

Table des matières

| | |
|--|----|
| Préface | 1 |
| Philippe EUDELIN | |
| | |
| Avant-propos | 3 |
| Abdelkhalak EL HAMI, David DELAUX et Henri GRZESKOWIAK | |
| | |
| Chapitre 1. FIDES, une méthode d'évaluation et de construction de la fiabilité des systèmes électroniques | 7 |
| Franck DAVENEL | |
| 1.1. Inadéquation des méthodes existantes | 8 |
| 1.1.1. MIL-HDBK-217F. | 8 |
| 1.1.2. UTE-C-80810 (ou RDF2000, ou encore IEC 62380 TR Ed.1) | 8 |
| 1.1.3. PRISM® ou 217plus | 8 |
| 1.2. L'ambition FIDES. | 9 |
| 1.3. Présentation générale de la méthode FIDES | 11 |
| 1.3.1. Taux de défaillance | 12 |
| 1.3.2. Structure des modèles FIDES. | 13 |
| 1.3.3. Modèles physiques | 14 |
| 1.3.4. L'exploitation des données des fabricants | 15 |
| 1.3.5. L'exploitation des bases de données de mécanismes de défaillance (et non de taux de défaillance) | 15 |
| 1.3.6. Profil de vie | 16 |
| 1.3.7. Autres contributeurs | 18 |
| 1.3.7.1. Défaillances induites (Π_{Induit}). | 18 |
| 1.3.7.2. Qualité de fabrication de l'article ($\Pi_{\text{Part_Manufacturing}}$). | 18 |
| 1.3.7.3. Processus de fiabilité (Π_{Process}) | 18 |

| | |
|--|----|
| 1.3.8. Sensibilité des modèles FIDES | 19 |
| 1.3.9. Applications industrielles | 21 |
| 1.4. Validité des études de fiabilité avec FIDES | 21 |
| 1.5. Conclusion | 23 |
| 1.6. Bibliographie | 25 |

Chapitre 2. La fiabilité dans le transport maritime : choix d'un système de manutention de conteneur 27

Julien RULLIER, Benjamin ECHARD et Ghislaine LAPEYRE

| | |
|---|----|
| 2.1. Introduction. | 27 |
| 2.2. Cas proposé. | 28 |
| 2.2.1. Risque 1 : risque de chute de charge, risque de sécurité (des biens ou des personnes) | 29 |
| 2.2.2. Risque 2 : risque d'arrêt intempestif, risque d'indisponibilité | 29 |
| 2.3. Données d'entrée à la démarche FMDS | 30 |
| 2.3.1. Représentation du système | 30 |
| 2.3.2. Données de fiabilité des composants | 33 |
| 2.3.3. Fiabilité des mousquetons dans le temps | 33 |
| 2.3.3.1. Phase 1 : analyse des mécanismes physiques de défaillance et des facteurs endommageants | 34 |
| 2.3.3.2. Phase 2 : estimation de la fiabilité par essai | 36 |
| 2.4. Évaluation de la FMDS du système | 39 |
| 2.4.1. Évaluation de la fiabilité. | 40 |
| 2.4.2. Évaluation de la maintenabilité | 40 |
| 2.4.3. Évaluation de la disponibilité intrinsèque. | 41 |
| 2.4.4. Évaluation de la sécurité. | 42 |
| 2.4.4.1. Analyse des modes de défaillances et de leurs effets « AMDE » | 42 |
| 2.4.4.2. Quantification du risque de chute du conteneur | 48 |
| 2.5. Choix et défis à relever | 64 |
| 2.5.1. AMDEC ou arbre de défaillance, comment choisir ? | 64 |
| 2.5.2. Pièges à éviter | 66 |
| 2.5.2.1. Piège 1 : mise en commun des défaillances | 66 |
| 2.5.2.2. Piège 2 : probabilité et taux de défaillance. | 66 |
| 2.5.2.3. Piège 3 : prise en compte du temps de fonctionnement | 67 |
| 2.5.3. Remarque sur les objectifs de fiabilité basse dans des systèmes innovants | 68 |
| 2.6. Conclusion | 69 |
| 2.7. Bibliographie. | 69 |

