

OPTAV : de nouvelles fibres OPTiques pour des usages Avancés

Sous-programme 1 : Fibres “spéciales” - caractérisation et applications

Responsable : Y. Jaouën, Telecom Paris

Equipes impliquées

Telecom Paris : Y. Jaouën, G. Debarge, R. Gabet, C. Palavicini (thésard), S. Mimouni (stagiaire)

ENIC/PhLAM : C. Lepers (en délégation CNRS à Telecom Paris), M. Bouazaoui

PhLAM/Université de Lille : M. Douay, Y. Quiquempois, E. Kerrinckx (thésard)

Collaborations

BNM-LNE : A.-F. Obaton

IRCOM/Univ. Limoges : Sébastien Février, P. Leproux, D. Pagnoux, P. Viale (thésard)

Alcatel R&I : L. Gasca, G. Melin

Draka Comteq (ex-Alcatel Cables) : P. Sansonetti, P. Sillard

Coractive (Canada) : S. Chaligny, P. de Sandro

Contexte

Le domaine des fibres “spéciales” (par opposition aux fibres de transmission) fait à nouveau l’objet d’intenses efforts de recherches liées à la maîtrise de nouveaux procédés verriers. Le dopage, l’inscription de réseaux de Bragg et surtout les micro-structurations permettent d’envisager le développement d’une nouvelle gamme de composants photoniques pour le traitement “tout-optique” des signaux : amplification, filtrage, conversion en longueur d’onde, régénération tout optique 2R et 3R, logique optique, Ces technologies, développées initialement pour le secteur des télécommunications optiques, trouvent des applications dans de nombreux autres domaines (médical, spectroscopie, bio-photonique, marque laser, LIDAR, ...).

La mise en œuvre de ces nouvelles fibres requiert la maîtrise d’outils de caractérisation performants. La réflectométrie à faible cohérence (OLCR pour Optical low-coherence reflectometry) est parfaitement adaptée à la caractérisation de ces fibres car elle permet, entre autre, d’effectuer une mesure de la dispersion chromatique locale (tronçons de fibre < 1 m) et de la biréfringence de groupe, ainsi que l’évaluation de la dépendance spectrale des pertes de propagation.

1 Caractérisation de fibres micro-structurées par OLCR sensible à la phase

Un montage OLCR est un interféromètre de Michelson éclairé en lumière blanche (plages 1280-1345 nm & 1525-1608 nm), incluant un miroir mobile dans l’un des bras et l’objet sous test dans l’autre. Le principe de mesure consiste à mesurer les réflectogrammes des faces d’entrée et de sortie d’un tronçon de fibre et d’en déduire les réflectivités complexes correspondantes dans le domaine spectral. Les paramètres accessibles à la mesure sont : l’atténuation, la biréfringence, l’indice de groupe et la dispersion chromatique. Tous ces paramètres sont accessibles simultanément pour toutes les longueurs d’onde et en une seule mesure. Cette étude se situe clairement dans le prolongement d’un travail exploratoire réalisé dans le cadre du projet incitatif GET/FDRO.

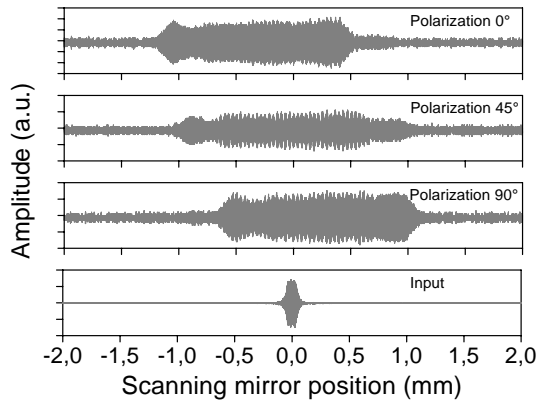


Fig. 1 : Interferogrammes mesurés des faces d'entrée et de sortie pour un tronçon de fibre micro-structurée de 81.4 cm.

