

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	1
Philippe EUDELIN	
<b>Avant-propos</b> . . . . .	3
Abdelkhalak EL HAMI, David DELAUX et Henri GRZESKOWIAK	
<b>Chapitre 1. Essais aggravés</b> . . . . .	9
Henri GRZESKOWIAK, David DELAUX et Abdelkhalak EL HAMI	
1.1. Introduction sur les essais aggravés (ou hautement accélérés) . . . . .	9
1.2. Historique. . . . .	9
1.3. Approche générale. . . . .	11
1.3.1. Robustesse et fiabilité . . . . .	14
1.4. Types de produits concernés par les essais aggravés. . . . .	17
1.5. Exemple dans le secteur aéronautique : effet du vieillissement sur la SOA ( <i>Safe Operating Area</i> ) . . . . .	21
1.6. Typologie des défauts précipités en essais HALT . . . . .	22
1.7. Exploitation des essais avec marteaux pneumatiques d'une machine HALT : particularités et précautions inhérentes . . . . .	24
1.8. Comparaison de la fatigue vibratoire des essais HALT <i>versus</i> ALT . . . . .	31
1.8.1. Présentation de la démarche suivie. . . . .	31
1.8.2. Le spectre de dommage par fatigue . . . . .	32
1.8.3. Étude de cas automobile : casse d'un onduleur/convertisseur . . . . .	36
1.8.3.1. Description de l'essai . . . . .	36
1.8.3.2. Estimation du coefficient de Basquin . . . . .	41
1.8.3.3. Superposition des spectres de dommage par fatigue . . . . .	42

1.8.3.4. Critère de fatigue . . . . .	44
1.8.3.5. Conclusion. . . . .	46
1.8.4. Comparaison des essais accélérés et essais aggravés . . . . .	46
1.8.5. Les normes . . . . .	48
1.9. Bibliographie . . . . .	49

## **Chapitre 2. Analyse de l'endommagement par fatigue et optimisation fiabiliste des structures soumises à des vibrations aléatoires . . . . .**

55

Ahmed YAICH et Abdelkhalak EL HAMI

2.1. Introduction. . . . .	55
2.2. Analyse de l'endommagement par fatigue . . . . .	56
2.2.1. Formulations et développements . . . . .	56
2.2.2. Stratégie de l'analyse de l'endommagement par fatigue . . . . .	60
2.3. Optimisation fiabiliste des structures soumises à des vibrations aléatoires . . . . .	61
2.3.1. Optimisation déterministe . . . . .	61
2.3.2. <i>Reliability Based Design Optimization</i> (RBDO). . . . .	61
2.3.2.1. Approche classique. . . . .	62
2.3.2.2. Méthode hybride . . . . .	63
2.3.2.3. <i>Optimum Safety Factor</i> (OSF) . . . . .	65
2.3.2.4. Méthode hybride robuste (RHM, <i>Robust Hybrid Method</i> ) . . . . .	67
2.3.3. Optimisation fiabiliste des structures soumises à des vibrations aléatoires . . . . .	70
2.3.3.1. Description du problème . . . . .	70
2.3.3.2. Procédures des méthodes DDO et RBDO . . . . .	71
2.4. Applications . . . . .	72
2.4.1. Description du problème. . . . .	72
2.4.2. Résultats et discussion . . . . .	75
2.5. Conclusion . . . . .	79
2.6. Bibliographie. . . . .	80

## **Chapitre 3. Essais accélérés . . . . .**

85

Henri GRZESKOWIAK, David DELAUX et Abdelkhalak EL HAMI

3.1. Les différents types d'essais . . . . .	85
3.1.1. Les calculs . . . . .	86
3.1.2. Les simulations . . . . .	86
3.1.3. Les essais. . . . .	87
3.1.4. Liens entre les trois types de démonstrations. . . . .	88

3.2. Généralités sur les essais accélérés . . . . .	89
3.2.1. Les modèles expérimentaux . . . . .	91
3.2.2. Les modèles statistiques . . . . .	91
3.2.3. Les modèles physiques . . . . .	91
3.3. Principe, méthodologie, mise en œuvre des essais accélérés . . . . .	92
3.3.1. Définition et notions importantes . . . . .	92
3.3.2. Évaluer la fiabilité prévisionnelle d'un système en réalisant des essais . . . . .	95
3.3.3. Essais accélérés (basé sur le modèle physique) : exemple de l'accélération en température . . . . .	97
3.3.4. Évaluer la fiabilité prévisionnelle d'un système par rapport à une durée de vie imposée et des contraintes environnementales . . . . .	97
3.3.5. Chaleur humide . . . . .	99
3.3.6. Température . . . . .	100
3.3.7. Lois « multi-stress » . . . . .	100
3.3.8. Les essais accélérés en pratique . . . . .	101
3.3.9. Évaluation de la fiabilité pour recherche de mécanismes de défaillance liés à l'usure . . . . .	101
3.3.10. Synthèse des essais . . . . .	103
3.4. Les différentes phases de construction d'un plan de validation de la fiabilité . . . . .	104
3.5. Développement d'un essai d'environnement climatique dit de corrosion pour échangeur automobile . . . . .	106
3.6. Les normes des essais accélérés . . . . .	117
3.7. Conclusion . . . . .	119
3.8. Bibliographie . . . . .	119

