

COMPARAISON DE REFLECTOMETRES A FAIBLE LONGUEUR DE COHERENCE ET APPLICATION A LA CARACTERISATION DE COMPOSANTS A FIBRES OPTIQUES

Anne-Françoise Obaton, Jacques Morel*, Armin Gambon*, Martin Lièvre

Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Centre Métrologie et Instrumentation,
Division thermique et optique, Unité fibronique, 29, avenue Roger Hennequin,
78197 Trappes Cedex, France. Tél. : 33 (0) 1 30 69 21 72

*Office Fédéral de Métrologie et d'Accréditation (METAS), Lindenweg 50,
3003 Bern-Wabern, Suisse. Tél. +41 31 32 33 350

Résumé

L'interférométrie à faible longueur de cohérence est un outil particulièrement bien adapté à la caractérisation des propriétés de réflectance de dispositifs à fibres optiques. De nombreuses réalisations différentes de ce principe de mesure ont été démontrées. Une comparaison de mesures de réflectances effectuées sur des connecteurs à fibres optiques ainsi que sur des réseaux de Bragg à pas variable a été réalisée en utilisant deux types de réflectomètres (OLCR pour Optical Low Coherence Reflectometer) de constructions très différentes. Cette comparaison a également permis de mettre en évidence les propriétés spécifiques des deux systèmes.

Abstract

Optical Low Coherence Reflectometry is a very well suited tool to characterize the reflectance of optical fiber devices. Several techniques based on very different signal processing schemes have been demonstrated. A comparison of reflectance measurements performed on fiber connectors and on chirped fiber Bragg gratings was carried out by using two different Optical Low Coherence Reflectometers (OLCR). This comparison also revealed the specific properties of the two systems.

Méthodes de mesure

Un OLCR [1] est un interféromètre de Michelson doté d'une source large bande. Un interférogramme est enregistré lorsque la différence de chemin optique entre les deux bras de l'interféromètre est inférieure à la longueur de cohérence de la source. Cette longueur est inversement proportionnelle à la largeur spectrale du rayonnement émis par la source. En conséquence, une source à spectre large se caractérise par une faible longueur de cohérence et la technique interférométrique permet alors d'obtenir une grande résolution spatiale (interférogrammes très localisés).

Le réflectomètre utilisé par le LNE se base sur une mesure dynamique de l'interférogramme. Il est sensible à la phase ce qui donne accès à des informations dans le domaine spectral. Le dispositif (Fig. 1) comprend

un coupleur deux vers deux : la source et le détecteur sont localisés d'un côté, et les bras test et de référence de l'autre. Le bras de référence contient un coin de cube monté sur un chariot se déplaçant sur coussin d'air afin de pouvoir modifier la différence de chemin optique entre les deux bras de l'interféromètre. Une source superfluorescente à spectre plat permet la caractérisation de composants sur l'ensemble de la bande C+L (i.e. 1525-1605 nm). Cette largeur spectrale permet d'obtenir une résolution spatiale de l'OLCR d'approximativement 15 μm . Les interférogrammes sont obtenus en déplaçant un chariot sur coussin d'air à vitesse constante (0,2 mm/s). Afin d'obtenir des informations sur la phase il faut que l'interférogramme soit échantillonné uniformément avec un pas imposé par le critère de Shannon. Pour cela le réflectomètre dispose d'un second interféromètre de Michelson en lumière cohérente. Les deux interféromètres possèdent en commun leur bras de référence qui contient le chariot sur coussin d'air sur lequel sont fixés deux coins de cube mis dos à dos. Le signal sinusoïdal généré par l'interféromètre en lumière cohérente est remis en forme, une acquisition est réalisée sur chaque front montant du signal créneau, ce qui correspond à un pas d'échantillonnage de 80 nm.

