Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 21

Artikel: Réflectométrie temporelle et fréquentielle dans les fibres optiques

Autor: Lemaire, H. / Falco, L. / Cochet, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904704

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Réflectométrie temporelle et fréquentielle dans les fibres optiques

H. Lemaire, L. Falco, F. Cochet, J.P. Jeanneret, O. Parriaux

La réflectométrie optique est un outil de base pour la caractérisation des fibres optiques dans le domaine des télécommunications où elle est utilisée à la détection et à la localisation de fautes de ligne ainsi qu'à la mesure de leur amplitude. Cette technique offre également de multiples possibilités dans le domaine des capteurs à fibres optiques et plus particulièrement des systèmes de capteurs. Ces possibilités ne peuvent être pleinement exploitées que si la description de l'effet de rétrodiffusion dans une fibre reçoit une description dans le domaine fréquentiel, lequel se prête mieux aux considérations relatives aux systèmes. La présente contribution décrit généralement et avec quelques exemples typiques la correspondance entre les modes de représentation temporelle et fréquentielle, théoriquement et expérimentalement. Les possibilités offertes par l'approche fréquentielle sont présentées ainsi que les difficultés spécifiques qu'elle occasionne.

Die optische Reflektometrie eignet sich zur Charakterisierung von Glasfasern für die Telekommunikation. Sie wird zum Nachweisen und Lokalisieren von Leitungsfehlern sowie zur Bestimmung von deren Amplitude verwendet. Sie bietet auch zahlreiche Möglichkeiten im Bereich der faseroptischen Sensoren, speziell bei Sensorsystemen. Diese Möglichkeiten können nur voll ausgeschöpft werden, wenn der Effekt der Rückstreuung in der Faser auch im Frequenzbereich beschrieben wird, da dieser sich zur Beurteilung der Systeme besser eignet. Der Aufsatz vergleicht die Darstellung im Zeitbereich mit derjenigen im Frequenzbereich, dies allgemein und anhand von Beispielen, theoretisch und experimentell. Die Untersuchungsmöglichkeiten im Frequenzbereich, aber auch dessen spezifische Schwierigkeiten werden beschrieben.

Adresses des auteurs

O. Parriaux, L. Falco, F. Cochet, J.P. Jeanneret, Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM), Recherche et développement, Maladière 71, 2000 Neuchâtel.
M. *H. Lemaire* était stagiaire de diplôme d'ingénieur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, ENSIEG.

1. Introduction

La réflectométrie optique est une technique essentielle [1] pour le contrôle des lignes à fibres optiques. Elle présente l'avantage de détecter des fautes et de les localiser en ne nécessitant l'accès qu'à une extrémité de la ligne. Sous certaines conditions [2] elle peut également constituer une mesure de l'effet de ces défauts sur l'intensité lumineuse. Cette technique est déjà largement utilisée et de nombreux appareils sont proposés sur le marché pour les fibres monomodes et multimodes.

Le matériel existant, comme d'ailleurs la quasi-totalité de la littérature scientifique à ce sujet, utilisent la réflectométrie dans le domaine temporel où, comme illustré en figure 1, la rétrodiffusion par les micro-inhomogénéités distribuées le long de la ligne et les réflexions localisées donnent d'une impulsion d'entrée une image décalée et étendue dans le domaine temporel: il s'agit de la réponse impulsionnelle de la fibre en réflexion. Il y a plusieurs raisons au choix de la représentation temporelle. Tout d'abord elle est beaucoup plus parlante (du moins pour ce que l'on y cherche usuellement) du fait de la relation linéaire entre décalage temporel et position de la réflexion élémentaire le long de la ligne. Ensuite, les lasers utilisés il y a quelques années se prêtent mieux à une modulation en impulsion qu'en sinus avec balayage de fréquence, et la modulation en impulsion des lasers à semiconducteur, qui sont de plus en plus utilisés en réflectométrie reste facile à exécuter. Enfin, la réflectométrie dans le domaine temporel, OTDR (Optical Time Domain Reflectometry), présente sur la réflectométrie dans le domaine fréquentiel, OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry), l'avantage que cette dernière nécessite, pour une interprétation temporelle, un passage par transformée de Fourier numérique.

