



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMEN
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET D'ELECTRONIQUE
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS



*Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat
en Télécommunications*

Thème

*Etude des Filtres Optiques Appliqués dans les
Systèmes WDM : Synthèse et Optimisation des
Réseaux de Bragg par la Recherche Tabou Dirigée*

Présentée par :

Mr KARIM Fethallah

Soutenue le 06/12/2011 devant le jury :

Président :	Mr BENDIMERAD F. T.	Pr. Université de Tlemcen
Examineurs :	Mr BASSOU. G.	Pr. Université de Bel Abbes
	Mr BOUKLI HACENE. N.	M.C Université de Tlemcen
	Mr CHIKH BLED. M.	Pr. Université de Tlemcen
	Melle KANDOUCI. M.	Pr. Université de Bel Abbes
Directeur de thèse :	Mr SEDDIKI. O.	Pr. Université de Tlemcen

Année Universitaire 2011-2012

A mes parents et ma famille

A ma chère Meriem

A ma chère nièce Sabaâ

A tous mes amis

Remerciements

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Télécommunications de la Faculté de Technologie de l'Université Aboubekr Belkaid Tlemcen.

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté de mener à ce terme ce présent travail.

Mes premières pensées vont tout particulièrement à mes parents à qui je dois ce succès et pour qui le sens du sacrifice au cours de ces longues années d'étude ne s'est jamais tari et a été le plus précieux de leurs cadeaux. Grâce à leur soutien et à leurs encouragements sublimement dosés, ils m'ont permis de vivre mes années d'études avec sérénité et efficacité. Grand merci.

J'exprime ensuite une profonde gratitude, et ces mots sont pesés, à mon directeur de thèse monsieur Omar SEDDIKI, Professeur à l'université de Tlemcen. Sa grande expérience, sa disponibilité, ses précieux conseils, d'une grande simplicité. Je le remercie infiniment.

J'exprime ma profonde reconnaissance à monsieur F. T. BENDIMERAD, Professeur à l'université de Tlemcen, d'avoir eu l'amabilité de présider ce jury.

Tous mes remerciements vont à monsieur M. CHIKH BLED, Professeur à l'université de Tlemcen, monsieur N. BOUKLI HACENE, Maître de conférences à l'université de Tlemcen, monsieur G. BASSOU, Professeur à l'université de Bel Abbès et mademoiselle M. KANDOUCI, Professeur à l'université de Bel Abbès, membres de mon jury pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement tous les membres du Laboratoire de Télécommunications, ainsi que tous mes amis pour leurs encouragements qui m'ont permis d'accomplir cette thèse.

Résumé

Les réseaux de Bragg ont connu un développement important durant ces dernières décennies dans le secteur des télécommunications optiques, ils représentent une alternative attirante et moins coûteuse grâce à leur simple structure. Nous retrouvons ces composants dans plusieurs applications comme le filtrage multi canal adaptatif, les multiplexeurs à insertion/extraction reconfigurables, les compensateurs accordables de la dispersion chromatique, etc.

L'objectif de notre travail est d'analyser, de synthétiser et d'optimiser différents types de réseaux de Bragg par des métaheuristiques hybrides. Une comparaison entre les performances de la recherche tabou dirigée (RTD), l'algorithme génétique avec codage de simplexe (AGCS) et le recuit simulé avec recherche heuristique de motif (RSRHM) a été faite. La RTD a été choisie pour reconstruire les paramètres physiques d'un réseau mono canal et un réseau multi canal. Nous avons appliqué cet algorithme hybride pour estimer les coefficients thermo-optique et expansion thermique d'un réseau mono canal soumis à des gradients de température. La RTD a été aussi utilisée pour reconstruire des profils de tractions d'un réseau mono canal et un réseau échantillonné soumis à des compressions et des étirements.

Mots clés: Réseaux de Bragg, filtrage optique, multiplexeur optique, métaheuristique hybride, recherche tabou dirigée, synthèse.

Abstract

Bragg gratings have known an important development these last years on optical communications area, they represent an attractive and less expensive alternative thanks to their simple structure. We find these components in several applications like adaptive multi-channel filtering, reconfigurable add/drop multiplexers, tunable chromatic dispersion compensation, etc.