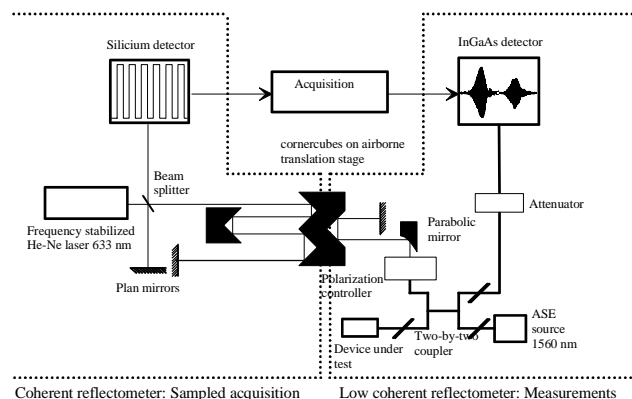


Fig. 1. Dispositif de réflectométrie à faible longueur de cohérence du LNE.

Le réflectomètre utilisé par METAS utilise quant à lui une technique de mesure statique ; le signal réfléchi (interférogramme) étant mesuré à chaque position discrète du bras mobile de l'interféromètre. Le schéma de principe est montré à la figure 2.

Mesures de réflectances de connecteurs à fibres optiques monomodes

Des mesures de réflectance ont dans un premier temps été réalisées sur des connecteurs ouverts (interface verre/air) de type FC-PC (face de la fêrulle polie perpendiculairement à l'axe de la fibre) afin de tester la reproductibilité de nos systèmes de mesure respectifs. Dans un second temps, des mesures de réflectance ont été effectuées sur des connecteurs fermés (interface verre/verre) de type FC-PC et FC-APC (face de la fêrulle polie avec un angle de 8° par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de la fibre) dans le but de qualifier la mesure absolue de réflectance.

L'étalonnage des deux OLCR a été effectué par la mesure de la réflectance d'un connecteur ouvert FC-PC de référence.

La figure 3 présente les résultats de reproductibilité de mesure de réflectance d'une interface verre/air (connecteur FC-PC ouvert) faite sur chaque OLCR. Les mesures obtenues par chaque laboratoire restent dans les incertitudes déclarées.

La figure 4 présente, quant à elle, les résultats de mesures de réflectances réalisées sur une paire de connecteurs FC-PC fermés. Les résultats obtenus à l'aide des deux systèmes sont pour la majorité bien comparables. Les plus larges écarts observés pour quelques points sont explicables par la grande sensibilité des valeurs mesurées aux paramètres mécaniques de la jonction, tels que moment de serrage, méthode de fermeture, technique de nettoyage du connecteur. Les incertitudes indiquées pour chaque mesure correspondent à l'incertitude combinée élargie (facteur d'élargissement $k=2$), englobant les incertitudes liées à la mesure proprement dite, ainsi que l'incertitude associée au processus de fermeture des paires de connecteurs.

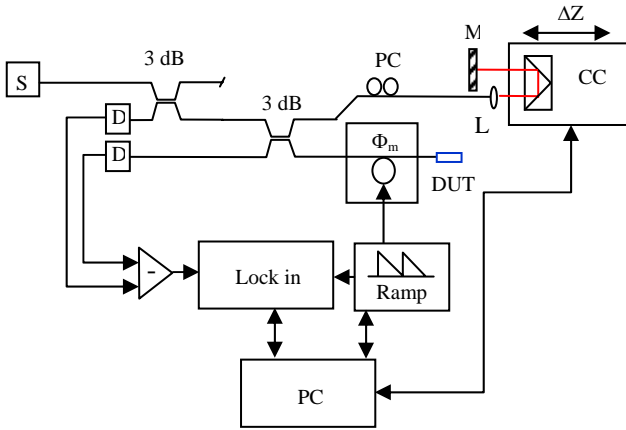


Fig. 2 : Dispositif de réflectométrie à faible longueur de cohérence utilisé à METAS. Légendes : (S) : source large bande ; (PC) : contrôleur de polarisation ; (Φ_m) : modulateur de phase, (D) : photodétecteurs, (M) : miroir ; (L) : lentille de collimation, (CC) : réflecteur mobile, (DUT) : échantillon.

