

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Optimisation de la conception par la fiabilité</b> . . . . .	5
Philippe POUGET et Abdelkhalak EL HAMI	
1.1. Introduction. . . . .	6
1.2. La conception par la fiabilité . . . . .	8
1.2.1. Evaluation des risques par la fiabilité prévisionnelle . . . . .	10
1.2.2. Identification des éléments critiques pour la fiabilité du système. . . . .	12
1.2.3. Détermination de la distribution des contraintes provoquant les défaillances . . . . .	15
1.2.4. Détermination du niveau de criticité des contraintes . . . . .	17
1.2.5. Provoquer les défaillances et les analyser. . . . .	21
1.2.5.1. Essais hautement accélérés . . . . .	23
1.2.5.2. Essais accélérés. . . . .	24
1.2.5.3. Analyse de la défaillance . . . . .	24
1.2.6. Modélisation des défaillances. . . . .	25
1.2.7. Optimisation de la conception . . . . .	27
1.3. Conclusion . . . . .	28
1.4. Bibliographie. . . . .	29
<b>Chapitre 2. Caractérisation non destructive par ellipsométrie spectroscopique des interfaces de dispositifs mécatroniques</b> . . . . .	31
Pierre Richard DAHOO, Malika KHETTAB, Jorge LINARES et Philippe POUGET	
2.1. Introduction. . . . .	32

2.2. Relation entre les paramètres ellipsométriques et les caractéristiques optiques d'un échantillon . . . . .	33
2.3. Ellipsomètres à élément tournant ou à modulateur de phase . . . . .	35
2.4. Relation entre les paramètres ellipsométriques et l'intensité du signal détectée . . . . .	37
2.5. Analyse des données expérimentales . . . . .	37
2.6. Le modèle structural à empilement . . . . .	40
2.7. Le modèle optique . . . . .	40
2.8. Application de la technique d'ellipsométrie . . . . .	42
2.8.1. Couche mince à base de nanograins d'argent frittés sur un substrat de cuivre . . . . .	44
2.8.2. Analyse des spectres ellipsométriques de polymères sur différents substrats . . . . .	47
2.8.3. Analyse et comparaison après contrainte . . . . .	54
2.8.4. Analyse physique de l'interaction lumière-matière en termes d'énergie de bande interdite . . . . .	56
2.8.4.1. Analyse de l'interface B1/Quartz . . . . .	56
2.8.4.2. Analyse de l'interface B1/Aluminium . . . . .	57
2.9. Conclusion . . . . .	57
2.10. Bibliographie . . . . .	58

### **Chapitre 3. Méthode de caractérisation de l'environnement électromagnétique dans des circuits hyperfréquences encapsulés dans des cavités métalliques . . . . .**

61

Samh KHEMIRI, Abhishek RAMANUJAN, Moncef KADI et Zouheir RIAH

3.1. Introduction . . . . .	61
3.2. Théorie des cavités métalliques . . . . .	62
3.2.1. Définition . . . . .	62
3.2.2. Champ électromagnétique dans une cavité parallélépipédique . . . . .	62
3.2.3. Fréquences de résonance . . . . .	63
3.3. Effet des cavités métalliques sur les émissions rayonnées des circuits hyperfréquences . . . . .	64
3.3.1. Circuit d'étude : ligne microruban 50 ohms . . . . .	65
3.3.1.1. Effet sur les paramètres S . . . . .	65
3.3.1.2. Effet sur les cartographies du champ magnétique . . . . .	67
3.4. Estimation du champ électromagnétique rayonné en présence de la cavité à partir du champ électromagnétique rayonné sans cavité . . . . .	69
3.4.1. Principe de la méthode . . . . .	69
3.4.2. Modèle d'émission rayonnée . . . . .	70
3.4.2.1. Topographie du modèle . . . . .	71

3.4.2.2. Extraction des paramètres . . . . .	72
3.4.2.3. Obtention du vecteur initial des paramètres du modèle . . . . .	72
3.4.2.4. Optimisation des paramètres . . . . .	73
3.4.2.5. Modèle du cas testé . . . . .	74
3.4.3. Résultats et discussions . . . . .	74
3.4.4. Résultats et analyses . . . . .	75
3.5. Conclusion . . . . .	78
3.6. Bibliographie . . . . .	79

## **Chapitre 4. Mesure des déformations et des déplacements statiques et vibratoires par des méthodes plein champ . . . . . 81**