In this work, we focus on the analysis, synthesis and optimization by hybrid metaheuristics, of several kinds of Bragg gratings. A comparison between Directed Tabu Search (DTS), Simulated Annealing Heuristic Pattern Search (SAHPS) and Simplex Coding Genetic Algorithm (SCGA) performances has been made. We have chosen DTS method for reconstruction of a single channel grating and a multi-channel grating physical parameters. We have applied this hybrid method for estimation of thermal-expansion and thermo-optic coefficients of a single channel Bragg grating submitted to different temperature gradients. DTS is also used for reconstruction of a single channel grating and a sampled grating strain profiles, whiles these gratings are subjected to positive and negative strains.

Keywords: Bragg gratings, optical filtering, optical multiplexer, hybrid metaheuristic, directed tabu search, synthesis.

Sommaire

Introduction générale	1
 <i>Chapitre I Présentation des différents filtres optiques appliqués dans les systèmes de transmission multiplexés en longueurs d'onde</i>	
I Introduction	5
II Principe de base du MDL.....	5
III Présentation des différentes technologies des multiplexeurs optiques	9
III.1 Introduction	9
III.2 Caractéristiques des composants optiques	10
III.2.1 Pertes d'insertion.....	10
III.2.2 Dépendance de la polarisation	10
III.2.3 Diaphonie et isolation	10
III.2.4 Dispersion	11
IV Présentation des différents types de dé/multiplexeurs appliqués dans un système de transmission MDL	12
IV.1 Composants MDL passifs de base	13
IV.2 Filtres diélectriques	14
IV.2.1 Introduction.....	14
IV.2.2 Théorie des filtres interférentiels	14
IV.2.2.1 Introduction.....	14
IV.2.2.2 Filtres multi couches anti réflexion (AR)	14
IV.2.2.3 Filtres multi couches avec haute réflexion (HR)	15
IV.2.2.4 Filtre passe bande.....	16
IV.2.3 Coupleurs à trois ports basés sur des lentilles.....	17
IV.2.4 Composants en zigzag.....	18
IV.2.5 Caractéristiques de quelques dé/multiplexeurs à base de filtres à couches minces.....	19
IV.2.5.1 Coupleurs mono canal utilisés dans le MDL	19
IV.2.5.2 Coupleurs à division de bande	19
IV.3 Composants MDL basés sur des réseaux de diffraction	22
IV.3.1 Introduction.....	22
IV.3.2 Principe de fonctionnement des réseaux basés sur la diffraction	23
IV.3.2.1 Ordres de diffraction	23

IV.3.2.2 Intervalle spectral libre	23
IV.3.3 Exemple d'un démultiplexeur basé sur un réseau de diffraction	24
IV.4 Composants MDL basés sur des réseaux de guides d'onde assemblés	24
IV.5 Composants basés sur des interféromètres de Mach-Zehnder	26
IV.6 Filtres optiques accordables	27
IV.6.1 Introduction	27
IV.6.2 Coupleurs directionnels 2×2 accordables	28
IV.6.3 Filtres multi réseaux accordables	29
V Conclusion	30

Chapitre II *Analyse des réseaux de Bragg utilisés dans les systèmes de transmission à multiplexage de division en longueurs d'onde*

I Introduction	33
II Principes fondamentaux des réseaux de Bragg	33
II.1 Introduction	33
II.2 Théorie des modes couplés	36
II.3 Applications des réseaux de Bragg	38
II.4 Modélisation des réseaux de Bragg	38
II.5 Réseau de Bragg uniforme	40
II.6 Méthode des matrices de transfert	41
II.7 Réseaux de Bragg à pas variable	42
II.7.1 Principe de base d'un réseau à pas variable	42
II.7.2 Résultats de simulation de la réponse spectrale des réseaux de Bragg à pas variable linéaires	45
II.7.2.1 Réseaux chirpés linéaires avec différentes variables chirp	45
II.7.2.2 Réseaux chirpés linéaires avec différentes longueurs	46
II.7.2.3 Réseaux chirpés linéaires avec différents changements d'indice de réfraction	46
II.7.2.4 Relation entre la variable chirp, le paramètre chirp et la longueur d'onde centrale	48
II.8 Réseaux de Bragg apodisés	48
II.8.1 Principe de base des réseaux apodisés	48
II.8.2 Fonctions d'apodisation	50
II.9 Réseaux de Bragg échantillonnés	53
II.9.1 Principe de base	53
II.9.2 Techniques de densification des canaux	55
II.9.2.1 Changement de la période d'échantillonnage	55

