Table des matières

Table des matières VII

Table des figures XV

1 Introduction 1

1.1 Contexte général 1

1.2 Plan de la thèse de doctorat 4

I Bases théoriques 7

2 Présentation générale des réseaux de Bragg fibrés 9

2.1 Propagation dans les fibres optiques 9

2.1.1 Structure et composition d'une fibre optique 9

2.1.2 Guidage dans les fibres optiques 11

2.1.3 Dispersion intramodale 16

2.2 Concept de base sur les réseaux de Bragg fibrés 19

2.2.1 Caractéristiques générales 19

2.2.2 Relation de Bragg 19

2.3 Les réseaux à longs pas 22

2.4 Historique de la découverte des réseaux de Bragg fibrés 23

2.5 La photosensibilité 27

2.5.1 Introduction 27

2.5.2 Phénomènes observés 27

2.5.3 Les défauts responsables de la photosensibilité 28
2.5.4 Mécanismes de changement de l'indice de réfraction photo-induit 30
2.5.5 Techniques permettant d'augmenter la photosensibilité 32
2.6 Techniques de fabrication 32
2.6.1 La technique holographique 33
2.6.2 La technique du masque de phase 34
2.6.3 La technique point à point 36
2.6.4 La technique du masque d'amplitude 37
2.7 Réseaux de Bragg fibrés uniformes et non uniformes 37
2.7.1 Les réseaux uniformes 38
2.7.2 Les réseaux *apodisés* 40
2.7.3 Les réseaux à pas variables ou réseaux *chirpés* 43
2.7.4 Les réseaux à saut de phase 44
2.7.5 Les réseaux échantillonnés 46
2.8 Influence du milieu extérieur sur la réponse des réseaux de Bragg 48
2.8.1 Influence de la température 48
2.8.2 Influence d'une déformation axiale 48
2.8.3 Discussion 50
2.9 Applications dans le domaine des télécommunications 51
2.9.1 Filtres optiques stop-bande et passe-bande 52
2.9.2 Multiplexeur à insertion/extraction de longueur d'onde 53
2.9.3 Compensateur de dispersion chromatique 54
2.10 Conclusion 60
2.11 Annexe - réseaux de diffraction 61

3 Phénomènes de polarisation 65
3.1 Etat de polarisation 66
3.1.1 Lumière polarisée et dépolarisée 66
3.1.2 L'ellipse de polarisation 67
3.1.3 Le formalisme de Jones 70

3.1.4 Le formalisme de Stokes 74
3.2 Phénomène de biréfringence dans les fibres optiques 77
3.2.1 Définitions 77
3.2.2 Longueur de battement 80
3.2.3 Propriétés de polarisation d'un élément biréfringent uniforme 80
3.2.4 Les principales causes de la biréfringence dans les fibres optiques 81
3.3 Caractéristiques de différents types de fibres 82
3.3.1 Fibre conventionnelle - Couplage de modes 82
3.3.2 Fibres à maintien de polarisation 84
3.3.3 Fibres à très faible biréfringence 85
3.4 Caractérisation des systèmes optiques 85
3.4.1 Modélisation des systèmes optiques 85
3.5 Pertes dépendantes de la polarisation 85
3.6 Détermination des paramètres de polarisation 86
3.6.1 Détermination de la matrice de Jones 87
3.6.2 Calcul du paramètre de DGD 88
3.6.3 Calcul du paramètre de PDL 90
3.7 Dispositif expérimental utilisé pour la mesure des paramètres de polarisation 90
3.7.1 Mesure de la PDL et du DGD 90
3.7.2 Détermination des paramètres de Stokes 93
3.8 Conclusion 97

4 Propriétés spectrales des réseaux de Bragg fibrés 99
4.1 Introduction 99
4.2 Théorie des modes couplés - Définitions 99
4.3 Solutions analytiques pour les réseaux uniformes 101
4.4 Propriétés spectrales des réseaux de Bragg uniformes 103
4.4.1 Réponse en amplitude 104

4.4.2 Réponse en phase 107
4.5 Modélisation des réseaux non uniformes 114
4.5.1 Principe de la méthode des matrices de transfert . . . 114
4.5.2 Application à la simulation d'un réseau apodisé 117

