

Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction | 1 |
| Pierre LECOY | |
| | |
| Chapitre 1. Le gyrofibre | 19 |
| Hervé LEFÈVRE | |
| 1.1. Introduction. | 19 |
| 1.2. Utilité d'un gyro | 20 |
| 1.3. Effet Sagnac, ou plutôt effet Sagnac-Laue | 25 |
| 1.4. Réciprocité, et un deuxième cas de sérendipité : la fréquence propre | 28 |
| 1.5. Source à spectre large et de nouveau la sérendipité | 32 |
| 1.6. Fonctionnement en boucle fermée et utilisation de l'optique intégrée | 33 |
| 1.7. Sérendipité technologique | 37 |
| 1.8. Non-application de la sérendipité. | 40 |
| 1.9. Conclusion | 42 |
| 1.10. Remerciements | 44 |
| 1.11. Bibliographie | 44 |
| | |
| Chapitre 2. Les réseaux de Bragg pour la métrologie en environnements sévères | 47 |
| Sylvain MAGNE, Laurent MAURIN et Guillaume LAFFONT | |
| 2.1. Introduction. | 47 |
| 2.2. Principe des réseaux de Bragg (FBG) | 53 |
| 2.2.1. Mode de fonctionnement | 53 |
| 2.2.2. Avantages des FBG pour la métrologie | 54 |
| 2.2.3. Réseaux de capteurs à réseaux de Bragg | 55 |

| | |
|---|-----|
| 2.3. Évolution des procédés d'inscription | 55 |
| 2.4. Types de FBG | 61 |
| 2.4.1. Photo-inscription au sein de fibres en silice | 61 |
| 2.4.2. Photo-inscription au sein de fibres spéciales | 65 |
| 2.4.3. Stabilité thermique et dérive à long terme des FBG photo-inscrits | 71 |
| 2.5. Lois de comportement des FBG. | 74 |
| 2.5.1. Longueur d'onde de Bragg et réflectivité | 74 |
| 2.5.2. Évolution en température | 76 |
| 2.5.3. Évolution en fonction de l'état de déformation | 80 |
| 2.6. Ingénierie Bragg et caractérisation | 84 |
| 2.6.1. Profils de FBG utilisés en métrologie | 85 |
| 2.6.2. Caractérisations | 87 |
| 2.7. Dispositifs de lecture Bragg (« interrogateurs ») | 94 |
| 2.7.1. Détection par procédés passifs | 96 |
| 2.7.2. Détection par procédés actifs | 98 |
| 2.7.3. Détection par procédés de conversion | 107 |
| 2.8. Discrimination du facteur température | 115 |
| 2.8.1. Procédés de correction en température | 116 |
| 2.8.2. Procédés de compensation en température | 120 |
| 2.8.3. Conclusions sur les procédés de discrimination en température. | 122 |
| 2.9. Quelques applications métrologiques des FBG en environnements sévères | 123 |
| 2.9.1. Surveillance de structures (<i>Structural Health Monitoring</i> : SHM) | 123 |
| 2.9.2. Surveillance à haute température | 129 |
| 2.9.3. Extensométrie en champs électromagnétiques intenses (HPP) | 133 |
| 2.9.4. Mesure en détonique/chocs intenses | 134 |
| 2.9.5. Mesure en environnements sidérurgiques | 138 |
| 2.10. Conclusion | 142 |
| 2.11. Remerciements | 144 |
| 2.12. Glossaire. | 145 |
| 2.13. Bibliographie | 148 |

