

Table des matières

| | |
|--|----|
| Préface de Christian Moreau | 1 |
| Préface de Claude Sarno | 3 |
| Avant-propos | 5 |
| Remerciements | 7 |
| Introduction | 9 |
| Chapitre 1. Fiabilité des systèmes sans maintenance | 13 |
| 1.1. Classification des systèmes | 15 |
| 1.1.1. Systèmes sans maintenance | 15 |
| 1.1.2. Systèmes avec maintenance | 16 |
| 1.2. Grandeurs principales de fiabilité | 16 |
| 1.2.1. Densité de probabilité | 17 |
| 1.2.2. Probabilité de défaillance | 18 |
| 1.2.3. Fonction de survie | 19 |
| 1.2.4. Taux de défaillance instantané | 20 |
| 1.2.5. Mode d'une distribution | 22 |
| 1.2.6. Taux de défaillance cumulé | 23 |
| 1.2.7. Liens entre les différentes fonctions | 23 |
| 1.2.8. Notion de MTTF | 23 |
| 1.2.9. Durée de vie résiduelle | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 1.3. Principales distributions | 26 |
| 1.3.1. Distribution exponentielle | 26 |
| 1.3.2. Distribution de Weibull | 29 |
| 1.3.2.1. Taux de défaillance | 29 |
| 1.3.2.2. Propriétés statistiques | 32 |
| 1.3.2.3. Interprétation physique du paramètre de forme β | 33 |
| 1.3.2.4. Taux de défaillance cumulé. | 37 |
| 1.3.2.5. Durée de vie résiduelle | 37 |
| 1.3.3. Distribution normale | 38 |
| 1.3.4. Distribution log-normale. | 40 |
| 1.4. Contexte. | 43 |
| 1.4.1. Base théorique du JESD85 | 44 |
| 1.4.2. Problème en l'absence de panne observée | 47 |
| 1.4.3. Analyse théorique. | 48 |
| 1.4.4. Exemple d'un essai HTOL sur des circuits intégrés. | 50 |
| | |
| Chapitre 2. Fiabilité des systèmes avec maintenance | 53 |
| 2.1. Processus de comptage | 53 |
| 2.2. Différents types de maintenance | 55 |
| 2.3. Maintenance préventive | 57 |
| 2.3.1. Formulation générale. | 57 |
| 2.3.2. Formulation pour les défaillances accidentelles | 59 |
| 2.3.3. Formulation pour les défaillances de vieillissement. | 59 |
| 2.3.3.1. Formulation exacte. | 59 |
| 2.3.3.2. Formulation approchée basée sur la méthodologie FIDES | 62 |
| 2.3.3.3. Approximation à partir de la fonction Gamma incomplète | 63 |
| 2.4. Maintenance corrective. | 66 |
| 2.4.1. Hypothèse | 66 |
| 2.4.2. Processus de renouvellement | 67 |
| 2.4.3. Solutions analytiques. | 70 |
| 2.4.3.1. Distribution exponentielle. | 70 |
| 2.4.3.2. Distribution d'Erlang | 74 |
| 2.4.3.3. Distribution normale | 77 |
| 2.4.3.4. Distribution de Weibull | 80 |
| | |
| Chapitre 3. Application aux mécanismes de vieillissement avec maintenance | 85 |
| 3.1. Caractéristiques | 85 |
| 3.2. Solutions approchées | 86 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.1. Faible temps de stabilisation du Rocof devant la durée de mise en service | 86 |
| 3.2.2. Valeur asymptotique du Rocof jamais atteinte | 88 |
| 3.2.3. Autres cas | 89 |
| 3.2.3.1. Considérations mathématiques | 90 |
| 3.2.3.2. Considérations statistiques | 91 |
| 3.2.3.3. Paramètre de forme extrinsèque $\beta \leq 3$ | 95 |
| 3.2.3.4. Paramètre de forme extrinsèque $\beta > 3$ | 98 |
| 3.2.3.5. Synthèse | 104 |
| 3.3. Généralisations | 107 |
| 3.3.1. Mélange de distributions | 107 |
| 3.3.2. Mécanismes concurrents | 108 |
| 3.3.3. Système série | 111 |
| 3.3.3.1. Cas d'un système série avec des défaillances catalectiques | 112 |
| 3.3.3.2. Cas d'un système série avec des défaillances catalectiques et un mécanisme de vieillissement | 112 |
| 3.3.4. Systèmes parallèles | 114 |
| 3.3.4.1. Maintenance corrective classique | 114 |
| 3.3.4.2. Maintenance corrective système | 114 |