II.9.2.2	Technique de décalage périodique de phase.....	59
II.9.2.3	Technique du changement linéaire de phase	62
II.10	Techniques de décalage des canaux	63
II.10.1	Ajout d'une extra phase.....	63
II.10.2	Déplacement des canaux par application de gradients de température et des tractions mécaniques sur un réseau de Bragg.....	65
II.10.2.1	Application du gradient de température	65
II.10.2.2	Application d'une traction mécanique.....	69
II.11	Multiplexeurs et démultiplexeurs à base de réseaux de Bragg.....	74
II.11.1	Introduction	74
II.11.2	Configuration d'un démultiplexeur optique	75
II.11.3	Configuration d'un multiplexeur à insertion/extraction en longueurs d'onde.....	78
III	Conclusion	81

Chapitre III Synthèse et optimisation des réseaux de Bragg par la méthode de la recherche tabou dirigée

I	Introduction	84
II	Algorithmes métaheuristiques.....	85
II.1	Algorithme génétique	86
II.1.1	Introduction	86
II.1.2	Codage des individus d'une population	87
II.1.2.1	Codage binaire.....	87
II.1.2.2	Codage à caractères multiples	87
II.1.3	Evaluation et sélection.....	87
II.1.3.1	Sélection par roulette.....	88
II.1.3.2	Sélection par rang	89
II.1.3.3	Sélection par tournoi.....	90
II.1.3.4	Elitisme.....	90
II.1.4	Croisement.....	90
II.1.4.1	Croisement en un point.....	90
II.1.4.2	Croisement en deux points	91
II.1.5	Mutation	91
II.2	Recuit simulé	92
II.2.1	Introduction	92
II.2.2	Notions	93
II.2.2.1	Probabilité de Boltzmann	93
II.2.2.2	Critère de Metropolis.....	93

II.2.2.3	Chaine de Markov et équilibre thermique	94
II.2.2.4	Algorithme	94
II.2.3	Paramètres	95
II.2.3.1	Température initiale	95
II.2.3.2	Décroissement de température	95
II.2.3.3	Nombre d'itérations à température constante	95
II.2.3.4	Critères d'arrêt	95
II.2.4	Recuit simulé à pas tabulé	96
II.2.4.1	Prédétermination du vecteur pas	96
II.2.4.2	Etapes de l'algorithme RSPT	96
II.3	Recherche tabou	97
II.3.1	Introduction	97
II.3.2	Principe de l'algorithme	97
II.3.3	La recherche tabou de Hu	98
III	Métaheuristiques hybrides	99
III.1	Introduction	99
III.2	Classification hiérarchique	99
III.3	Classification générale	100
III.4	Algorithme génétique avec codage de simplexe (AGCS)	101
III.4.1	Introduction	101
III.4.2	Méthode de Nelder-Mead	101
III.4.3	Description générale des étapes de l'AGCS	103
III.4.3.1	Initialisation	103
III.4.3.2	Boucle de l'algorithme génétique	103
III.4.3.2.1	Sélection	103
III.4.3.2.2	Croisement et mutation	104
III.4.3.2.3	Réduction de la population	105
III.4.3.2.4	Intensification des membres par l'algorithme de Nelder-Mead	105
III.5	Recuit simulé avec recherche heuristique de motif (RSRHM)	105
III.5.1	Introduction	105
III.5.2	Direction de descente approximative (DDA)	105
III.5.3	Recherche heuristique de motif (RHM)	107
III.5.4	Description générale des étapes du RSRHM	108
III.6	Recherche tabou dirigée (RTD)	109
III.6.1	Les éléments mémoire de la recherche tabou (RTa)	110
III.6.1.1	introduction	110

