-1970) . . . . .	303
7.3. Indice d'Hasofer et Lind (1974) . . . . .	306
7.4. Méthode FORM (First Order Reliability Method) . . . . .	308
7.5. Méthode SORM (Second Order Reliability Method) . . . . .	308
7.6. Résolution par simulation de Monte Carlo . . . . .	311
7.7. Généralisation à plusieurs modes de défaillances et aux systèmes . . . . .	312
8. Cas se ramenant à deux variables résistance/contrainte ( $R/C$ ) . . . . .	313
9. Réseaux bayésiens . . . . .	315
9.1. Graphe ou réseau causal . . . . .	315
9.2. Construction du réseau . . . . .	315
9.3. Phase d'utilisation du réseau . . . . .	315
9.4. Structure du réseau . . . . .	316
Exercices du chapitre 9 . . . . .	318

### Chapitre 10

## Fiabilité expérimentale, essais

1. Généralité sur les essais de fiabilité . . . . .	325
1.1. Notion de courbe d'efficacité . . . . .	325
1.2. Plan de contrôle d'un taux de défaillance à partir d'un essai tronqué avec remplacement . . . . .	325
2. Essai tronqué sans remplacement . . . . .	328
2.1. Méthode générale . . . . .	328
2.2. Utilisation de la loi binomiale . . . . .	328
3. Essai censuré à $r$ défaillances . . . . .	329
3.1. Méthode générale . . . . .	329
3.2. Définition du plan . . . . .	329
4. Essai progressif . . . . .	330
4.1. Méthode générale . . . . .	330
4.2. Définition du plan . . . . .	330
5. Fiabilité expérimentale . . . . .	331
5.1. Démonstration d'un taux de défaillances ( $\lambda$ ) maximum . . . . .	331
5.2. Démonstration d'une moyenne des temps de bon fonctionnement (MUT) minimum . . . . .	332
5.3. Démonstration d'une borne inférieure de la fiabilité . . . . .	332
5.4. Essais en groupe ou technique de la « mort soudaine » . . . . .	333
6. Essais accélérés et modèle de comportement . . . . .	334
6.1. Généralités . . . . .	334
6.2. Facteur d'accélération « $F_a$ », et rapport des taux de défaillances « $r_\lambda$ » . . . . .	334
6.3. Facteur d'accélération « $F_A$ » . . . . .	335
6.4. Rapport des taux de défaillances « $r_\lambda$ » . . . . .	335
6.5. Principes d'accélération . . . . .	335

6.6. Hypothèse de base . . . . .	336
6.7. Classement des essais accélérés . . . . .	336
6.8. Formes des contraintes appliquées. . . . .	337
6.9. Lois d'accélération basées sur des modèles physiques . . . . .	338
7. Modèles statistiques d'accélération basés sur les taux de défaillances de la classe de Lehmann . . . . .	344
7.1. Modèle de Cox ou à hasard proportionnel . . . . .	344
7.2. Modèle simple de survie accélérée . . . . .	345
7.3. Modèles de taux de défaillances avec modification du paramètre d'échelle et de forme, modèle CHSS (Changing Shape and Scale model) . . . . .	345
8. Estimation des paramètres dans le modèle à hasard proportionnel . . . . .	346
8.1. Estimation par la méthode de la vraisemblance de Cox . . . . .	347
8.2. Estimation par la méthode de la régression multiple. . . . .	348
9. Modèle de durées de vie accélérées simple et facteur d'accélération. . . . .	352
9.1. Fonction de transfert des essais accélérés. . . . .	353
9.2. Facteur d'accélération et fonction de transfert dans le cas du modèle de Weibull . . . . .	354
9.3. Méthodologie d'évaluation du facteur d'accélération FA des essais accélérés. . . . .	354
9.4. Choix et description du modèle d'accélération des essais. . . . .	355
9.5. Estimation directe des paramètres du modèle simple d'accélération. . . . .	355
9.6. Relations de bases utilisées dans l'évaluation des grandeurs de fiabilité dans la cadre des essais accélérés . . . . .	356
9.7. Estimation des paramètres du modèle de Weibull associé. . . . .	357
9.8. Description du modèle combiné complet . . . . .	358
9.9. Relation entre le modèle de survie accéléré et le modèle à hasard proportionnel (ou modèle de Cox) . . . . .	359
9.10. Modèle standard de vie accélérée et facteur d'accélération . . . . .	360
9.11. Modèles de facteur d'accélération pour composants de l'ingénierie mécanique . . . . .	360
9.12. Application à la procédure d'évaluation du facteur d'accélération FA pour une boîte de vitesses . . . . .	366
9.14. Essais de fiabilité des logiciels . . . . .	372
Exercices du chapitre 10. . . . .	372