Le balayage de l'interféromètre est réalisé à l'aide d'un réflecteur (CC) monté sur une table de translation motorisée. Les déplacements sont effectués de manière discrète, par pas de 2 μm . La mesure en quadrature du signal réfléchi est faite à l'aide de deux photodiodes (D) placées sur les deux sorties de l'interféromètre. Le signal différentiel est détecté de manière synchrone à l'aide d'un amplificateur "lock-in". La modulation nécessaire à la détection synchrone est obtenue par modulation de phase (Φ_m) du signal réfléchi par l'échantillon (DUT). Ce type de détection permet la mesure de réflectances très faibles (inférieures à -110 dB), mais nécessite, par contre, des temps de mesure relativement grands. La source optique utilisée est une diode superluminescente possédant une largeur spectrale à mi-hauteur d'approximativement 100 nm. Cette largeur spectrale permet d'obtenir une résolution spatiale du réflectomètre d'approximativement 12 μm .

Echantillons utilisés

Les échantillons suivants ont été utilisés comme objets de comparaison :

Echantillons testés	Désignation	Paramètres mesurés
Paire de connecteurs de type FC-PC	PC1, PC2	Réflectance de la paire de connecteurs ouverts (interface verre-air) et fermés (interface verre-verre)
Paire de connecteurs de type FC-APC	APC1, APC2	Réflectance de la paire de connecteurs fermés (interface verre-verre)
Réseaux de Bragg à pas variable	F1466 F1490	Réflectance Retard de groupe

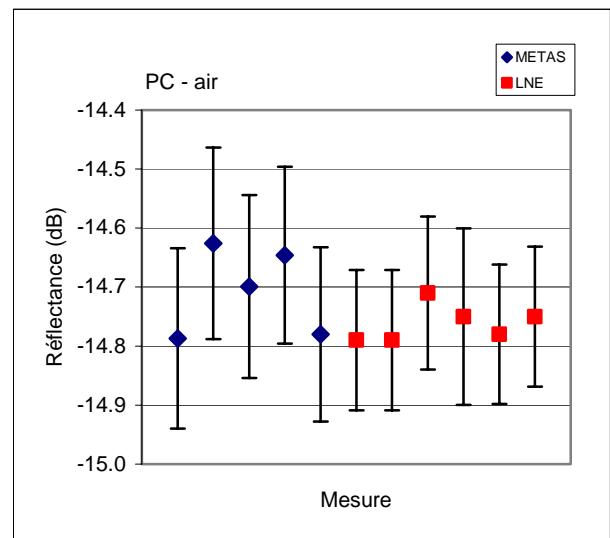


Fig. 3. Reproductibilité de mesure de réflectance d'une interface verre/air (connecteur FC-PC ouvert) sur les deux OLCR.

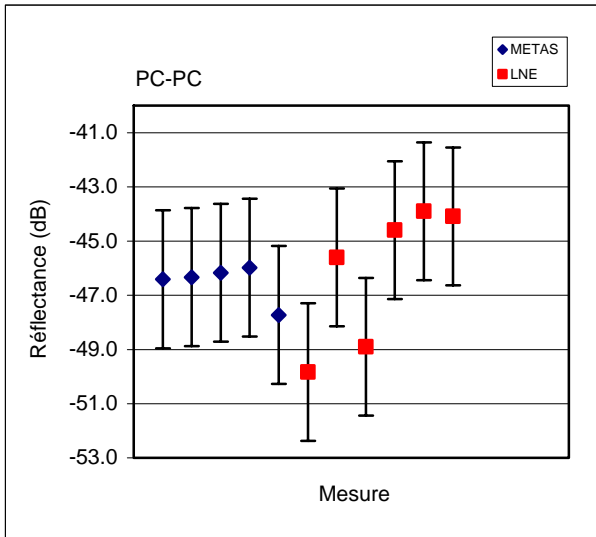


Fig. 4. Mesures de réflectances réalisées sur une paire de connecteurs FC/PC fermés. Les résultats obtenus à l'aide des deux systèmes sont tout à fait comparables, en tenant compte des incertitudes liées à la reproductibilité du processus de connexion.

