



N° d'ordre : 17/2015

## THESE DE DOCTORAT

SPECIALITE:  
TELECOMMUNICATIONS

Présentée par  
**Anouar RAHMOUNI**

**TECHNIQUE DE COMPENSATION PASSIVE DE LA  
DERIVE EN TEMPERATURE DE COMPOSANTS  
OPTIQUES**

Soutenue le 13/06/2015

Devant le jury

<b>P. Ismail AHOUI</b>	<b>Président</b>	<b>INPT, Rabat</b>
<b>P. Fouad Mohammed ABOU</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>Al Akhawyn University, Ifrane</b>
<b>P. Shinji HAYASHI</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>KOBE Univ, Japan &amp; MAScIR</b>
<b>P. Mhammed LAHBABI</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>FST, Fès</b>
<b>P. Zouhir SEKKAT</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université Med V &amp; MAScIR, Rabat</b>
<b>P. Mostapha ABARKAN</b>	<b>Examineur</b>	<b>FP Taza</b>
<b>P. Naoufal AZAMI P. Farid ABDI</b>	<b>Directeurs de thèse</b>	<b>INPT, Rabat FST, Fès</b>

Année Universitaire 2014/2015



## RESUME

Le besoin croissant des composants optiques, en particulier des composants passifs en fibres optiques, dans plusieurs domaines et notamment dans le domaine des télécommunications et des systèmes de transmission à haut débit a engendré la nécessité d'améliorer ses performances. En outre, les composants optiques passifs doivent être stables sur une large gamme de conditions environnementales, telles que la variation de la température dans une plage définie. La dépendance thermique de l'indice effectif des fibres optiques induit des déséquilibres de phase de la réponse optique des composants en fibre, en particulier des composants à base de l'interféromètre de Mach-Zehnder tels que démodulateur DPSK ou multiplexeur en longueurs d'ondes pour lesquels la stabilité thermique est une nécessité majeure.

L'objectif de ce travail est d'étudier la compensation passive de la dérive en température des composants fabriqués entièrement en fibre optique afin de proposer des solutions performantes et techniquement réalisables. En effet, ce travail présente des études théoriques et des résultats numériques ainsi que la réalisation expérimentale de méthodes innovantes qui permettent de compenser la dérive spectrale des composants tout-fibre, de structure Mach-Zehnder, due à la variation de la température. Deux types de compensation sont étudiés : la compensation sur fibre et la compensation intermédiaire par correction en détection.

Des résultats numériques de la dépendance thermique du mode fondamental  $LP_{01}$  d'une fibre effilée (Taper) sont présentés. La simulation est faite sur différents diamètres du cœur du Taper et montre la possibilité d'utiliser le Taper en tant que structure interne de compensation au sein de l'interféromètre tout fibre.

Des résultats numériques de la dépendance thermique du mode fondamental  $LP_{01}$  d'une fibre à cœur thermiquement diffusée (TEC) sont également présentés. La simulation est faite sur différents diamètres du mode fondamental et montre la possibilité d'utiliser les TECs en tant que compensateurs thermiques au sein d'une structure interférométrique avec pour avantage une meilleure tenue mécanique et des potentiels performances accrues en terme de vibration relativement à la compensation par Taper.

L'étude et la mise en pratique d'une technique de compensation intermédiaire par correction en détection sont présentées. Cette technique permet de corriger le problème de la dérive en température d'une manière électronique au niveau de la détection. Des résultats expérimentaux de la compensation intermédiaire par correction en détection sont également présentés et prouvent la faisabilité et la viabilité des designs présentés. Afin de parachever et démontrer la viabilité des designs présentés, un banc de fabrication des composants par fusion et étirage de fibre FBT ( Fused Biconical Tapered) a été mis en place afin de valider expérimentalement les résultats théoriques.

**Mots Clés:** Fibre optique, Communication optique, modulateur Mach\_Zehnder, dérive en température, DPSK: Differential phase shift keying, Technologie tout fibre, cœur thermiquement diffusé (TEC), Fused Biconical Tapered (FBT), compensation thermique: TAPER, TEC, Détection et correction

# Table des matières

Introduction générale	13
<b>1 Composants tout-fibre et dérive en température</b>	<b>17</b>
1.1 Introduction	17
1.2 Fibre optique et propagation de la lumière	18
1.2.1 Mode de propagation	19
1.2.2 Longueur d'onde de coupure	22
1.2.3 Le mode fondamental	24
1.2.4 L'atténuation de la fibre optique	26
1.2.5 La dispersion chromatique	28
1.3 Réseau Optique WDM et technologie de composants	30
1.3.1 Introduction	30
1.3.2 Architecture d'un réseau WDM	31
1.3.3 Technologie de composants	32
1.4 Technologie tout-fibre	33
1.4.1 Coupleur optique	34
1.4.2 Interféromètre de Mach-Zehnder	38
1.4.3 Technique de fabrication FBT	45
1.5 Dérive en température	47
1.5.1 Introduction	47
1.5.2 Dérive en température dans une fibre optique	48

## TABLE DES MATIÈRES

---

1.5.3	Dérive en température de l'interféromètre de Mach-Zehnder . . . . .	51
1.5.4	Conclusion . . . . .	52
<b>2</b>	<b>Étude théorique de la compensation passive</b>	<b>54</b>
2.1	Introduction . . . . .	54
2.2	Compensation par Taper . . . . .	56
2.2.1	Taper . . . . .	56
2.2.2	Simulation numérique de la dépendance thermique d'un Taper . . . . .	57
2.2.3	Exemple d'application : MUX/DEMUX 100GHz DWDM	62
2.3	Compensation par diffusion TEC . . . . .	64
2.3.1	Introduction . . . . .	64
2.3.2	Fibre à cœur diffusé (TEC) . . . . .	64
2.3.3	Simulation numérique de la dépendance thermique d'une fibre TEC . . . . .	66
2.3.4	Exemple d'application : MUX/DEMUX 100GHz DWDM	70
2.4	Compensation intermédiaire par correction en détection . . . . .	71
2.4.1	Introduction . . . . .	71
2.4.2	Description du problème . . . . .	72
2.4.3	Description de la technique de compensation thermique en détection . . . . .	73
2.4.4	Exemple d'application : Démodulateur DPSK (Differential phase shift keying) . . . . .	78
2.5	Conclusion . . . . .	80
<b>3</b>	<b>Résultats expérimentaux</b>	<b>82</b>
3.1	Introduction . . . . .	82
3.2	Mise en place de la plateforme de fabrication FBT . . . . .	83
3.2.1	Mise en place des éléments mécaniques . . . . .	83

## TABLE DES MATIÈRES

---

3.2.2	Étape de fusion-étirage . . . . .	86
3.2.3	Recette de fabrication . . . . .	89
3.2.4	Packaging du composant . . . . .	91
3.2.5	Conclusion . . . . .	93
3.3	Résultats expérimentaux de la compensation par diffusion TEC	93
3.3.1	Introduction . . . . .	93
3.3.2	Méthode de fabrication du MZI . . . . .	94
3.3.3	Mesure de la dépendance thermique . . . . .	95
3.3.4	Résultats et discussions . . . . .	96
3.3.5	Conclusion . . . . .	98
3.4	Compensation par correction en détection . . . . .	98
3.4.1	Introduction . . . . .	98
3.4.2	Schéma de compensation du MZI par correction en détection . . . . .	99
3.4.3	Résultats expérimentaux et discussion . . . . .	106
3.4.4	Conclusion . . . . .	108
	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>109</b>