## Chapitre 11

### La fiabilité humaine

1. Introduction . . . . .	379
1.1. Définitions de la fiabilité humaine . . . . .	380
1.2. Facteur humain dans le management de la fiabilité . . . . .	380
1.3. Évaluation probabiliste de la fiabilité humaine . . . . .	381
1.4. Fiabilité humaine et système . . . . .	382
1.5. Définir les contributions de l'intervention de l'homme et les défaillances de celui-ci dans le système . . . . .	383
2. Enjeux de la maîtrise des erreurs humaines. . . . .	383

2.1. Classification des erreurs humaines . . . . .	384
2.2. L'opérateur centre des erreurs . . . . .	384
2.3. Évaluation des erreurs humaines . . . . .	385
3. Modélisation des systèmes techniques et humains . . . . .	385
3.1. Blocs diagrammes fiabilité/arbres de défaillances . . . . .	386
4. Genèse et historique des différentes approches de la fiabilité humaine . . . . .	387
4.1. Méthodes de première génération, approche probabiliste . . . . .	388
4.2. Méthodes de deuxième génération, approche cognitive . . . . .	402
4.3. Méthodes de troisième et quatrième générations, organisationnelle et managériale . . . . .	409
5. Outils et méthodes à l'usage de la fiabilité humaine . . . . .	423
5.1. Identifier les erreurs conduisant aux événements redoutés . . . . .	423
5.2. Analyser les erreurs conduisant aux événements redoutés . . . . .	424
5.3. Traiter les erreurs conduisant aux événements redoutés . . . . .	425
6. Plan pour une étude de fiabilité système intégrant le facteur humain . . . . .	425
6.1. Démarche d'analyse qualitative/quantitative du système technique et humain . . . . .	426
6.2. Analyse de la fiabilité humaine . . . . .	426
Exercices du chapitre 11 . . . . .	427

## Chapitre 12

### Exercices et problèmes

1. Exercices . . . . .	433
2. Solutions . . . . .	446

### Annexes – Tables statistiques

Loi binomiale . . . . .	453
Loi de Poisson . . . . .	457
Loi de Gauss . . . . .	461
Loi de Student . . . . .	462
Loi de Khi-deux( $\chi^2$ ) . . . . .	463
Loi de Fischer-Snedecor . . . . .	464
Loi Kolmogorov-Smirnov . . . . .	466
Loi de Weibull (calcul de MTBF) . . . . .	467
Loi Gamma . . . . .	468
Rangs médians d'après Johnson . . . . .	468
Rangs médians à 5 % . . . . .	472
Rangs médians à 95 % . . . . .	476
Table de nombres au hasard . . . . .	480