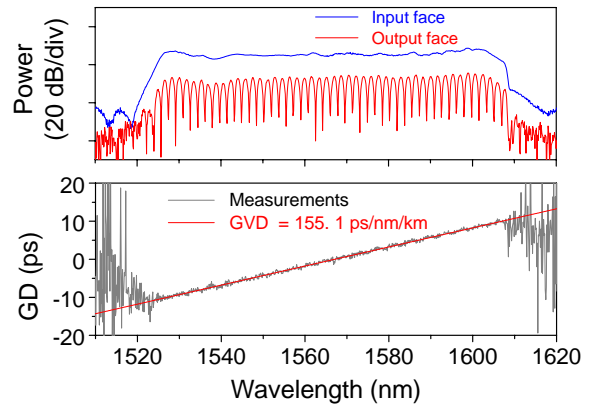


Fig. 2 : Spectres des faces d'entrée et de sortie et temps de groupe du tronçon de fibre micro-structurée de 81.4 cm.

Nous avons caractérisé par des mesures très précises des échantillons provenant de différents laboratoires (PhLAM, Alcatel R&I, IRCOM). La figure 1 présente les interférogrammes des faces d'entrée et de sortie d'un tronçon de fibre de 81.4 cm, celui de la face de sortie est élargi à cause de la forte dispersion chromatique de la fibre. On note un phénomène de battement significatif d'un effet de biréfringence. L'insertion d'un polariseur permet de réduire fortement ce battement. La biréfringence de groupe et la dispersion chromatique de la fibre sont respectivement $B_g = 8.1 \cdot 10^{-4}$ et $GVD = 152.4$ et 155.1 ps/nm/km pour les 2 modes de polarisation à 1550 nm [1,2] (Fig. 2). Une modélisation effectuée à partir du profil vrai de la fibre micro-structurée, résolution numérique effectuée par FEM et développée au PhLAM, permet de déterminer les indices effectifs des modes de propagation et d'en déduire les valeurs théorique du GVD et de B ainsi que la surface effective (Fig. 3 & 4) [3]. Il est à noter une très bonne concordance entre les valeurs expérimentales et les simulations numériques.

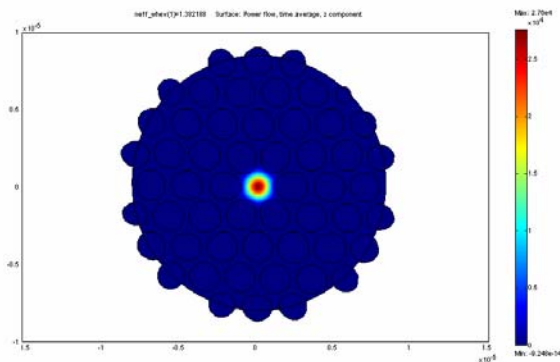


Fig. 3 : Amplitude du champ électrique obtenue à partir de la section vraie à 1550 nm

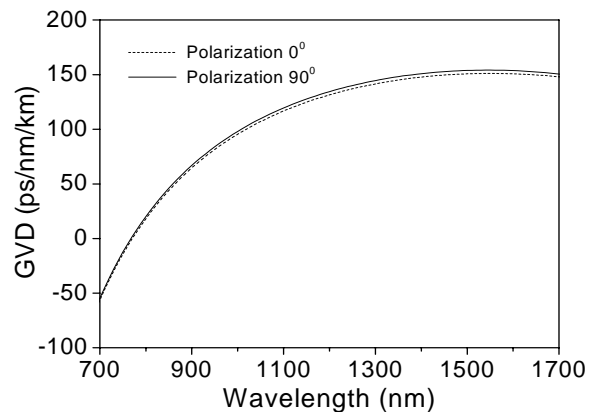


Fig. 4 : Dispersion chromatique calculée à partir de la section vraie à 1550 nm.