## **Chapitre 4. Collection de normes NF X 50-144-1 à 6 : prise en compte de l'environnement dans le cycle de vie d'un produit . . . . . 125**

Henri GRZESKOWIAK, David DELAUX et Abdelkhalak EL HAMI

4.1. Introduction . . . . .	125
4.2. Présentation de la collection AFNOR NF X 50-144-1 à 6 . . . . .	126
4.3. Focus sur la NF X 50-144-3 . . . . .	131
4.3.1. Les quatre étapes de la méthodologie . . . . .	132
4.3.1.1. Étape 1 . . . . .	132
4.3.1.2. Étape 2 . . . . .	133
4.3.1.3. Étape 3 . . . . .	134
4.3.1.4. Étape 4 . . . . .	137
4.3.2. Focus sur l'étape 3 : la méthode MBD . . . . .	139

4.3.2.1. Test de stationnarité . . . . .	143
4.3.2.2. Les différentes étapes de la MBD . . . . .	144
4.3.3. Focus sur l'étape 3 : illustrations relatives à la méthode MBD . .	147
4.3.4. Exemple de personnalisation d'essais pour l'avion A400 M. . . .	154
4.4. Bibliographie . . . . .	157

**Chapitre 5. Développement de spécifications vibratoires pour les composants du groupe motopropulseur. . . . . 159**

Marco BONATO

5.1. Introduction. . . . .	159
5.1.1. Vibration de moteur à combustion . . . . .	160
5.2. Types de signaux vibratoires pour le test de validation . . . . .	162
5.2.1. Signaux traditionnels utilisés dans l'industrie automobile . . . . .	162
5.2.2. Tests de validation pour échangeurs de chaleur montés sur le moteur. . . . .	162
5.2.3. Récents développements : personnalisations de spécifications vibratoires . . . . .	163
5.2.4. La méthode FFT : signal de test sous forme de DSP et balayage sinusoïdal . . . . .	164
5.2.4.1. Accélération des essais . . . . .	165
5.2.5. La méthode de la personnalisation des essais . . . . .	166
5.3. Cas d'étude : spécification vibratoire pour un RAS à eau. . . . .	168
5.3.1. Signaux vibratoires : DSP et balayage sinusoïdal . . . . .	168
5.4. Développement d'un signal plus représentatif de l'environnement réel .	171
5.4.1. Sinus multiples balayés sur bruit . . . . .	171
5.4.2. Comparaison avec les méthodes existantes . . . . .	174
5.4.3. Travaux ultérieurs. . . . .	175
5.5. Bibliographie. . . . .	175

**Chapitre 6. Amélioration des essais de fiabilité accélérés par utilisation de signaux optimisés. . . . . 177**

Jonathan MARTINO

6.1. Introduction. . . . .	178
6.2. Considérations générales . . . . .	179
6.2.1. Signaux multi-sinus. . . . .	181
6.3. Kurtosis et facteur de crête. . . . .	184
6.3.1. Kurtosis. . . . .	184
6.3.2. Facteur de crête . . . . .	185

---

6.4. Optimisation des signaux multi-sinus pseudo-aléatoires . . . . .	187
6.4.1. Contrôle du facteur de crête par optimisation des déphasages. . .	187
6.4.2. Traitement préalable . . . . .	187
6.4.3. Détermination analytique . . . . .	188
6.4.4. Méthodes numériques . . . . .	189
6.4.5. Distribution stochastique des signaux à faible facteur de crête . .	191
6.4.6. Utilisation de signaux optimisés à faible facteur de crête pour les essais environnementaux . . . . .	191
6.4.7. Contrôle du kurtosis par manipulation non linéaire . . . . .	193
6.4.7.1. Étape 1 . . . . .	193
6.4.7.2. Étape 2 . . . . .	193
6.4.7.3. Étape 3 . . . . .	194
6.4.8. Dualité entre kurtosis et facteur de crête . . . . .	195
6.5. Évaluation du dommage . . . . .	198
6.5.1. Spectre de dommage par fatigue (FDS) . . . . .	198
6.5.2. Réduction de la durée d'un essai . . . . .	202
6.5.3. Influence de l'optimisation des signaux dans l'évaluation des dommages. . . . .	202
6.5.3.1. Excitation sinusoïdale . . . . .	202
6.5.3.2. Excitation pseudo-aléatoire multi-sinus . . . . .	203
6.5.3.3. Comparaison des FDS pour différents signaux pseudo-aléatoires multi-sinus optimisés . . . . .	203
6.6. Conclusion . . . . .	208
6.7. Bibliographie. . . . .	209
<b>Liste des auteurs. . . . .</b>	<b>215</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>217</b>
<b>Sommaire de <i>Fiabilité appliquée pour l'industrie 1</i> . . . . .</b>	<b>221</b>
<b>Sommaire de <i>Fiabilité appliquée pour l'industrie 3</i> . . . . .</b>	<b>225</b>