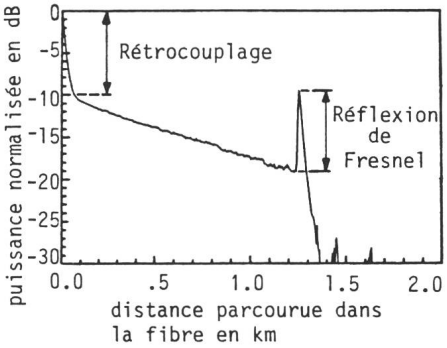

Fig. 1 OTDR expérimentale d'une fibre homogène multimode
Echelle logarithmique
Fibre multimode de 1245 m de long

Des progrès considérables ont été effectués ces dernières années en OTDR, par l'amélioration au niveau de la détection [3] ou par l'utilisation de techniques hétérodynes [4], qui permettent d'atteindre à 1,3 μm de longueur d'onde des longueurs de test de 50 km de fibres monomodes, soit avec une dynamique de 24 dB.

L'OFDR n'a donc pas retenu beaucoup d'attention par le passé, mais revient rapidement à l'ordre du jour surtout grâce aux possibilités offertes dans le domaine des capteurs à fibres optiques au moyen de techniques empruntées au domaine des radars [5]. Dans son principe, tous les points de rétrodiffusion et de réflexion contribuent à chaque instant au signal rétrodiffusé, le signal d'entrée étant modulé sinusoïdalement en amplitude à une fréquence donnée. Un balayage en fréquence à partir du continu permet d'obtenir la fonction de transfert de la fibre en réflexion. Cette approche présente de nombreux avantages, en plus de sa facilité de mise en œuvre:

- Les sources à semiconducteur se laissent facilement moduler sinusoïdalement sur un large domaine de fréquences.

- La détection de phase précise est plus facile à réaliser qu'une mesure temporelle à haute résolution.
- Cette approche permet d'observer la fibre à travers une fenêtre de fréquences choisie.
- Le passage au domaine temporel peut maintenant se faire facilement grâce à la disponibilité sur le marché de microprocesseurs FFT (Fast Fourier Transform) spécialisés.

Ainsi l'OFDR offre un outil, dont le développement ne fait que débuter, qui présentera une grande souplesse d'utilisation, spécialement bien adapté aux capteurs à fibres optiques [6] par ses possibilités de multiplexage spatial et d'interrogation sélective. L'objet de cette présentation est d'établir le lien formel entre les représentations temporelle et fréquentielle de la réflectométrie optique, d'illustrer et de discuter la dualité des représentations sur des artefacts typiques du milieu de transmission qu'est une fibre optique (pertes en lignes, pertes semi-locales, réflexions locales), et de confirmer expérimentalement les caractéristiques respectives attendues.

Cette étude a été effectuée lors d'un stage de diplôme d'Ingénieur en Génie Physique de l'ENSIEG, Institut National Polytechnique de Grenoble, dans le cadre d'une coopération interrégionale Grenoble–Neuchâtel soutenue en Suisse par la Fondation Suisse pour la Recherche en Microtechnique (FSRM).

2. Réflectométrie optique

Lorsqu'un signal lumineux est injecté dans une fibre optique, chaque micro-irrégularité du cœur de la fibre va rétrodiffuser une partie de l'énergie reçue. Ces irrégularités sont de deux types:

- Localisées: réflexions de Fresnel induites par des variations brusques de l'indice (interfaces air-silice dans les connexions, dans les cassures...) et pertes par jonction.
- Réparties: diffusion de Rayleigh. La mesure de cette diffusion permet de déterminer les pertes par absorption provenant des harmoniques supérieurs des vibrations dues aux liaisons Si-O et O-H dans la silice dont les bandes sont situées dans l'infrarouge lointain.

