

ANALYSE TEMPS-FREQUENCE PAR OFDI POUR LA CARACTERISATION DE FIBRES MULTIMODES

Abdoulaye Fall¹, Yaneck Gottesman¹, Catherine Lepers¹

¹ Institut Mines-Telecom/Telecom SudParis, CNRS UMR 5157 SAMOVAR, 9 Rue Charles Fourier, 91011 EVRY CEDEX, France

abdoulaye.fall@telecom-sudparis.eu

RÉSUMÉ

Une analyse temps-fréquence est ici effectuée pour la première fois sur des signatures obtenues par interférométrie fréquentielle OFDI. Cette analyse est introduite afin d'accéder au diagramme de dispersion des objets sous tests (OST), notamment des fibres ayant des longueurs typiques de l'ordre de 100m. Pour cela, nous identifions les conditions expérimentales à mettre en œuvre pour être en mesure de résoudre les différents modes possibles de l'OST. Dans un second temps, les diagrammes de dispersion obtenus sur un nouveau type de fibre multimode sont présentés. Nous montrons que cette fibre, bien que largement multimode a un comportement quasi-monomode lorsque elle est excitée par le mode fondamental d'une fibre monomode standard. Ces résultats témoignent de la portée des approches OFDI pour la caractérisation de nouvelles fibres optiques.

MOTS-CLEFS : *Fibres Multimodes ; OFDI ; Analyse Temps-Fréquence .*

1. INTRODUCTION

La fibre optique est le support de communication incontournable pour les systèmes haut débit et longue distance. De récents travaux plébiscitent l'usage de fibres multimodes pour les réseaux domestiques (courte portée) haut débit (≥ 10 Gbit/s) et multiformat. Leur capacité de transmission est habituellement limitée par la dispersion intermodale mais également par la dispersion chromatique (suivant la longueur). Dès lors, et suivant l'utilisation souhaitée, une caractérisation complète des propriétés de guidage de ces fibres optiques est nécessaire.

Bien que différentes techniques puissent être employées, celles interférométriques (OLCR pour Optical Low-Coherence Reflectometry, OFDI pour Optical Frequency Domain Interferometry) semblent particulièrement intéressantes à cause de la richesse des informations à laquelle elles donnent accès. En particulier, l'OLCR a été utilisée avec succès pour accéder aux propriétés d'objets fortement dispersifs. Elle n'est toutefois pas nécessairement adaptée aux objets à dispersion faible en raison de sa fenêtre spatiale de mesure limitée (de l'ordre du mètre). Dans un tel contexte, nous nous intéressons dans ce papier aux potentialités de l'OFDI (de fenêtre spatiale typique de plusieurs centaines de mètres) pour accéder au diagramme de dispersion d'objets complexes (ayant des dispersions faibles et avec différents modes autorisés).

Pour cela, nous montrons qu'il est possible de transposer au cas de l'OFDI, la méthode d'analyse temps-fréquence que nous avons introduite pour l'étude des cristaux photoniques [1] autour d'architectures OLCR. Afin de faciliter sa mise en place et pour étudier plus spécifiquement les propriétés de ce traitement au cas de milieux faiblement dispersifs, nous modélisons dans un premier temps la réponse temporelle d'une fibre. Cette modélisation permet d'introduire une discussion autour de l'accès aux caractéristiques des modes d'un point de vue expérimental. Dans un second temps, nous appliquons et démontrons le bienfondé de cette approche sur une fibre multimode encore au stade de conception.

2. ANALYSE DE LA REPONSE TEMPORELLE D'UNE FIBRE MULTIMODE

Le réflectogramme enregistré avec une mesure OFDI s'apparente à la réponse impulsionnelle de la fibre autour de la longueur d'onde centrale de la source. Le calcul de cette réponse impulsionnelle montre que la propagation sur une longueur L d'un mode de constante de propagation effective $\beta_{eff}(\omega) = \beta_0 + (\omega - \omega_0)\beta_1 + 0.5(\omega - \omega_0)^2\beta_2$ (ω étant la pulsation) induit un retard de phase $\beta_1 L$ ainsi qu'un élargissement temporel. L'équation 1 où $\beta^{(i)}$ désigne le mode i ($i=1, 2$) et σ la largeur de l'impulsion de départ, est un critère de séparation entre deux modes guidés sur une longueur L : deux modes ne peuvent être résolus que si l'inégalité est vérifiée.