- [1] C. PALAVICINI, E. KERRINCKX, Y. QUIQUEMPOIS, A.-F. OBATON, Y. JAOUEN, M. DOUAY, G. DEBARGE and C. LEPERS, "OLCR applied to chromatic dispersion and birefringence characterization of photonic crystal fibers" *CLEO'04*, paper CWA67, San Francisco, May 2004
- [2] A.-F. OBATON, Y. JAOUEN, C. PALAVICINI and C. LEPERS "Phase-sensitive OLCR technique applied to fiber group-velocity dispersion and birefringence measurements" *LCTIM'04*, session instrumentation, paper 9, October 2004.
- [3] C. PALAVICINI, E. KERRINCKX, Y. JAOUEN, A.-F. OBATON, Y. QUIQUEMPOIS, M. DOUAY, G. MELIN, G. DEBARGE and C. LEPERS, "Characterization of photonic crystal fiber properties using phase-sensitive OLCR" *Optics. Lett.* 30, 361-363, Feb. 2005

2 Développement d'une plate-forme de caractérisation de fibres "spéciales"

Une collaboration avec le BNM-LNE (Bureau National de Métrologie – Laboratoire National d'Essais), menée initialement de manière informelle, a été concrétisée par une convention de recherche (période : novembre 2004/octobre 2005, montant 52 Keuros) sur la caractérisation de fibre micro-structurées. Les études porteront principalement sur les 2 axes suivants :

- Axe métrologique : amélioration de l'incertitude des mesures [1]
- Axe technologique : analyse de la dépendance spatiale des paramètres de guidage

Le laboratoire "fibres spéciales" d'Alcatel R&I fournira une fibre micro-structurée complète (longueur totale > 100 m) dans laquelle différents échantillons seront prélevés. Cette collaboration va permettre d'améliorer les performances du banc OLCR de l'ENST (nouveaux composants mécaniques et optiques, algorithmes de traitement des interférogrammes). Des mesures comparatives entre les bancs OLCR de l'ENST et le BNM-LNE seront effectuées. Une modélisation des grandeurs mesurées sera faite afin de confronter les résultats issus des mesures et ceux issus de la simulation numérique.

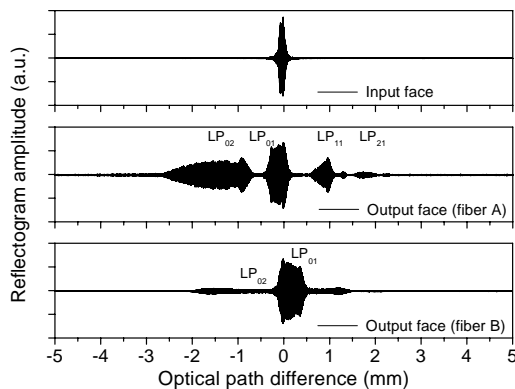


Fig. 5 : Interferogrammes de 2 tronçons de fibre HOM.

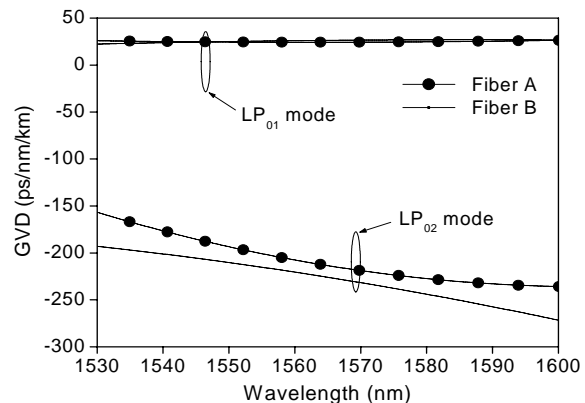


Fig. 6 : Evolution des GVD des fibres HOM.