La mesure de cette fraction d'énergie rétrodiffusée permet une représentation des propriétés de la ligne de transmission et de ses imperfections. L'OTDR s'intéresse à la réponse temporelle à une impulsion. La puissance rétrodiffusée par une fibre homogène et isotrope s'écrit [1]:

$$P(t) = \frac{1}{2} P_0 \, S \, \alpha \, v \tau \exp(-2 \alpha v t) \qquad (1)$$

où P_0 et τ sont la puissance et la largeur de l'impulsion, α l'atténuation linéique dépendant de la température et des fluctuations de densité du matériau, v la vitesse de groupe et S la fraction d'énergie rétrodiffusée dans le cône d'acceptance de la fibre:

$$S = \tfrac{1}{4} \cdot ON^2/n^2$$

ON: ouverture numérique de la fibre
n: indice de groupe

Le signal rétrodiffusé sera donc plus important pour les fibres multimodes que pour les fibres monomodes dont l'ouverture numérique est plus faible.

A partir de $P(t)$, on déduit α et on détecte les anomalies intervenant dans la fibre et leur position grâce à la correspondance temps-distance:

$$z = ct/2n$$

L'OFDR s'intéresse à la rétrodiffusion G d'un signal modulé en amplitude, $f(t) = \sin(2\pi \nu t)$, en fonction de sa fréquence ν:

$$G(\nu) = \varrho(\nu) \exp(j\varphi(\nu)) \qquad (2)$$

3. Correspondance entre OTDR et OFDR

La fibre étant considérée comme un système linéaire, aux puissances utilisées de l'ordre du mW, ses propriétés de transmission sont caractérisées par une fonction $H(t)$ appelée réponse impulsionnelle [7] telle que, si $f(t)$ est le signal injecté dans la fibre, le signal rétrodiffusé $g(t)$ s'écrit:

$$g(t) = H(t) * f(t)$$

(*: produit de convolution)

En OTDR: $f(t) = \delta(t)$

donc d'après (1):

$$g(t) = H(t) * \delta(t) = H(t) = P(t)$$

Le signal mesuré en OTDR est donc la réponse impulsionnelle H de la fibre.

En OFDR: $f(t) = \sin(2\pi \nu t)$

et le signal mesuré s'écrit:

$$g(t) = \varrho(\nu) \sin(2\pi \nu t + \varphi(\nu))$$

alors la transformée de Fourier

$$\mathrm{TF}\, g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varrho(\nu) \sin(2\pi \nu t + \varphi(\nu)) \exp(-2\pi j \nu t)\, dt$$

$$= \varrho(\nu) \exp(j\varphi(\nu))$$

D'après (2) $\mathrm{TF}\, g(t) = G(\nu)$

alors $G(\nu) = \mathrm{TF}[H(t) * \sin 2\pi \nu t] = j \cdot \mathrm{TF}\, H(t) = j \cdot h(\nu)$

$h(\nu)$ est appelé fonction de transfert de la fibre. Donc, à un facteur j près, la fonction $G(\nu)$ obtenue en OFDR, est la fonction de transfert h de la fibre. L'équivalence théorique des deux méthodes, OTDR et OFDR, est ainsi assurée par une transformée de Fourier.

En pratique, cette équivalence n'est pas assurée strictement, à cause des problèmes de bruit de détection. L'OTDR et l'OFDR donneraient des résultats identiques si la réponse impulsionnelle résultait d'un moyennage sur une infinité d'acquisitions et si la fonction de transfert était établie à partir d'un filtrage infiniment étroit autour de chaque fréquence de mesure de zéro à l'infini, afin de réduire ce bruit.

Toutefois, la simplicité de réalisation d'un filtrage fin autour des fréquences de mesure en OFDR afin d'augmenter le rapport signal sur bruit, représente un intérêt fondamental pour le domaine fréquentiel par rapport à un moyennage long et coûteux en OTDR.