III.6.1.2 Liste tabou multi-classée (LT)	110
III.6.1.3 Liste des régions visitées (LRV)	112
III.6.2 Stratégies de recherche locale et de voisinage	113
III.6.3 Description générale des étapes de la RTD.....	113
III.6.3.1 Introduction	113
III.6.3.2 La boucle exploration-diversification	114
III.6.3.3 Recherche d'intensification.....	115
IV Synthèse et optimisation des réseaux de Bragg par la RTD.....	116
IV.1 Introduction	116
IV.2 Comparaison entre les performances des algorithmes RTD, RSRHM et AGCS ...	117
IV.3 Synthèse des paramètres physiques d'un réseau de Bragg mono canal par la RTD	118
IV.4 Synthèse des paramètres physiques d'un réseau de Bragg multi canal par la RTD	121
IV.5 Estimation des coefficients thermo-optique et expansion thermique d'un réseau de Bragg par la RTD.....	124
IV.6 Optimisation des différents profils des contraintes mécaniques appliquées sur un réseau de Bragg par la RTD.....	129
IV.6.1 Introduction.....	129
IV.6.2 Reconstruction d'un profil d'une traction appliquée sur un réseau de Bragg à partir d'un spectre original déformé.....	132
V Conclusion	134
Conclusion générale.....	137
Annexe 1	140
Liste des figures et tableaux	145
Liste des symboles.....	150
Bibliographie	155

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le monde des télécommunications a connu d'importantes évolutions depuis la mise au point du télégraphe (sur câble électrique) en 1837 par Samuel Morse et l'invention du téléphone en 1875 par Alexander Graham Bell. En effet, grâce à la théorie électromagnétique de James Clerk Maxwell qui prédit l'existence des ondes radio en 1864, Heinrich Hertz a prouvé expérimentalement l'existence de ces ondes en 1887. Par la suite Olivier James a établi une communication sans fil sur une distance de 140 mètres en 1894 et Guglielmo Marconi a effectué la première transmission transatlantique en 1901. Un grand pas a été effectué durant les deux derniers siècles avec le développement des systèmes de transmission sur câbles et sur ondes hertziennes mais la qualité et le débit d'une transmission est resté toujours d'une grande importance. L'idée de servir de la lumière dans les communications remonte aux feux de bois utilisés par les Grecs et les Perses ainsi qu'aux torches enflammées utilisées par les Romains.

En 1958 et avec l'invention du laser, l'idée d'utiliser l'optique surgit de nouveau. Le laser est un générateur de lumière cohérente, stable, et monochromatique, pouvait remplir dans le domaine lumineux le même rôle que l'oscillateur radioélectrique dans le cas des ondes hertziennes. Les premières expériences de transmission étaient dans l'atmosphère qui s'est révélé un milieu de transmission dispersif et absorbant. L'idée de guider la lumière sans l'affaiblir a abouti aux fibres optiques. Au début, la recherche s'est concentrée sur le perfectionnement des fibres optiques dont l'atténuation est passée de 1000 dB/km en 1966 à 0.2 dB/km en 1979.

Le signal optique subit dans la fibre des altérations tant au niveau de sa composition que de sa structure et de sa puissance. Parmi les défauts de transmission, on trouve le phénomène d'atténuation optique, le problème de dispersion, les effets non linéaires (effet Raman et Kerr) et les pertes de connexion entre fibres optiques (désalignement axial et angulaire, rayons de courbure, connecteurs optiques, etc.).

Dans les années précédentes, les communications par fibres optiques ont connu un développement intéressant, grâce aux nombreux projets élaborés sur les réseaux de Bragg, soit expérimentalement, soit par des simulations numériques. Ce type de réseau trouve actuellement beaucoup d'applications, et il est en voie de développement.