<b>Bibliographie</b> . . . . .	481
--------------------------------	-----

<b>Index</b> . . . . .	485
------------------------	-----

# N

---

## otations utilisées

AMDEC	Analyse des modes de défaillances et études des criticités
$B(n, p)$	Loi binomiale de paramètres $n$ et $p$
$C_n^k$	Combinaison de $n$ éléments pris $k$ à $k$
ddl	Degrés de liberté
$D(n, \alpha)$	Valeur de la loi de Kolmogorov-Smirnov de paramètres $n$ et $\alpha$
$\frac{D(Y)}{D(x)}$	Jacobien
$E(x)$	Espérance mathématique de la variable aléatoire $X$
$E(t)$	Espérance mathématique de la variable aléatoire $T$
$F(t)$	Fonction cumulée des défaillances
$f(t)$	Fonction de densité des défaillances
$F(x)$	Fonction cumulée de la variable aléatoire $X$
$f(x)$	Fonction de densité de la variable aléatoire $X$
$F_{v_1, v_2; (1 - \alpha)}$	Valeur de la loi de Fisher qui a $v_1, v_2$ degrés de liberté et un niveau de signification $\alpha$
$I_F$	Matrice d'information de Fischer
$\mathcal{L}_0$	Transformée de Laplace de la fonction $f_0$
MDT	Vient de Mean Down Time, moyenne des Temps d'Arrêts
MDV	Maximum De Vraisemblance
MTBF	Vient de <i>Mean Time Between Failure</i> , moyenne des temps entre pannes
MTTF	Vient de <i>Mean Time To Failure</i> , moyenne des temps jusqu'à la défaillance (systèmes non réparés)
MTTR	Vient de <i>Mean Time To Repair</i> , moyenne des temps de réparation
MUT	Vient de <i>Mean Up Time</i> (moyenne des temps de bon fonctionnement)
$N(m, \sigma)$	Loi normale de paramètre $m$ et $\sigma$
$P(E)$	Probabilité d'avoir l'événement $E$

$P(\bar{E})$	Probabilité complémentaire de l'événement $E$
$P(i, j)$	Probabilité de passer de l'état $i$ à l'état $j$
$R(t)$	Vient de <i>reliability</i> , fiabilité au temps $t$
$u$	Variable aléatoire centrée réduite
$\text{Var}(x)$	Variance de $X$
V.A.	Variable aléatoire
$\alpha$ (alpha)	Niveau de signification
$\beta$ (bêta)	Paramètre de forme de la loi de Weibull
$\beta_c$	Indice de Cornell
$B_{HL}$	Indice d'Hasofer et Lind
$\gamma$ (gamma minusc.)	Décalage d'origine de la loi de Weibull
$\Gamma$ (gamma majusc.)	Fonction gamma
$\lambda$ (lambda)	Taux de défaillance constant
$\lambda(t)$	Taux de défaillance dépendant du temps
$\mu$ (mu)	Inverse de la <i>MTTR</i>
$\prod_{i=1}^{i=n}$ (pi majusc.)	Produit de $i = 1$ à $n$
$\hat{\rho}$	Coefficient de corrélation estimé
$\rho_s$	Coefficient de corrélation de Spearman
$\sigma_0$ (sigma minusc.)	Écart type vrai
$\tau$	Écart type estimé de la variable aléatoire $X$
$\sum_{i=1}^{i=n}$ (sigma majusc.)	Somme de $i = 1$ à $n$
$\eta$ (êta)	Paramètre d'échelle de la loi de Weibull
$\chi_n^2$ (khi-deux)	Khi-deux à $n$ ddl

# Introduction

---

Les études de fiabilité concernent l'ensemble des acteurs et responsables de notre monde industriel. En effet la proximité des citoyens et de la technologie en font un sujet quasiment politique. Qui voudrait habiter près d'une usine à haut risque et non fiable, prendre un avion non sûr, utiliser une voiture trop vite introduite sur le marché, sans garantie ? Les concepts, méthodes et calculs participant à la construction d'une bonne fiabilité sont des réponses à ce problème.

Cet ouvrage fait le point sur les outils de la fiabilité des composants et systèmes techniques contemporains (mécaniques, électroniques, informatiques). Pour cela, sont développées les diverses formes de fiabilité, prévisionnelle, expérimentale et opérationnelle ainsi que leur adéquation aux divers cas rencontrés dans la conception et la mise en oeuvre des systèmes techniques les plus évolués. En effet, vouloir faire du prévisionnel sans banque de données, où un retour d'expériences sérieux, risque de conduire à un échec patent. Dans ce cas une des politiques pertinentes sera la fiabilité expérimentale et les essais accélérés. Cet ouvrage est un guide pour l'ingénierie de la fiabilité en intégrant les idées les plus récentes issues de la recherche et de l'industrie, en les rendant accessibles au praticien. La démonstration de la probabilité d'une défaillance égale à zéro pour un système technique est impossible. Mais si on accepte une valeur quasiment égale à zéro ( $10^{-8}$  défaillance/heure de fonctionnement) cela le devient. Les clefs de ces calculs sont présentées ici.