De plus, la résolution spatiale obtenue en OTDR

$$\Delta L = c\tau/2n$$

est limitée par la difficulté pratique de réaliser des largeurs d'impulsions faibles (10 m pour 100 ns) et par le temps de réponse de l'électronique de détection qui induit un recouvrement des signaux rétrodiffusés par des défauts réfléchissants et proches les uns des autres. Alors qu'en OFDR, la résolution spatiale

$$\Delta L = c/2n \cdot 1/\nu_{max}$$

analogue au principe d'incertitude d'Heisenberg, où ν_{max} est le maximum du balayage en fréquence, d'une part

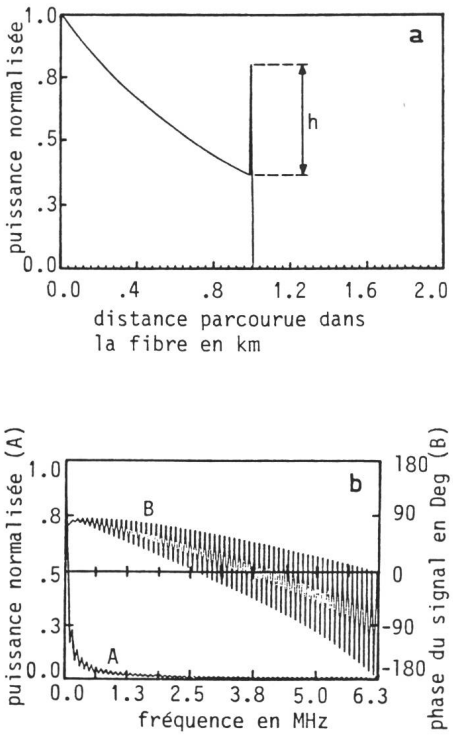

Fig. 2 Fibre homogène avec une réflexion à son extrémité

a Réponse impulsionnelle théorique (OTDR)
b Fonction de transfert théorique (OFDR) obtenue par Fast Fourier Transform de a

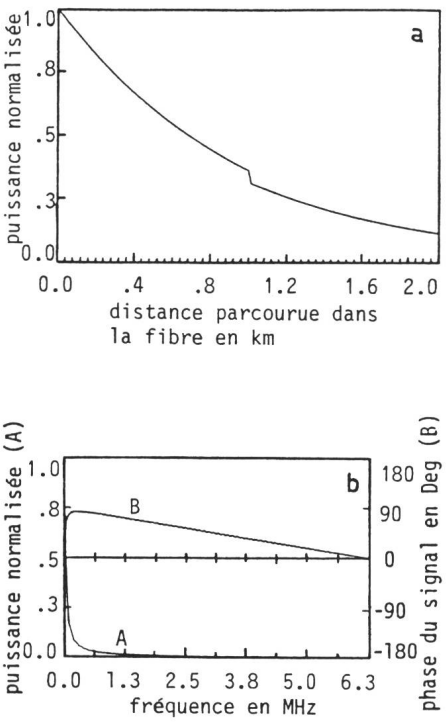

Fig. 3 Fibre homogène ayant une atténuation semi-locale

a Réponse impulsionnelle théorique
b Fonction de transfert théorique

peut être de quelques cm pour des fréquences allant jusqu'au GHz et d'autre part n'est pas affectée par le temps de réponse du détecteur qui reçoit un signal uniforme, ce qui représente un avantage essentiel pour les applications capteurs.

4. Artefacts typiques

Atténuation simple: La figure 2a représente la réponse impulsionnelle théorique d'une fibre de 2,3 dB/km d'atténuation, longue de 1 km. Le pic à l'extrémité de la courbe provient de la réflexion au bout de la fibre. Son amplitude permet d'accéder au cœfficient de réflexion à l'extrémité libre de la ligne:

$$R = \frac{1}{2} S \alpha v \tau h$$

La transposition dans le domaine fréquentiel, figure 2b, de la réponse impulsionnelle par FFT, conduit à la fonction de transfert de la fibre.

Atténuation semi-locale: Les figures 3a et 3b représentent respectivement la réponse impulsionnelle et la fonction de transfert d'une fibre de 2,3 dB/km et ayant à 1 km une atténuation sur 10 m de 12 dB. L'interprétation de ces courbes est plus simple et plus directe dans le domaine temporel (2a et 3a) que dans le domaine fréquentiel (2b et 3b). Aussi, l'acquisition de la fonction de transfert en OFDR est suivie d'une transformée de Fourier inverse pour restituer la réponse impulsionnelle de la fibre et interpréter les résultats dans le domaine temporel.