Parmi les techniques utilisées pour augmenter le débit de transmission de données dans une liaison de communication optique est d'envoyer simultanément plusieurs canaux optiques, centrés sur des longueurs d'onde différentes, sur une seule fibre mono mode de transmission. Cette technologie de combinaison de plusieurs longueurs d'onde est appelée Multiplexage de Division en Longueurs d'onde (MDL ou WDM en anglais). Plusieurs types de multiplexeurs et de démultiplexeurs basés sur différentes technologies (filtres à couches minces interférentiels, réseaux de Bragg, filtres diffractifs, filtres de guides d'onde assemblés, entrelaceurs, interféromètres de Mach-Zehnder, filtres accordables) ont été présentés avec leurs caractéristiques correspondantes.

Notre travail est focalisé sur les réseaux de Bragg car ils présentent beaucoup d'avantages, parmi lesquels nous citons : leur structure est simple, leurs pertes d'insertion sont faibles, leur gamme de sélectivité en longueurs d'onde est large, ils sont moins sensibles à la

polarisation et leur compatibilité est parfaite avec les différentes fibres mono mode de transmission. Ces réseaux sont utilisés dans plusieurs applications comme le filtrage mono canal et multi canal, ce sont des composants fondamentaux de quelques types de multiplexeurs à insertion/extraction en longueur d'onde, ils sont utilisés comme des compensateurs accordables de la dispersion chromatique dans un système MDL, ces dispositifs sont appliqués aussi dans le routage optique.

Le réseau de Bragg est une variation périodique de son indice de réfraction à travers une direction de propagation dans le cœur de la fibre. Pour la caractérisation de ce réseau, la théorie des modes couplés est utilisée pour analyser la nature de propagation de la lumière dans la fibre perturbée (modes en co propagation et modes en contre propagation). La méthode des matrices de transfert est appliquée pour résoudre les équations des modes couplés. Nous avons conçu alors un programme sous l'environnement MATLAB basé sur cette méthode pour représenter les caractéristiques spectrales d'un réseau de Bragg uniforme, à pas variable, apodisé et échantillonné.

Le but de notre travail est de reconstruire les paramètres physiques d'un réseau de Bragg mono canal et multi canal en utilisant des algorithmes hybrides métaheuristiques, et de comparer entre les performances de ces algorithmes en termes de fonction objectif, nombre d'évaluations de cette fonction et le temps de calcul. La Recherche Tabou Dirigée (RTD), l'Algorithme Génétique avec Codage de Simplexe (AGCS) et le Recuit Simulé avec Recherche Heuristique de Motif (RSRHM) seront utilisés dans cette thèse pour synthétiser un réseau de Bragg.

Notre thèse englobe trois grandes parties. Dans le chapitre I nous évoquerons les différents filtres optiques largement utilisés pour concevoir les multiplexeurs et les démultiplexeurs optiques. Dans le chapitre II, une analyse des différents types de réseaux de Bragg sera faite en représentant les caractéristiques spectrales de ce réseau en utilisant la méthode des matrices de transfert. Quelques techniques de densification des canaux dans un réseau de Bragg échantillonné seront présentées. Ces canaux peuvent être déplacés vers d'autres longueurs d'onde choisies en appliquant des gradients de température ou des tractions mécaniques sur la fibre de Bragg. Enfin, le chapitre III sera consacré à la synthèse d'un réseau de Bragg mono canal et échantillonné. La Recherche Tabou Dirigée sera utilisée pour reconstruire les paramètres physiques de ces réseaux, cette méthode sera appliquée pour estimer le coefficient thermo-optique et le coefficient d'expansion thermique d'un réseau de Bragg mono canal dans le cas où nous choisissons de régler ce réseau sur une certaine longueur d'onde en lui appliquant un changement de température. La même métaheuristique hybride sera appliquée pour reconstruire des profils de tractions positives et négatives d'un réseau mono canal et échantillonné à partir de spectres déformés originaux, dans le but de déplacer les spectres réfléchis vers d'autres longueurs d'onde prédéfinies.

Chapitre I

**PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTS
FILTRES OPTIQUES APPLIQUÉS DANS
LES SYSTÈMES DE TRANSMISSION
MULTIPLEXÉS EN LONGUEURS
D'ONDE**