II Résultats 121

5 Modélisation des propriétés spectrales des réseaux de Bragg inscrits dans des fibres à maintien de polarisation 123
5.1 Présentation des HiBi-FBG 124
5.2 Relation entre les réponses associées aux deux modes propres 126
5.3 Formalisme mathématique 127
5.4 Caractérisation des propriétés spectrales 128
5.4.1 Analyse des réponses spectrales en amplitude 129
5.4.2 Analyse des paramètres de Stokes 130
5.4.3 Analyse des pertes dépendantes de la polarisation . . . 134
5.4.4 Analyse du délai de groupe différentiel 136
5.4.5 Analyse des évolutions de la PDL et du DGD en fonction de Δn, de δn et de L 139
5.4.6 Discussion sur la possibilité de déterminer la séparation spectrale entre les deux modes propres 145
5.5 Résultats expérimentaux 147
5.5.1 Réalisation du réseau 147
5.5.2 Réponses en amplitude 147
5.5.3 Courbes de PDL et de DGD du réseau en transmission 149
5.5.4 Comparaison entre expérience et simulation 150
5.5.5 Résultats de mesures pour le réseau en réflexion 152
5.5.6 Paramètres de Stokes 154
5.6 Conclusion 156

6 Modélisation des propriétés spectrales des réseaux de Bragg fibrés en présence de faible biréfringence 159

6.1 Origines de la biréfringence des réseaux de Bragg 161

6.1.1 Présentation générale des sources potentielles de biréfringence dans les réseaux de Bragg 161

6.1.2 Modélisation des profils longitudinaux de l'indice de réfraction en présence de biréfringence 163

6.1.3 Discussions 165

6.2 Effets de la biréfringence sur la réponse du réseau de Bragg . 167

6.3 Simulation des paramètres de polarisation des réseaux 170

6.3.1 Formalisme mathématique 170

6.3.2 Etude de la réponse en amplitude, de la PDL et du DGD171

6.3.3 Etude des paramètres de Stokes 189

6.4 Résultats expérimentaux 192

6.4.1 Fabrication des réseaux 192

6.4.2 Résultats n°1 - Mesures des paramètres de polarisation d'un réseau de Bragg uniforme 192

6.4.3 Résultats n°2 - Mesures des paramètres de polarisation des réseaux de Bragg non uniformes 197

6.4.4 Résultats n°3 - Prise en compte de la différence d'indice de réfraction au niveau de δn 200

6.4.5 Discussion concernant les deux modèles envisagés . . . 202

6.5 Impact de la PDL et du DGD des réseaux de Bragg sur les systèmes de transmission : commentaires et pistes de travail . 203

6.6 Conclusion 205

6.7 Annexe 207

6.7.1 Résultats de mesure pour un réseau uniforme 207

7 Relation entre les paramètres de phase et de polarisation pour les réseaux faiblement biréfringents 209

7.1 Introduction 209

7.2 Théorie 210

7.2.1 Bases théoriques 210

7.2.2 Relation entre les paramètres de Stokes et le délai de groupe 213

7.2.3 Relation entre le DGD et la dispersion chromatique . . 216

7.2.4 Discussions 217

7.3 Résultats expérimentaux 221

7.4 Application aux réseaux à pas longs 226

7.5 Conclusion 229

8 Détermination de la biréfringence à partir des propriétés de polarisation des réseaux de Bragg 231

8.1 Introduction 231

8.2 Détermination de la biréfringence induite par contrainte transverse extérieure 232

8.2.1 Résultats expérimentaux 233

8.3 Analyse expérimentale de la biréfringence photo-induite . . . 243

8.3.1 Analyse de l'effet de la longueur L du réseau 244

8.3.2 Analyse de l'effet de l'amplitude δn de la variation de l'indice de réfraction 245

8.4 Conclusion 247

9 Réduction des effets de la biréfringence par inscription du réseau dans une fibre tournée 249

9.1 Contexte 249

9.2 Technique utilisée pour la modélisation des propriétés spectrales 250

9.2.1 Formalisme mathématique général 250

9.2.2 Modélisation du couplage de modes dans les réseaux de Bragg 252

9.2.3 Détermination des matrices de Jones du réseau 254

9.2.4 Calcul des réponses associées au réseau 256

9.3 Résultats de simulation 256

9.4 Conclusion 260

10 Conclusion et perspectives 263

10.1 Perspectives 265

Bibliographie **267**

A Liste des publications **277**

A.1 Publications dans des journaux internationaux 277

A.2 Publications dans des conférences internationales 278

A.3 Publications en dehors du sujet de thèse 280

B Liste des acronymes **283**

C Liste des variables et des notations **285**