Les résultats de la figure 5 sont ceux obtenus par METAS uniquement. Ils donnent la réflectance mesurée sur une paire de connecteurs de type FC-APC fermés (interface verre-verre). La dynamique de l'OLCR du LNE n'a pas permis de caractériser les connecteurs FC-APC fermés. Les mesures successives réalisées sur la même configuration de connecteurs fermés fournissent des résultats équivalents. Les mesures APC1-APC2 et APC2-APC1 (contra-directionnelle) fournissent des résultats légèrement différents qui sont explicables par la forte influence de l'angle de polissage des connecteurs sur la valeur de la réflectance. Une incertitude typique de $\pm 0.2^\circ$ sur l'angle de polissage (valeur communément acceptée pour un connecteur de ce type) est suffisante pour expliquer une fluctuation de la réflectance de plus de 3 dB.

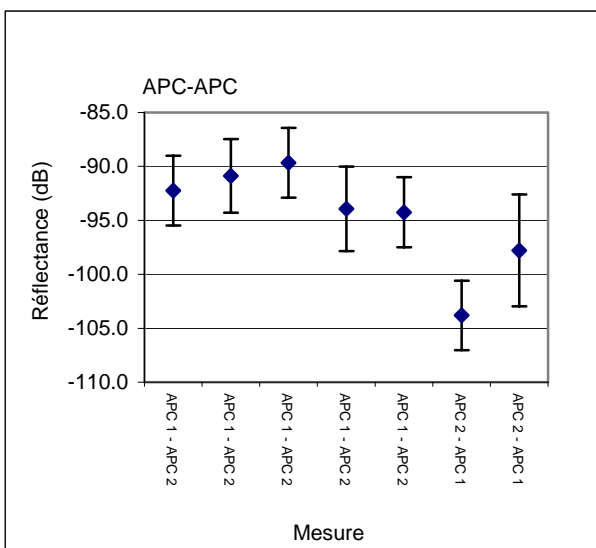


Fig. 5. Réflectance mesurée par METAS sur une paire de connecteurs de type FC-APC fermée. Des résultats légèrement différents ont été obtenus pour les mesures APC1-APC2 et APC2-APC1. Ceci est explicable par des angles de polissages légèrement différents des deux connecteurs.

Mesures de réflectances de réseaux de Bragg à pas variable

La réflectance de deux réseaux de Bragg à pas variable a également été caractérisée à l'aide des réflectomètres du LNE et de METAS. L'équivalence des résultats obtenus est clairement observable sur la figure 6, où les mesures obtenues à l'aide des deux systèmes ont été superposées. Un léger décalage vertical a été ajouté à l'une des mesures de manière à faciliter la comparaison.