5. Choix des paramètres en OFTR

L'OFDR permet, à partir des fréquences utilisées, de choisir le type d'informations désiré sur la fibre: les informations concernant les défauts répartis correspondent aux basses fréquences et les défauts localisés aux hautes fréquences.

Les figures 4 et 5 restituent, par Fast Inverse Fourier Transform, la réponse impulsionnelle des deux exemples précédents, à partir de leur fonction de transfert à basse et à haute fréquence. Les variations brusques de la réponse impulsionnelle apparaissent plus clairement sur les figures 4b et 5b alors que l'atténuation répartie n'est mesurable qu'à partir des figures 4a et 5a.

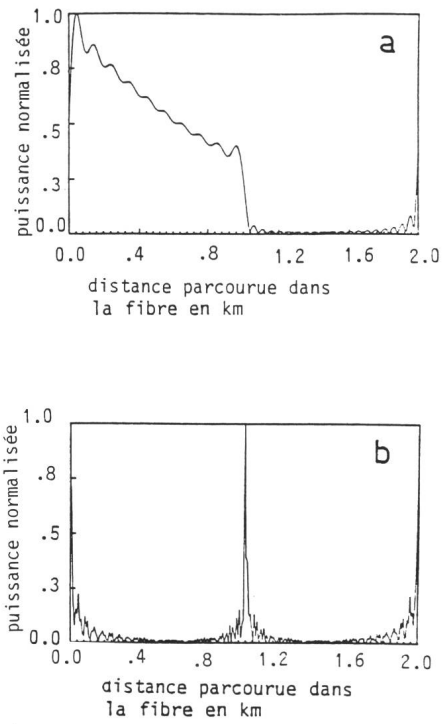

Fig. 4 Restitution de la réponse impulsionnelle à partir de la fonction de transfert théorique (OFDR) de la figure 2b

a Fréquences de 0 à 1 MHz. Ces basses fréquences rendent compte des défauts répartis.
b Fréquences de 1 à 6 MHz. Ces hautes fréquences rendent compte des défauts localisés.

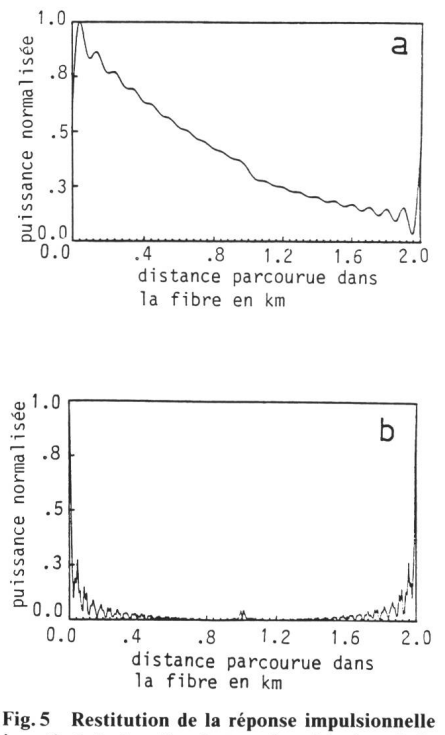

Fig. 5 Restitution de la réponse impulsionnelle à partir de la fonction de transfert théorique de la figure 3b