| | |
|--|-----------|
| Chapitre 3. Genèse d'un modèle de défaillance par interaction probabiliste « contrainte-résistance » dans un contexte de faible information | 71 |
| Lambert PIERRAT | |
| 3.1. Introduction. | 71 |
| 3.2. Motivations et objectifs. | 72 |
| 3.3. Choix des types de lois | 73 |
| 3.3.1. Principe du maximum d'entropie. | 73 |
| 3.3.2. Loi de la résistance | 74 |
| 3.3.2.1. Arguments physiques | 74 |
| 3.3.2.2. Arguments informatiques. | 75 |
| 3.3.3. Loi de la contrainte | 75 |
| 3.3.3.1. Arguments statistiques. | 75 |
| 3.3.3.2. Arguments informatiques. | 76 |
| 3.3.4. Relation entre les deux lois | 76 |
| 3.3.4.1. Passage de la loi normale à la loi de Rayleigh. | 76 |
| 3.3.4.2. Passage de la loi de Rayleigh à la loi exponentielle | 77 |
| 3.3.4.3. Aspects énergétiques. | 77 |
| 3.4. Probabilité de défaillance. | 77 |
| 3.4.1. Formulation | 77 |
| 3.4.2. Solution analytique | 78 |
| 3.4.3. Expression paramétrique. | 79 |
| 3.5. Facteur de sécurité. | 80 |
| 3.5.1. Expressions simplifiées | 80 |
| 3.5.2. Limites de validité | 81 |
| 3.5.2.1. Intervalles de validité théoriques. | 81 |
| 3.5.2.2. Intervalles de validité pratiques | 81 |
| 3.6. Validation et applications | 82 |
| 3.6.1. Analyses comparatives. | 83 |
| 3.6.1.1. Interaction exponentielle/gamma | 83 |
| 3.6.1.2. Interaction log-normale/log-normale | 84 |
| 3.6.1.3. Résultats et interprétation | 84 |
| 3.6.2. Applications | 85 |
| 3.6.2.1. Fiabilité d'un instrument de mesure. | 86 |
| 3.6.2.2. Fiabilité d'un ouvrage de génie civil | 87 |
| 3.6.2.3. Fiabilité d'un câble électrique | 87 |
| 3.7. Conclusion | 89 |
| 3.8. Bibliographie. | 89 |

Chapitre 4. Optimisation fiabiliste d'implant dentaire en utilisant la méthode du chaos polynomial généralisé 93

Fatma ABID, Abdelkhalak EL HAMI, Tarek MERZOUKI, Hassen TRABELSI, Lassaad WALHA et Mohamed HADDAR

- 4.1. Introduction. 93
- 4.2. Approche stochastique 94
 - 4.2.1. Méthode de Monte-Carlo 95
 - 4.2.2. Méthode de chaos polynomial généralisé (CPG) 95
- 4.3. Optimisation de conception déterministe (DDO). 96
- 4.4. Optimisation de conception fiabiliste (RBDO) 97
 - 4.4.1. Méthode classique 98
 - 4.4.2. Facteur de sécurité optimal (OSF) en utilisant le chaos polynomial généralisé (CPG) 99
- 4.5. Résultat numérique : implant dentaire 2D 101
 - 4.5.1. Analyse probabiliste 103
 - 4.5.2. RBDO utilisant le chaos polynomial généralisé (CPG). 104
 - 4.5.2.1. Approche DDO utilisant le modèle CPG. 104
 - 4.5.2.2. Approche DDO utilisant le modèle OSF 105
- 4.6. Conclusion 107
- 4.7. Bibliographie. 107

Chapitre 5. Optimisation fiabiliste multi-objectif basée sur les modèles de substitution, application à une prothèse de hanche 113

Khalil DAMMAK et Abdelkhalak EL HAMI

- 5.1. Introduction. 113
- 5.2. Description des méthodes de métamodélisation 115
 - 5.2.1. Mise en œuvre d'un modèle de substitution 115
 - 5.2.2. Construction des métamodèles 116
 - 5.2.2.1. Méthode des surfaces de réponses (RSM) 117
 - 5.2.2.2. Krigage 119
 - 5.2.3. Validation des métamodèles. 122
 - 5.2.3.1. Mesures d'erreur 122
 - 5.2.3.2. Validation croisée 123
- 5.3. Optimisation de la conception multi-objectif 124
 - 5.3.1. Optimisation déterministe multi-objectif (DMOO) 124
 - 5.3.2. Optimisation multi-objectif de la conception basée sur la fiabilité (MORBDO) 126
- 5.4. La procédure MORBDO basée sur des modèles de substitution pour la prothèse de hanche 127

| | |
|---|-----|
| 5.4.1. Simulation déterministe par la méthode des éléments finis | 127 |
| 5.4.2. Construction de modèles de substitution | 129 |
| 5.4.3. Optimisation de la conception multi-objectif basée sur la fiabilité | 134 |
| 5.5. Conclusion | 137 |
| 5.6. Bibliographie | 137 |