Tout d'abord, il paraît fondamental et didactique de décrire les généralités sur la fiabilité et les modèles, le taux de défaillances et ses différentes formes, le modèle à hasard proportionnel.

Les lois classiques, exponentielle, Weibull, log-normale sont suffisamment explicitées pour en donner la maîtrise au lecteur. La fiabilité du logiciel avec les processus non homogènes de Poisson font aussi partie des objectifs à posséder. Le lecteur trouvera également les lois d'Okumoto-Goel, de Duane, d'Ohba, de Pham Zhang pour la démonstration de la fiabilité logicielle. Les techniques d'estimation ponctuelle et par intervalle sont résumées et appliquées aux cas réels. Après les composants, viennent les systèmes non réparables et réparables avec leurs calculs spécifiques. Les études de fiabilité prévisionnelles s'appuyant sur les banques de données de fiabilité et le retour d'expériences constituent une pierre angulaire de cet ouvrage. Les essais de démonstration des objectifs de fiabilité poursuivent le but de construction de la fiabilité par l'élimination des mauvaises solutions et donnent ainsi aux concepteurs des outils privilégiés et pragmatiques.

Les méthodes qualitatives telles que l'analyse fonctionnelle, les AMDEC, l'AEEL, l'HAZOP, l'HACCP, les arbres de défaillances apportant une forte contribution aux études de fiabilités font naturellement partie de l'ouvrage. Des parties plus spécialisées, telles que la mécanique probabiliste, l'analyse bayésienne sont présentées de façon didactique. La fiabilité humaine est également au cœur des débats.

Enfin la présentation choisie avec les exemples traités s'adresse à l'ensemble des acteurs de la conception, de l'industrialisation du maintien des systèmes techniques ayant pour objectif d'atteindre un haut niveau de fiabilité adapté aux exigences de nos technologies.

Avant de clore cet avant-propos, je voudrais remercier toutes les personnes ayant contribué à la rédaction de cet ouvrage, en particulier les doctorants que j'ai eu en charge dans la spécialité fiabilité, ainsi que les étudiants de l'ENI de Saint-Étienne des spécialités Fiabilité/Maintenance et Génie industriel pour leurs remarques pertinentes lors des cours.

Mes pensées vont également à mon ami Jean-Claude Ligeron, pionnier de la fiabilité en France et qui a très fortement contribué à son expansion tant dans le monde industriel qu'universitaire.

Patrick Lyonnet





**Patrick Lyonnet**, ingénieur et docteur de l'Université de technologie de Compiègne (UTC), est professeur des universités à l'École nationale d'ingénieurs de Saint-Étienne (ENISE), il est également membre du laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes LTDS-UMR 5513 du pôle de recherche et d'enseignement supérieur de Lyon. Il est aussi professeur associé à l'École de technologie supérieure de Montréal (ETS). Ses travaux concernent la sûreté de fonctionnement, la fiabilité et la maintenance.

*Fiabilité technique et humaine* fait le point sur les concepts, techniques et outils de la fiabilité des composants et systèmes en considérant toutes les technologies et dimensions, notamment la mécanique, l'électronique, l'informatique et les aspects humains. En effet les erreurs humaines sont à l'origine de nombreuses défaillances et de ce fait ne peuvent être ignorées lors de la conception ou du maintien des installations.

Les diverses formes de fiabilité, prévisionnelle, expérimentale et opérationnelle sont explicitées et illustrées au travers d'applications industrielles. Les concepts, outils et techniques de fiabilité les plus complexes sont présentés à partir d'exemples permettant au lecteur de se familiariser avec ce domaine.

Dans la lignée des ouvrages précédents de Patrick Lyonnet qui ont connu un grand succès, cet outil didactique se situe au plus près de la réalité industrielle et en fait un véritable guide pour les praticiens et les étudiants.

Cet ouvrage est destiné aux ingénieurs de recherche et développement, de maintenance et de la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels contemporains.