$$\beta_1^{(1)} - \beta_1^{(2)} > 2\sqrt{2\ln(2)} \times \left[\sqrt{\frac{1}{(L\sigma)^2} + (\sigma\beta_2^{(1)})^2} + \sqrt{\frac{1}{(L\sigma)^2} + (\sigma\beta_2^{(2)})^2} \right] \quad (1)$$

Ainsi, nous pouvons dire que deux modes non dégénérés peuvent toujours être séparés en choisissant les conditions expérimentales (L, σ) adéquates. Nous observons que la méthode intuitive consistant à améliorer la résolution instrumentale (en augmentant $\sigma \sim \Delta\lambda$ largeur spectrale de la source) n'est pas adaptée. L'étude de la monotonie de la partie droite l'inégalité de l'Eq.1 montre qu'en augmentant σ à l'infini, on n'arrive plus à séparer les modes. Il faut ainsi trouver le bon compromis (L, σ) adapté à l'analyse de la dispersion étudiée; en particulier, on arrive à résoudre les modes en adaptant la longueur. Ceci est illustré à la Fig.1 (résultats de simulations) sur laquelle on représente le critère de résolution ainsi que des exemples de réflectogrammes.

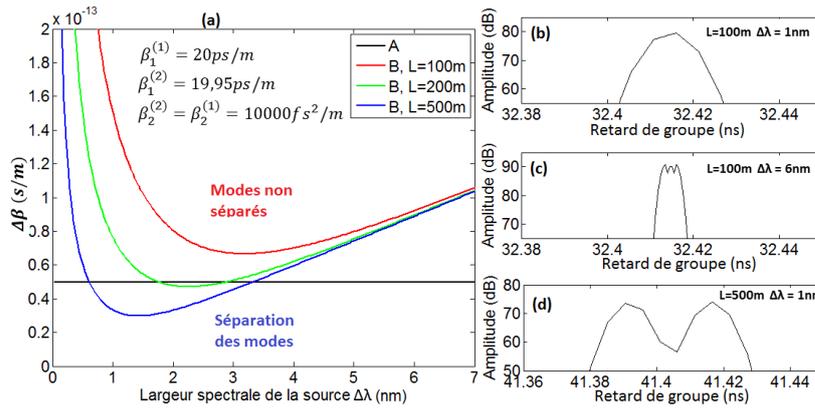


Fig. 1 : Simulation de la propagation de deux modes : (a) Critère de séparation des deux modes ; (b) et (c) Réflectogrammes lorsque la séparation n'est pas réalisée ; (d) Réflectogramme lorsque les modes sont séparés.

Au niveau de la Fig.1(a), la courbe horizontale représente la partie gauche de l'Eq. 1 ($\beta_1^{(1)} - \beta_1^{(2)}$) et B la partie droite. Cette simulation montre en particulier que la longueur de propagation ne peut être choisie arbitrairement ; par exemple, pour $L= 100m$ et les valeurs de dispersions simulées quelle que soit la résolution instrumentale, il est impossible de séparer les deux modes considérés. Le réflectogramme (c) illustre les phénomènes interférentiels qui apparaissent lorsque la résolution ne permet pas la séparation des modes, résultant en des pics ne correspondant pas obligatoirement à des signatures modales.

3. ANALYSE TEMPS-FREQUENCE PAR OFDI

Le banc OFDI réalisé fonctionne en mode transmission [2] et comporte essentiellement deux grandes parties : un interféromètre de type Mach-Zehnder avec la fibre à caractériser au niveau de l'un de ses bras puis un second interféromètre comme référence d'horloge pour l'acquisition des données. Un laser à balayage de fréquence est employé comme source. La largeur de la plage d'accord de la source considérée est $\Delta\lambda=110nm$ ($1520 nm - 1630 nm$). Les notions d'analyse temps-fréquence peuvent être introduites pour accéder à la dispersion du temps de groupe en

fonction de la longueur d'onde. Pour ce faire, nous appliquons un filtrage numérique glissant aux données brutes enregistrées (au niveau de l'interféromètre de mesure) avec une large plage de balayage de sorte à accéder aux propriétés de la fibre à chaque longueur d'onde. La résolution temporelle d'analyse est ainsi déterminée par la largeur spectrale du filtre.