La pertinence de la caractérisation de fibres "spéciales" par OLCR a ouvert la voie à la caractérisation de nouvelles familles de fibres : fibres à bande photonique interdite (PhLAM), fibres de Bragg (IRCOM) [2,3,4], fibres faiblement multimodes encore dénommées HOM (Draka Comteq) [5], fibres dopées (Coractive, Highwave). Les résultats obtenus ont permis d'atteindre une expertise reconnue dans le domaine de la caractérisation de fibres, en particulier auprès des laboratoires publics et industriels (IRCOM, LPMC Univ. Nice, PhLAM, PERFOS, Highwave, Coractive) [6].

[1] S. MIMOUNI, Y. JAOUËN, G. DEBARGE et C. LEPERS, "Amélioration de la sensibilité d'un dispositif OLCR par interpolation, recadrage et sommation d'interférogrammes" JNOG'04, papier B23, Novembre 2004

[2] C. PALAVICINI, P. VIALE, A.-F. OBATON, S. FEVRIER, Y. JAOUEN and P. LEPROUX, "Chromatic dispersion measurement of a Bragg fibre" ECOC'04, paper We3.3.5, Stockholm, September 2004.

[3] P. VIALE, C. PALAVICINI, A.-F. OBATON, R. JAMIER, S. FEVRIER, Y. JAOUEN et P. LEPROUX, "Analyse des propriétés modales d'une fibre de Bragg" JNOG'04, papier 604, Novembre 2004

[4] P. VIALE, S. FEVRIER, R. JAMIER, P. LEPROUX, Y. JAOUEN and A.-F. OBATON, "Modal properties of a large mode area Bragg fiber" Submitted to *Optics. Lett.*

[5] Y. JAOUEN, P. PALAVICINI, A.-F. OBATON, C. MOREAU and P. SILLARD "Direct chromatic dispersion determination of higher-order mode fibers using OLCR technique" CLEO'05, paper CthB4, Baltimore, May 2005.

[6] Y. JAOUEN "Analyse de fibres spéciales par réflectométrie à faible cohérence" Séminaire PERFOS, décembre 2004, Lannion.

3 Application des fibres “spéciales”

Les fibres micro-structurées à cœur plein présentent une différence d'indice cœur - indice moyen de gaine élevé. Ce saut d'indice important permet un fort confinement de la lumière dans le cœur de la fibre et laisse présager des effets non linéaires élevés. L'ajustement du diamètre des trous et de leur espacement ouvre un vaste champ dans l'optimisation des propriétés de la fibre (GVD, HOD et paramètre de Kerr). Il en résulte de grosses potentialités pour le traitement du signal optique (régénération 2R et 3R, conversion en longueur d'onde, génération de supercontinuum, ...).

Les premiers travaux ont porté sur le développement de modèle de propagation non linéaire pour des impulsions très courtes. Les paramètres mesurés (GVD, biréfringence, surface effective, pertes de confinement, ...) des fibres utilisées pourront être incorporés dans le modèle de propagation afin d'optimiser les performances de la fonction de traitement “tout optique” visée. Un modèle de propagation d'impulsions de durée aussi faible que 50 fs (*Generalized NonLinear Schrödinger Equation – GNLSE*) a été développé :

$$\frac{\partial A}{\partial z} = \underbrace{\sum_{k \geq 1} i^{k+1} \frac{\beta_k}{k!} \frac{\partial^k A}{\partial t^k}}_{\text{dispersion}} - \underbrace{\frac{\alpha(z)}{2}}_{\text{loss}} A + i\gamma \left(1 + \frac{i}{\omega_0} \frac{\partial}{\partial t} \right) \underbrace{\left[A(z,t) \int_{-\infty}^t R(t') |A(z,t-t')|^2 dt' \right]}_{\text{nonlinear effects}}$$

où $A(z,T)$ représente l'enveloppe complexe du champ optique, β_k les différents coefficients de la dispersion chromatique, γ le coefficient non-linéaire et $R(t) = (1 - f_R)\delta(t) + f_R h_R(t)$ représente les contributions fractionnelles de la susceptibilité électronique instantanée et de la susceptibilité Raman. La validité de la résolution numérique a été effectuée à partir de travaux théoriques et expérimentaux publiés précédemment (Fig. 7).