a Fréquences entre 0 et 1 MHz
b Fréquences entre 1 et 6 MHz

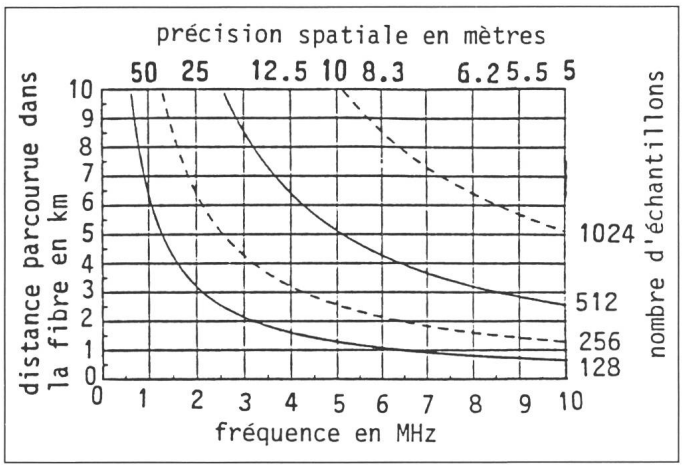

Fig. 6
Correspondance entre les différents paramètres intervenant en OFDR

Les faibles oscillations sur la réponse restituée sont dues à l'échantillonnage et à la troncature de la fonction de transfert, mais leur enveloppe correspond à la réponse théoriquement obtenue à partir de tout le spectre en fréquence et pour une infinité d'échantillons.

Contrairement aux idées établies en réflectométrie dans le domaine fréquentiel [8; 9], l'OFDR permet, comme le montrent les courbes 4a et 5a, de mesurer, à basse fréquence (typiquement du kHz au MHz) les atténuations linéiques dans les fibres optiques.

Si ν_{max} est la fréquence maximale de mesure, N le nombre d'échantillons prélevés sur la fonction de transfert, pour effectuer la FFT, à la fréquence $\Delta\nu = \nu_{max}$, alors le théorème de Shannon donne la distance maximale parcourue dans la fibre et la résolution spatiale:

$$L = \frac{c}{2n}\frac{N}{\nu_{max}} \quad \text{et} \quad \Delta L = \frac{c}{2n}\frac{1}{2\nu_{max}}$$

La figure 6 fournit la correspondance entre ces divers paramètres, et montre qu'il faut choisir un compromis entre le type de défauts recherchés (choix des fréquences de mesure), la résolution spatiale et la longueur de fibre mesurée.

6. Banc de mesures OTDR

La source utilisée est une diode laser émettant à 820 nm des impulsions de 100 ns de large et de 15 mW à la sortie du coupleur 3 dB, soit pour une résolution spatiale de 10 m. Deux types de récepteurs ont été utilisés: un module PIN de bande passante 25 MHz et un module APD de bande passante 10 MHz. Le signal rétrodiffusé est digitalisé par un oscilloscope numérique 12 bits puis moyenné, afin de réduire le bruit de détection de 3 dB électriques par puissance de 2 du nombre d'acquisitions, et traité par micro-ordinateur (fig. 7).

La réponse impulsionnelle d'une fibre multimode de 1245 m de long (fig. 1), obtenue en utilisant le montage PIN et avec un moyennage de 100 acquisitions, fait apparaître le rétro-couplage, de 37 dB au dessous de la puissance injectée, à 10 dB au-dessus du signal rétrodiffusé par le début de la fibre. Ce rétro-couplage éblouit le système de détection et son temps de relaxation masque les informations provenant des premiers 100 m de fibre. Afin d'obtenir ces informations il faudrait occulter le détecteur pendant la durée du rétro-couplage, soit quelques centaines de ns, ce qui pose des problèmes d'électronique à ces fréquences. La dynamique de 15 dB au-dessous du rétro-couplage, pour un moyennage de 100 acquisitions, permet de mesurer des atténuations de 3,6 dB/km sur 2 km avec une précision de 0,1 db/km.

Le montage APD, de plus faible bruit que le montage PIN utilisé, a permis, avec une dynamique de 35 dB, de caractériser une fibre constituée de trois tronçons de 2 km et de mettre en évidence l'effet d'atténuation locale d'un capteur à micro-courbures incorporé à la ligne.

7. Banc de mesures OFDR

La source utilisée est une diode laser injectant en sortie du coupleur une puissance optique de 350 µW continue et modulée en amplitude par un générateur de fréquences 5 kHz à 1 GHz. Le module de détection est identique au détacteur PIN utilisé en OTDR. Un micro-ordinateur exécute la FFT de la fonction de transfert mesurée à l'aide d'un voltmètre vectoriel (fig. 8).