La fibre optique considérée est la fibre HNOF [3] conçue afin d'optimiser le couplage de l'énergie dans le mode fondamental lorsqu'elle est excitée à travers une fibre monomode standard à 1310nm et 1550nm (dans le but de réaliser une propagation en régime monomode dans une fibre multimode). Pour un échantillon de longueur de 100 m, un filtre de largeur égale à 5 nm est adapté pour caractériser les groupes de modes Linéairement Polarisés -LP de la fibre et sera utilisé pour l'analyse temps-fréquence. La Figure 2 montre le réflectogramme brut obtenu dans la plage de balayage (a) et les résultats de l'analyse temps-fréquence effectué (b). Dans notre expérience, la fibre HNOF est excitée à travers une fibre monomode G652.

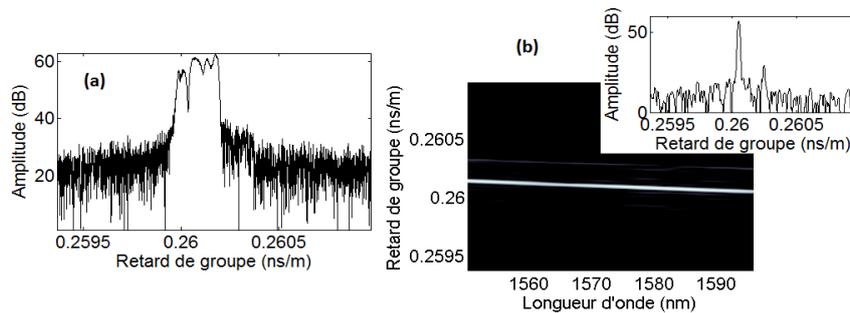


Fig. 2 : Mesure OFDI sur la fibre HNOF (a) Réflectogramme OFDI brut (b) Diagramme d'intensité obtenu par analyse temps-fréquence sur les données de (a)

Le diagramme d'intensité obtenu avec les traitements temps-fréquence permet de voir le régime quasi-monomode de la fibre prévu par la modélisation [3]. Deux groupes de modes sont excités par la source que nous avons utilisée. Environ 28dB de taux d'extinction par rapport au mode fondamental est mesuré (réflectogramme inséré au niveau du diagramme temps-fréquence). Le réflectogramme brut Fig. 2 (a) montre un ensemble de pics ne correspondant pas à des signatures modales, de façon similaire aux phénomènes interférentiels observés lorsque la résolution ne permet pas de séparer les modes. Cela peut traduire une levée de dégénérescence des modes composant les groupes de modes LP. La caractérisation des modes composant les groupes LP est possible d'après les résultats de la section 2 en adaptant la longueur de fibre.

4. CONCLUSIONS

L'analyse des propriétés de guidage d'une fibre multimode par modélisation de sa réponse temporelle est présentée afin de discuter sur le choix des paramètres expérimentaux permettant d'accéder aux caractéristiques des modes excités dans la fibre. La transposition à l'OFDI de l'analyse temps-fréquence utilisée en OLCR est par la suite réalisée pour caractériser une fibre encore au stade de conception. Elle permet par exemple de démontrer un comportement quasi-monomode de cette fibre lorsqu'elle est excitée par le mode fondamental d'une fibre G652.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet FUI 12 RLDO.

REFERENCES

- [1] Y. Gottesman et al, "Time-Frequency Analysis for an Efficient Detection and localization of Side-Coupled Cavities in Real Photonic Crystals," J. Lightwave Technol., Vol 22, N° 5, 2010
- [2] B. Robillart et al, "Spectral and Temporal Phase Measurement by Optical Frequency-Domain Reflectometry," Proc. of SPIE Vol. 8961 , 896134 (2014)
- [3] A. Fall et al, "Versatile Graded-Index Multi-Mode Fiber for High Capacity Single- and Multi-Mode Optical Home Network", ECOC 2014