Chapitre 3. Réflectométrie optique pour la détection 167

Patrice MÉGRET

| | |
|--|-----|
| 3.1. Introduction. | 167 |
| 3.2. Diffusion de la lumière | 168 |
| 3.2.1. Diffusion Rayleigh | 168 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.2. Diffusion Raman | 169 |
| 3.2.3. Diffusion Brillouin | 171 |
| 3.3. Principe de base de la réflectométrie optique | 172 |
| 3.4. Réflectométrie optique dans le domaine temporel | 174 |
| 3.4.1. Principe pour les fibres homogènes | 174 |
| 3.4.2. Extension aux fibres non homogènes | 178 |
| 3.4.3. Résolution spatiale | 178 |
| 3.4.4. Pertes de retour et d'insertion | 179 |
| 3.4.5. Exemple de mesure | 180 |
| 3.4.6. Mesures à double extrémité | 182 |
| 3.5. Réseaux de Bragg fibrés | 183 |
| 3.6. Réflectométrie optique dans le domaine fréquentiel | 186 |
| 3.6.1. Principe | 186 |
| 3.6.2. Événement réfléchissant unique | 187 |
| 3.6.3. Événements réfléchissants multiples : résolution spatiale | 192 |
| 3.6.4. Plage de mesure | 194 |
| 3.6.5. Mesure de la diffusion Rayleigh | 195 |
| 3.6.6. Défis de l'OFDR | 195 |
| 3.7. Réflectométrie Raman | 198 |
| 3.7.1. Mesure en une seule extrémité | 198 |
| 3.7.2. Mesure à double extrémité | 200 |
| 3.7.3. Configuration à double longueur d'onde | 201 |
| 3.8. Réflectométrie Brillouin | 203 |
| 3.8.1. Principes généraux | 203 |
| 3.8.2. Réflectométrie optique Brillouin dans le domaine temporel | 203 |
| 3.8.3. Analyse optique Brillouin dans le domaine temporel | 205 |
| 3.9. Quelques exemples de capteurs distribués | 207 |
| 3.10. Bibliographie | 208 |

Chapitre 4. Effets des radiations sur les capteurs à fibres optiques

213

Sylvain GIRARD, Adriana MORANA et Emmanuel MARIN

| | |
|---|-----|
| 4.1. Introduction | 213 |
| 4.2. Fibres optiques et capteurs à fibres dans des environnements fortement radiatifs | 215 |
| 4.3. Effets des radiations sur les fibres optiques à base de silice | 217 |
| 4.4. Effets des radiations sur les capteurs ponctuels | 220 |
| 4.4.1. Effets des radiations sur les fibres à réseau de Bragg (FBG) | 220 |

| | |
|---|-----|
| 4.4.2. Effets des radiations sur les capteurs interférométriques Fabry-Pérot | 224 |
| 4.4.3. Effets des radiations sur les gyroscopes à fibres optiques | 225 |
| 4.5. Effets des radiations sur les capteurs à fibres optiques répartis | 226 |
| 4.5.1. Capteurs répartis de température basés sur la diffusion Raman (RDTS). | 227 |
| 4.5.2. Capteurs répartis basés sur la diffusion Rayleigh | 231 |
| 4.5.3. Capteurs répartis basés sur la diffusion Brillouin | 233 |
| 4.6. Dosimétrie à base de fibre optique | 234 |
| 4.6.1. Capteurs basés sur la RIA | 235 |
| 4.6.2. Capteurs basés sur la RIE | 238 |
| 4.7. Conclusion | 241 |
| 4.8. Bibliographie. | 242 |

Chapitre 5. Capteurs à fibre optique distribués pour la surveillance de la santé structurelle des infrastructures civiles

249

Aghiad KHADOUR

| | |
|---|-----|
| 5.1. Introduction. | 249 |
| 5.2. Fibre optique | 251 |
| 5.3. Détection par fibre optique distribuée | 254 |
| 5.3.1. Technique de détection distribuée à haute résolution spatiale basée sur la diffusion de Rayleigh | 259 |
| 5.3.2. Technique de détection distribuée à longue portée basée sur la diffusion de Brillouin. | 262 |
| 5.4. Mesures de contrainte des capteurs à fibres optiques distribués | 267 |
| 5.4.1. Câbles à fibres optiques pour la détection de contrainte distribuée | 267 |
| 5.4.2. Transfert de contrainte dans les câbles de capteurs à fibres optiques distribués intégrés | 268 |
| 5.5. Intégration des câbles de capteurs à fibres optiques distribués dans les infrastructures civiles | 274 |
| 5.5.1. Mesure de contrainte dans les structures en béton à l'aide de câbles de capteurs à fibres optiques | 275 |
| 5.5.2. Mesure de la déformation dans les structures en béton à l'aide d'une mise en œuvre spécifique | 280 |
| 5.5.3. Mesure de déformation dans les structures composites. | 287 |
| 5.5.4. Mesure de la déformation dans les structures géotechniques à l'aide de câbles de capteurs à fibre optique | 293 |
| 5.6. Conclusion | 296 |
| 5.7. Bibliographie. | 296 |