Chapitre 6. Optimisation des performances thermomécaniques des *packagings* mécatroniques par méthode CMA-ES 145

Hamid HAMDANI, Bouchaïb RADi et Abdelkhalak EL HAMI

| | |
|---|-----|
| 6.1. Introduction. | 146 |
| 6.2. Présentation du système étudié | 147 |
| 6.2.1. Cas des fils de connexion (<i>wire bonding</i>). | 150 |
| 6.2.2. Cas des joints de brasure. | 150 |
| 6.3. Modèles de fatigue thermique des joints de brasure | 152 |
| 6.3.1. Modèle de Coffin-Manson. | 153 |
| 6.3.2. Modèle de Morrow | 154 |
| 6.3.3. Modèle de Coffin-Manson modifié en fréquence | 155 |
| 6.3.4. Modèle de Morrow modifié en fréquence. | 155 |
| 6.3.5. Modèle de Darveaux | 155 |
| 6.4. Modélisation et analyse par la méthode des éléments finis du boîtier PQFP | 156 |
| 6.4.1. Modélisation | 156 |
| 6.4.2. Propriétés des matériaux. | 158 |
| 6.4.3. Chargement thermique. | 160 |
| 6.4.4. Modèle de fatigue choisi pour les joints de brasure | 161 |
| 6.4.5. Résultats numériques. | 162 |
| 6.5. Stratégies évolutionnaires | 163 |
| 6.5.1. Présentation des stratégies évolutionnaires | 163 |
| 6.5.2. Principes des stratégies évolutionnaires | 164 |
| 6.5.3. La méthode CMA-ES | 164 |
| 6.5.3.1. Mutation ou échantillonnage | 165 |
| 6.5.3.2. Sélection et recombinaison | 166 |
| 6.5.4. Techniques de métamodélisation. | 169 |
| 6.5.4.1. Métamodèle de krigeage | 170 |
| 6.5.5. CMA-ES assistée par le krigeage. | 172 |
| 6.5.5.1. Gestion et mesure de la qualité du krigeage | 172 |
| 6.5.5.2. Algorithme KA-CMA-ES. | 175 |
| 6.6. Optimisation globale des joints de brasure du boîtier PQFP | 177 |

| | |
|--|-----|
| 6.6.1. Formulation du problème | 177 |
| 6.6.2. Simulations numériques | 178 |
| 6.7. Conclusion | 181 |
| 6.8. Bibliographie | 182 |

Chapitre 7. Optimisation fiabiliste des problèmes vibro-acoustiques en présence d'incertitudes via le chaos polynomial 189

Khalil DAMMAK et Abdelkhalak EL HAMI

| | |
|---|-----|
| 7.1. Introduction | 189 |
| 7.2. Approches robustes de propagation d'incertitudes | 191 |
| 7.2.1. Méthode de Monte-Carlo | 191 |
| 7.2.2. Chaos polynomial généralisé (CPG) | 192 |
| 7.2.2.1. Généralités | 192 |
| 7.2.2.2. Calcul pratique du développement en polynômes du chaos polynomial généralisé | 194 |
| 7.3. Optimisation des structures | 198 |
| 7.3.1. Formulation du problème d'optimisation | 198 |
| 7.3.2. Optimisation de conception déterministe | 199 |
| 7.3.3. Optimisation fiabiliste de conception | 200 |
| 7.3.3.1. Formulation de l'optimisation fiabiliste de conception | 201 |
| 7.3.3.2. Approche classique | 202 |
| 7.3.3.3. Facteurs de sécurité optimaux (OSF) | 204 |
| 7.4. Méthode OSF couplée avec le chaos polynomial généralisé, appliquée aux systèmes vibro-acoustiques en présence d'incertitudes | 205 |
| 7.4.1. Modèle déterministe | 209 |
| 7.4.2. Analyse probabiliste | 211 |
| 7.4.3. Méthode OSF couplée avec le chaos polynomial généralisé | 212 |
| 7.5. Conclusion | 215 |
| 7.6. Bibliographie | 215 |

Liste des auteurs 223

Index 225

Sommaire de *Fiabilité appliquée pour l'industrie 2* 229

Sommaire de *Fiabilité appliquée pour l'industrie 3* 233