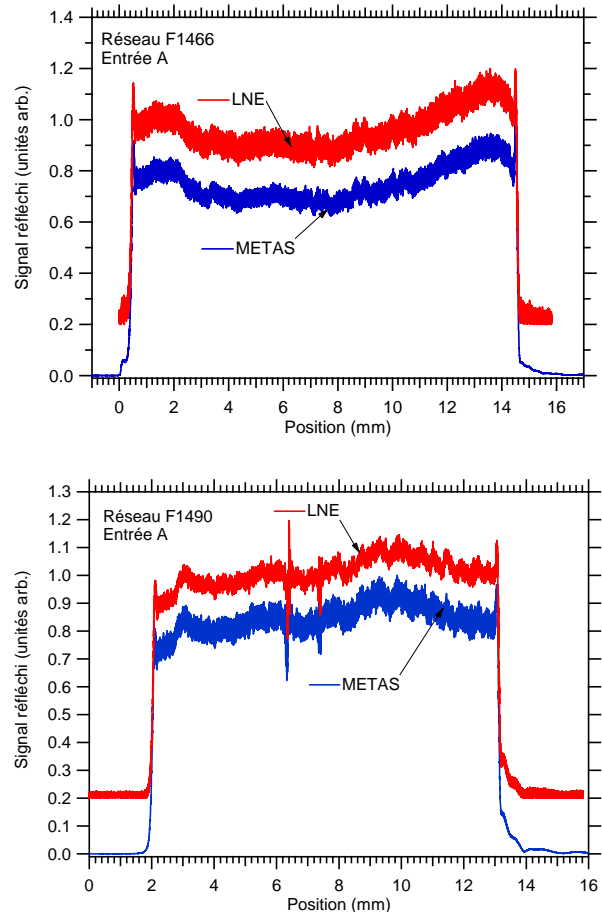


Fig. 6 : Réflectance mesurée sur les réseaux de Bragg F1466 et F1490 à pas variable à l'aide des OLCR du LNE et de METAS. Le facteur de réflexion est représenté sur une échelle linéaire normalisée à 1 avant décalage.

Mesures de retard de groupe relatif de réseaux de Bragg à pas variables

De part sa période d'échantillonnage de 80 nm, la mesure de la phase de réflexion est réalisable de manière optimale avec le réflectomètre du LNE: cette mesure permettant une caractérisation directe du retard de groupe relatif. Avec sa période d'échantillonnage de $2 \mu\text{m}$ le réflectomètre de METAS ne permet pas d'obtenir une information de la phase exploitable, même en appliquant des techniques d'extrapolation. Les résultats de retard de groupe obtenus par le LNE avec son OLCR ont donc été comparés aux résultats obtenus par

METAS en utilisant la technique du décalage de phase ("phase-shift") [2]. Le principe de cette méthode (Fig. 7) consiste à injecter dans le réseau de Bragg au travers d'un coupleur directionnel le signal optique provenant d'un laser accordable (TLS), modulé en puissance au moyen d'un modulateur de Mach-Zehnder (MZ). La phase du signal réfléchi $\Delta\phi$ (phase relative mesurée entre le signal détecté et le signal électrique de modulation) est mesurée en fonction de la longueur d'onde. Le retard de groupe relatif (RGD) est alors donné par

$$RGD(\lambda) = \frac{1}{2\pi \cdot f} \cdot \Delta\phi(\lambda), \text{ où } f \text{ est la fréquence de modulation.}$$

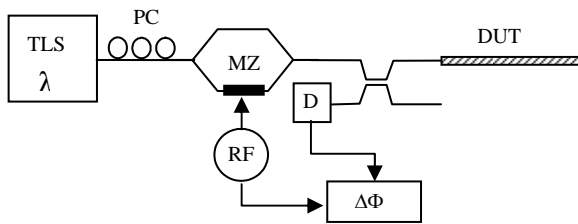


Fig. 7. Schéma de principe de la mesure de retard de groupe relatif par la méthode du décalage de phase ("phase shift") réalisée par METAS. Légendes : (TLS) : laser accordable, (MZ) : modulateur de Mach-Zehnder, (PC) : contrôleur de polarisation, (RF) : générateur RF, ($\Delta\Phi$) : phasemètre, (DUT) : échantillon.

Une fréquence de modulation de 9 GHz et un incrément de longueur d'onde entre deux points de mesure successifs de 20 pm ont été utilisés. Les mesures OLCR et par décalage de phase ont fourni des résultats en parfait accord, comme on peut le voir à la figure 8. Il est à remarquer que la mesure OLCR permet d'observer des fluctuations du retard de groupe relatif avec une résolution meilleure que les 20 pm obtenus par la méthode du décalage de phase.