| 3.3.4.3. Maintenance corrective mixte | 118 |
| 3.3.5. Systèmes avec redondance k/n | 120 |
| 3.3.6. Synthèse | 120 |
| 3.4. Impact des facteurs physiques | 121 |
| 3.5. Impact du profil de mission | 125 |
| 3.5.1. Principe de Sedyakin | 125 |
| 3.5.2. Contribution physique équivalente avec le principe de Sedyakin | 128 |
| 3.5.2.1. Cas d'un profil de mission considéré comme des paliers successifs | 130 |
| 3.5.2.2. Évolution de la température équivalente en fonction de E_a | 133 |
| 3.5.2.3. Cas de la constante de temps thermique du système non négligeable devant la durée de la phase | 137 |
| 3.5.3. Cas d'un profil hétérogène | 140 |
| 3.5.3.1. Influence de l'amplitude thermique | 142 |
| 3.5.3.2. Cas d'application du spatial | 143 |
| 3.5.3.3. Cas d'application dans le domaine ferroviaire | 144 |
| Chapitre 4. Impact au niveau fiabilité | 147 |
| 4.1. Notion de MTBF | 147 |
| 4.2. Estimation de MTBF | 148 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.1. Cas de grand temps de stabilisation du Rocof devant la durée de mise en service | 148 |
| 4.2.2. Cas de temps de stabilisation du Rocof atteint rapidement. | 149 |
| 4.2.3. Cas du Rocof avec un comportement apériodique lorsque $1 < \beta \leq 3$ | 149 |
| 4.2.4. Cas du Rocof avec comportement oscillatoire lorsque $\beta > 3$ | 152 |
| 4.3. Impact du flux de livraison. | 153 |
| 4.4. Exemple d'un composant numérique à taille de gravure fine | 153 |
| 4.4.1. Cas d'un paramètre de forme β Weibull équivalent à 1. | 154 |
| 4.4.2. Cas d'un paramètre de forme β différent de 1 | 156 |
| 4.5. Application au coût d'un déverminage. | 161 |
| 4.5.1. Cas en l'absence de déverminage | 162 |
| 4.5.2. Cas en présence d'un déverminage. | 162 |
| Chapitre 5. Application à la maintenance | 169 |
| 5.1. Croissance de fiabilité | 172 |
| 5.2. Maintenance BTN (meilleur que neuf). | 176 |
| 5.3. Maintenance WTO (plus mauvais que vieux). | 179 |
| 5.4. Maintenance par attrition. | 180 |
| 5.5. Maintenance sur un sous-ensemble complet | 182 |
| 5.5.1. Cas d'un système défectueux remplacé par un neuf. | 182 |
| 5.5.2. Cas d'un système complet remplacé par un neuf | 183 |
| 5.6. Systèmes avec redondance k/n | 188 |
| 5.6.1. Cas d'un système défectueux remplacé par un neuf. | 188 |
| 5.6.2. Cas d'un système complet remplacé par un neuf | 188 |
| Chapitre 6. Application à la safety | 191 |
| 6.1. Estimation du temps d'exposition. | 192 |
| 6.2. Cas des composants avec vieillissement. | 193 |
| 6.2.1. Approche théorique pour les systèmes avec maintenance | 194 |
| 6.2.2. Cas des défaillances catalectiques | 194 |
| 6.2.3. Cas des défaillances de vieillissement. | 196 |
| 6.2.3.1. Distribution exponentielle. | 197 |
| 6.2.3.2. Distribution normale. | 197 |
| 6.2.3.3. Distribution de Weibull | 198 |
| 6.2.4. Porte OU | 204 |
| 6.2.4.1. Cas de la distribution exponentielle | 204 |
| 6.2.4.2. Cas de la distribution de Weibull | 205 |

| | |
|--|------------|
| 6.2.5. Porte ET | 207 |
| 6.2.5.1. Cas de la distribution exponentielle | 208 |
| 6.2.5.2. Cas de la distribution de Weibull | 208 |
| | |
| Chapitre 7. Stratégie de maintenance en <i>safety</i> de fonctionnement | 211 |
| 7.1. Stratégie de maintenance. | 212 |
| 7.2. Exemple d'application | 213 |
| | |
| Annexes. | 219 |
| | |
| Liste des acronymes | 223 |
| | |
| Liste des notations | 225 |
| | |
| Bibliographie | 227 |
| | |
| Index | 229 |