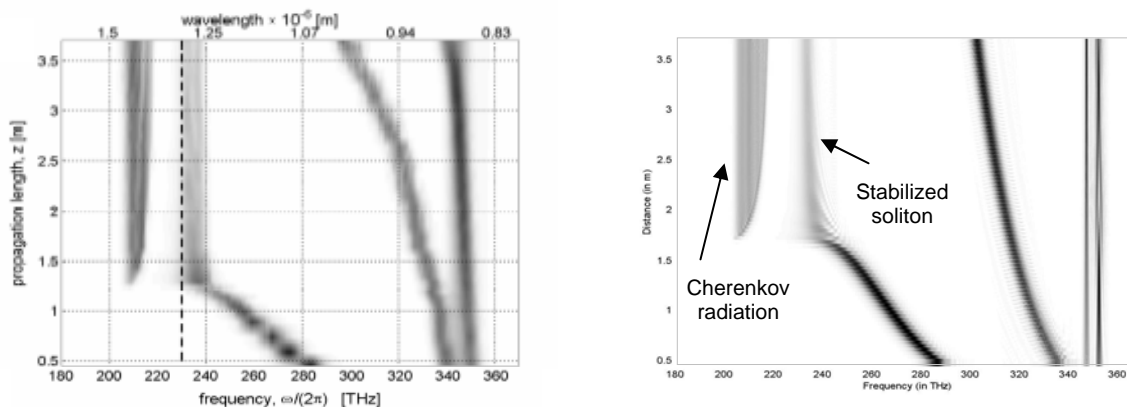


Fig. 7 : Evolution du spectre d'une impulsion de durée $\tau = 200$ fs et de puissance crête $P_{\text{peak}} = 230$ W correspondant à un soliton d'ordre 4.
 (a) résultats expérimentaux*, (b) modélisation numérique.
 (*) *D.V. Skryabin et al., Science 301, 1705 (2003)*

Une coopération avec l'IRCOM vient de démarrer sur la modélisation de la génération de supercontinuum par propagation d'impulsion en régime nano-seconde (collaboration susceptible de déboucher sur une co-direction de thèse). Le modèle de propagation a été étendu dans le cas d'amplification d'impulsion de forte puissance dans les amplificateurs à fibre double gaine (coopération avec l'ONERA & Keopsys) [1].

[1] Y. Jaouën, G. Canat, S. Grot and S. Bordais, “Power limitation induced by nonlinear effects in pulsed high-power fiber amplifier” to submit to *Journées scientifiques ONERA : High power fiber lasers and amplifiers*, June 2004

4 Conclusion

Ce projet a clairement montré la pertinence de la réflectométrie à faible cohérence pour la caractérisation de fibres optiques. Une collaboration avec le BNM, démarrée de manière informelle en 2003, a été valorisée au travers d'un contrat de recherche. Elle devrait nous permettre d'améliorer les performances du banc OLCR de l'ENST. Les résultats obtenus ont permis d'atteindre une expertise reconnue auprès des acteurs du secteur des fibres "spéciales" dans le domaine de la caractérisation.

Cette plateforme de caractérisation pourra être appliquée à la caractérisation d'autres familles de composants photoniques : multiplexeurs optiques, réseaux de Bragg, lasers DFB à fibres, dispositifs à semi-conducteurs, Des contacts ont déjà été établis (PhLAM/Université de Lille, Université Laval, ENSSAT, PERFOS). La maîtrise d'un modèle de propagation non-linéaire élaboré va nous permettre l'analyse fonctionnelle pour le traitement "tout-optique" des signaux et s'appuiera sur une plate-forme de validation et de caractérisation fonctionnelle existante (plate-forme WDM 10 Gb/s).