Ioana NISTEA et Dan BORZA

4.1. Introduction . . . . .	82
4.2. Interférométrie speckle . . . . .	84
4.2.1. Principe de la mesure des champs de déplacements par interférométrie speckle . . . . .	84
4.2.1.1. Interférométrie speckle à intégration temporelle . . . . .	86
4.2.1.2. Mesure des déformations statiques d'origine thermique ou mécanique . . . . .	89
4.2.2. Description du banc de mesure par interférométrie speckle . . . . .	91
4.2.3. Exemples de mesures des champs de déplacements statiques . . . . .	92
4.2.3.1. L'effet du vissage et de l'ordre de vissage des vis assurant la fixation dans leur support des cartes électroniques embarquées sur les déformations des cartes ou de leurs supports . . . . .	93
4.2.3.2. Deux cartes contrôleur moteur équipées (mesure de déformées suite aux sollicitations thermomécaniques produites par convection) . . . . .	95
4.2.3.3. Mesure des déformations avec dissipation thermique sur un boîtier avec des éléments chauffants (résistances) qui simulent les transistors de puissance . . . . .	99
4.2.4. Exemples de mesures des champs de déplacements vibratoires . . . . .	100
4.2.5. Exemples de mesures dynamiques . . . . .	106
4.3. Moiré de projection . . . . .	107
4.3.1. Principes de la mesure des champs de déplacements par moiré de projection . . . . .	108
4.3.2. Description du banc de mesure par moiré de projection . . . . .	109
4.3.3. Exemples de mesures des champs de déplacements par moiré de projection . . . . .	110
4.4. Projection de lumière structurée . . . . .	110
4.4.1. Principes de la mesure de forme par lumière structurée . . . . .	111

4.4.2. Description du banc de mesure par lumière structurée . . . . .	113
4.4.3. Exemples de mesures des formes 3D par projection de lumière structurée . . . . .	114
4.5. Conclusion . . . . .	115
4.6. Bibliographie . . . . .	116

## **Chapitre 5. Caractérisations de transistors de commutation aux contraintes de surtension électrique . . . . . 117**

Patrick MARTIN, Ludovic LACHEZE, Alain KAMDEL et Philippe DESCAMPS

5.1. Introduction . . . . .	117
5.2. Banc de robustesse aux contraintes électriques ESD/EOV . . . . .	118
5.2.1. Description du banc TPG . . . . .	118
5.2.2. Contraintes appliquées sur le transistor . . . . .	119
5.2.3. Procédure de test . . . . .	121
5.2.4. Capacités du TPG . . . . .	122
5.3. Résultats de simulation . . . . .	122
5.3.1. Phénomènes mis en évidence . . . . .	122
5.3.2. Influence des phénomènes parasites . . . . .	123
5.4. Dispositif expérimental . . . . .	126
5.4.1. Résultats de mesures et analyse des phénomènes observés . . . . .	127
5.4.1.1. Mesures $V_{BR}$ des transistors IR_CR . . . . .	127
5.4.1.2. Mesures $V_{BR}$ des transistors IR_CR, BUK_CX et NP110_CE . . . . .	127
5.4.1.3. Interprétation des mesures $I_{DS}(V_{DS})$ et $I_{DS}(V_{GS})$ . . . . .	128
5.5. Conclusion . . . . .	135
5.6. Bibliographie . . . . .	135

## **Chapitre 6. Fiabilité des transistors radiofréquence de puissance aux agressions électromagnétique et thermique . . . . . 137**

Samh KHEMIRI et Moncef KADI

6.1. Introduction . . . . .	137
6.2. La technologie GaN . . . . .	138
6.3. Contrainte électromagnétique rayonnée . . . . .	139
6.3.1. Présentation du banc de contrainte électromagnétique . . . . .	140
6.3.2. Résultats et analyses . . . . .	141
6.4. Contrainte continue RF CW . . . . .	145
6.4.1. Présentation du banc de contrainte continue RF CW . . . . .	145
6.4.2. Résultats et analyses . . . . .	145

6.5. Contrainte thermique . . . . .	147
6.5.1. Présentation du banc de contrainte thermique . . . . .	147
6.5.2. Résultats et analyses . . . . .	148
6.5.2.1. Etude à la température $T = 90\text{ °C}$ . . . . .	148
6.5.2.2. Etude à la température $T = -40\text{ °C}$ . . . . .	149
6.6. Contraintes simultanées : RF CW + EM et électrique + EM . . . . .	152
6.6.1. Effet de l'application simultanée de contraintes électromagnétique et RF. . . . .	152
6.6.2. Effet de l'application simultanée de contraintes électromagnétique et continue DC. . . . .	154
6.7. Conclusion . . . . .	156
6.8. Bibliographie . . . . .	156

## **Chapitre 7. Mesure de la température interne des composants électroniques . . . . . 159**

Eric JOUBERT, Olivier LATRY, Pascal DHERBECOURT, Maxime FONTAINE,  
Christian GAUTIER, Hubert POLAERT et Philippe EUDELIN