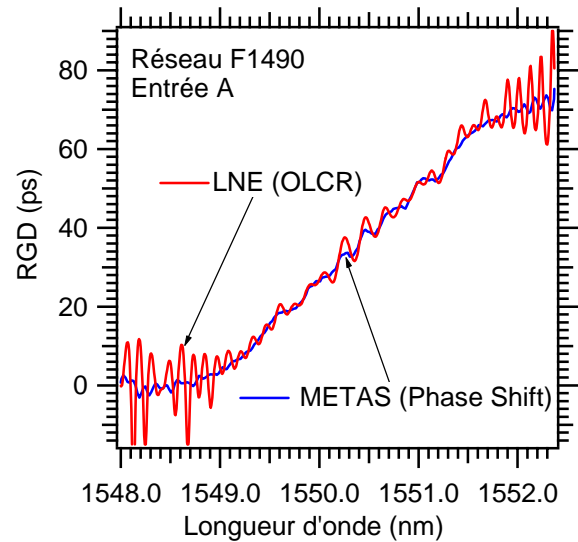
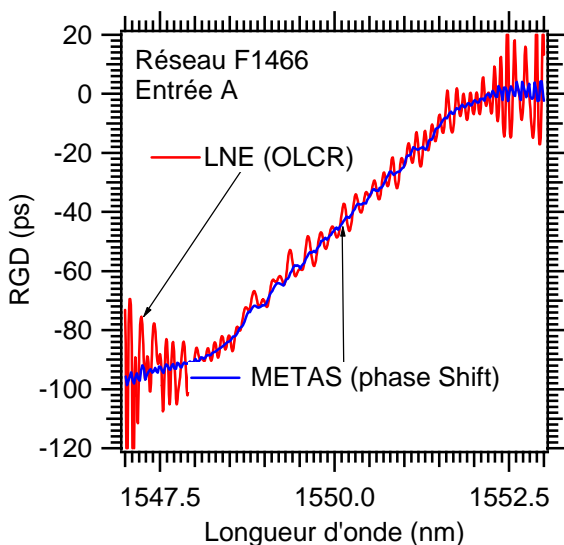


Fig. 8 : Retards de groupe relatifs (RGD) mesurés sur deux réseaux de Bragg à pas variable en utilisant la mesure OLCR (LNE) et la mesure du décalage de phase (METAS).

Conclusions

Les mesures de réflectance réalisées à l'aide de deux OLCR de conceptions très différentes ont permis de mettre en évidence l'équivalence des résultats obtenus pour des mesures de taux de réflexions allant jusqu'à -51 dB, effectuées sur des connecteurs de type FC-PC. Les mesures de réflectance distribuée réalisées sur des réseaux de Bragg à pas variable ont également fourni des résultats tout à fait équivalents. Les spécificités des deux systèmes ont également été mises en évidence. En particulier, seul le système statique à détection synchrone permet la mesure de petites valeurs de réflectances; des valeurs inférieures à -110 dB pouvant effectivement être facilement mesurées. D'un autre côté, seul le système dynamique dispose d'une période d'échantillonnage spatiale suffisante pour accéder à l'information de la phase du signal réfléchi nécessaire à la réalisation de toute analyse spectrale ou temporelle. Ces deux types de réflectomètres sont très complémentaires. La réalisation d'un système combinant les deux techniques de mesures permettrait de profiter simultanément de leurs avantages respectifs.

Références

- [1] K. Takada, I. Yokohama, K. Chida, J. Noda, "New measurement system for fault location in optical waveguide devices based on an interferometric technique", Appl. Opt., Vol. 26, no. 9, pp. 1603-1606, 1987.
- [2] B. Costa, D. Mazzone, M. Puleo, and E. Vezzoni, "Phase shift technique for the measurement of chromatic dispersion in optical fibers using LED's," IEEE J. Quantum Electron., Vol. 18, no. 10, pp. 1506-1515, October 1982.