| | |
|---|-----|
| Chapitre 6. L'intégration de fibres optiques dans des structures composites primaires | 305 |
| Francis COLLOMBET, Yves-Henri GRUNEVALD et Hilario HERNÁNDEZ-MORENO | |
| 6.1. Introduction. | 305 |
| 6.2. Prototype de bogie porteur en composite (Arlanda) et traverse en composite (Coradia) | 308 |
| 6.2.1. La lame de ressort Arlanda composite monolithique instrumentée et le châssis du bogie | 310 |
| 6.2.2. Le bolster composite instrumenté Coradia | 315 |
| 6.2.3. Conclusion dans le domaine du transport ferroviaire | 328 |
| 6.3. Surveillance de cylindres composites par enroulement filamenteux à l'aide de fibres optiques à réseaux de Bragg pour l'exploration des grands fonds marins | 330 |
| 6.3.1. Outillage adapté et développement de spécimens | 330 |
| 6.3.2. Suivi du process | 335 |
| 6.3.3. Test de pression externe | 339 |
| 6.3.4. Conclusion dans le domaine de l'exploration des grands fonds marins | 347 |
| 6.4. Conclusion générale sur l'intégration des fibres optiques dans les structures composites primaires | 348 |
| 6.5. Bibliographie. | 349 |

| | |
|---|-----|
| Chapitre 7. Nouvelles fibres optiques pour les applications de détection | 353 |
| Georges HUMBERT | |

| | |
|---|-----|
| 7.1. Introduction. | 353 |
| 7.2. Fibres à cristaux photoniques | 354 |
| 7.2.1. Régime monomodal infini. | 355 |
| 7.2.2. Faible sensibilité thermique. | 357 |
| 7.3. Méthodes de fabrication des PCF. | 359 |
| 7.3.1. PCF à maintien de la polarisation | 361 |
| 7.3.2. PCF à petits cœurs pour la détection par champ évanescent. | 364 |
| 7.3.3. PCF pour des plateformes optofluidiques avancées. | 367 |
| 7.3.4. Connexion des PCF aux fibres optiques standard | 371 |
| 7.4. Fibres à cœur creux | 373 |
| 7.4.1. Fibres à cœur creux à bande interdite photonique | 373 |
| 7.4.2. Fibres à cœur creux antirésonantes. | 376 |
| 7.4.3. Détection de gaz avec des fibres à cœur creux. | 380 |
| 7.4.4. Capteurs à fibres à cœur creux | 384 |

| | |
|---|------------|
| 7.5. Gyroscope à fibre optique utilisant une fibre à cœur creux | 386 |
| 7.6. Fibres multimatériaux. | 389 |
| 7.6.1. Fibres multimatériaux fabriquées par le procédé CVD pour des capteurs distribués. | 389 |
| 7.6.2. Fibres multimatériaux fabriquées par le procédé « rod-in-tube » | 391 |
| 7.6.3. Fibres multimatériaux fabriquées par le procédé de poudre dans le tube | 392 |
| 7.6.4. Fibres à maintien de polarisation fabriquées par le procédé « poudre dans le tube » | 395 |
| 7.7. Fabrication de nouveaux capteurs à fibres optiques par réduction d'oxydes métalliques | 397 |
| 7.8. Conclusion | 400 |
| 7.9. Bibliographie. | 401 |
| | |
| Conclusion | 413 |
| Cyril LUPI | |
| | |
| Liste des auteurs | 419 |
| | |
| Index | 421 |