7.1. Introduction. . . . .	159
7.2. Dispositif expérimental. . . . .	160
7.3. Résultats des mesures. . . . .	162
7.3.1. Mesures IR. . . . .	162
7.3.2. Mesures électriques. . . . .	165
7.3.2.1. Calibration de la diode. . . . .	165
7.3.2.2. Mesures . . . . .	165
7.3.3. Mesures optiques . . . . .	168
7.3.3.1. Principe . . . . .	168
7.3.3.2. Résultats préliminaires . . . . .	171
7.3.4. Comparaison entre les méthodes de mesures infrarouges et électriques. . . . .	173
7.4. Conclusion . . . . .	176
7.5. Bibliographie. . . . .	177

## **Chapitre 8. Fiabilité prévisionnelle des systèmes électroniques embarqués : référentiel FIDES . . . . . 179**

Philippe POUGET, Franck BAYLE, Hichame MAANANE  
et Pierre Richard DAHOO

8.1. Introduction. . . . .	180
8.2. Présentation du guide FIDES . . . . .	181
8.2.1. Modélisation globale . . . . .	181

8.2.2. Modèle générique . . . . .	181
8.2.3. Bases mathématiques. . . . .	182
8.2.4. Justification du taux de défaillance/intensité constant . . . . .	183
8.2.5. Estimation de $\lambda_0$ . . . . .	184
8.2.6. Facteurs d'accélération. . . . .	185
8.2.7. Profil de vie . . . . .	186
8.2.8. Expérimentation au niveau des cartes électroniques . . . . .	188
8.2.9. Expérimentation au niveau des équipements . . . . .	189
8.2.10. Expérimentation au niveau « famille de composants » . . . . .	190
8.2.11. Exemple des transistors de puissance « MOSFET ». . . . .	192
8.2.11.1. Choix de la loi de la physique de la défaillance . . . . .	192
8.2.11.2. Fiche de traçabilité . . . . .	192
8.3. Calcul FIDES sur système mécatronique automobile . . . . .	193
8.3.1. Objectifs du calcul FIDES. . . . .	194
8.3.2. Méthodologie . . . . .	195
8.3.3. Profil de vie . . . . .	195
8.3.3.1. Saisie des données . . . . .	195
8.3.4. Carte SMI . . . . .	199
8.3.4.1. Résultats par type de composants . . . . .	199
8.3.4.2. Carte FR4 . . . . .	200
8.3.4.3. Fils connexions entre les cartes SMI et FR4. . . . .	201
8.3.5. Taux de défaillance du convertisseur DC/DC . . . . .	201
8.3.6. Effet de l'amplitude des cycles thermiques sur la durée de vie . . . . .	201
8.3.7. Comparaison avec les résultats du référentiel UTE C 80-810 . . . . .	201
8.4. Conclusion . . . . .	202
8.5. Bibliographie. . . . .	203

**Chapitre 9. Optimisation multiobjectif en interaction fluide-structure . . . . . 205**

Rabii EL MAANI, Abdelkhalak EL HAMI et Bouchaïb RADI

9.1. Introduction. . . . .	205
9.2. Algorithme de recherche en marche arrière . . . . .	207
9.2.1. Initialisation . . . . .	208
9.2.2. Sélection I . . . . .	208
9.2.2.1. Opérateur de mutation . . . . .	209
9.2.2.2. Opérateur de croisement . . . . .	209
9.2.3. Sélection II. . . . .	209
9.3. Problème d'optimisation multiobjectif. . . . .	210
9.4. Algorithme proposé . . . . .	211
9.4.1. Tri rapide non dominé . . . . .	212

---

9.4.2. Distance du <i>crowding</i> . . . . .	212
9.4.3. Validation numérique : tests de benchmark. . . . .	214
9.5. Application aux problèmes d'interaction fluide-structure (IFS) . . . . .	217
9.5.1. Enoncé du problème IFS. . . . .	217
9.5.1.1. Equations basiques de l'IFS . . . . .	217
9.5.1.2. Couplage fluide-structure . . . . .	218
9.5.2. Processus de l'optimisation IFS . . . . .	220
9.5.3. Application à l'aile Onera M6 . . . . .	221
9.5.3.1. Position du problème . . . . .	222
9.5.3.2. Modélisation numérique de l'IFS . . . . .	223
9.5.3.3. Analyse aérodynamique de l'aile Onera M6. . . . .	224
9.5.3.4. Analyse éroélastique de l'aile Onera M6 . . . . .	227
9.5.3.5. Analyse modale précontrainte . . . . .	228
9.5.3.6. Optimisation. . . . .	228
9.6. Conclusion . . . . .	230
9.7. Bibliographie. . . . .	231
<b>Liste des auteurs</b> . . . . .	<b>235</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>237</b>
<b>Sommaire de <i>Les systèmes mécatroniques embarqués 2</i></b> . . . . .	<b>241</b>