Défauts localisés: Une première série de mesures a été faite de 1 MHz à 2,56 MHz, sur 256 échantillons, soit pour une longueur de fibre mesurable de 5 km et avec une précision spatiale

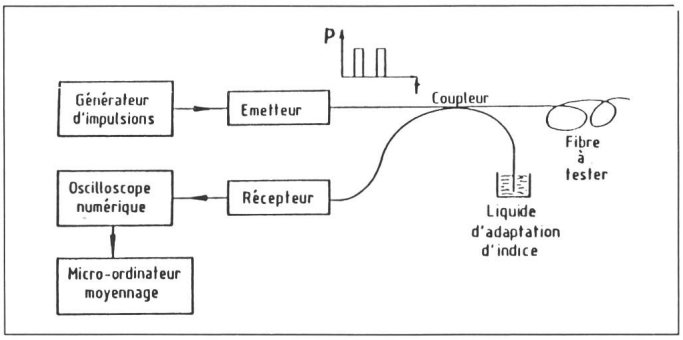

Fig. 7
Schéma du principe de mesure en OTDR

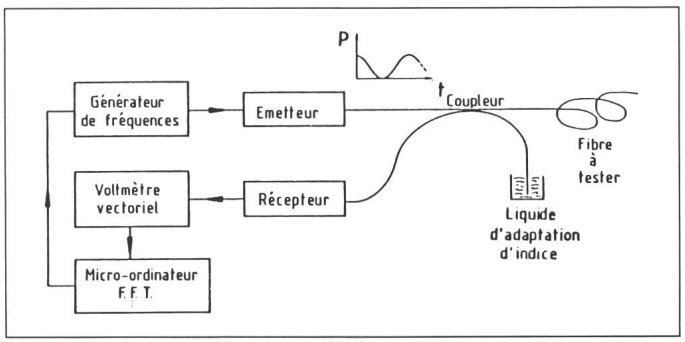

Fig. 8
Schéma du principe de mesure en OFDR

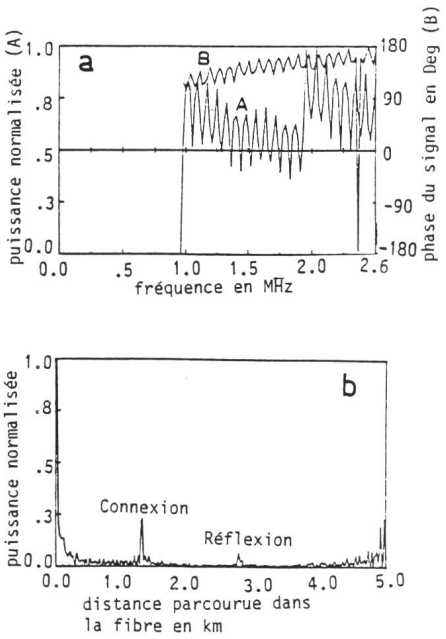

Fig. 9 Deux tronçons de fibre désalignés

a Fonction de transfert expérimentale à partir de 1 MHz

b Restitution de la réponse impulsionnelle. La mesure OFDR à haute fréquence fait apparaître le désalignement et la réflexion en bout de fibre.

de 20 m, afin de détecter des défauts localisés. Les figures 9a et 10a représentent l'amplitude et la phase de la fonction de transfert de deux fibres, respectivement de 1245 m et 1500 m de long, alignées sans liquide d'adaptation d'indice à leur raccordement (fig. 9a) et avec liquide d'adaptation d'indice (fig. 10a) et dans les deux cas un miroir placé en bout des 2745 m afin de mieux visualiser la fin de ligne. Les figures 9b et 10b sont les réponses impulsionnelles déduites de ces courbes. On vérifie ainsi que les défauts localisés (connexion et miroir) apparaissent nettement alors que les atténuations dans les fibres ne sont pas mesurables.

Dans le cas où il n'y a pas d'adaptation d'indice, la connexion apparaît distinctement à 1245 m de l'entrée de la fibre (fig. 9b), alors que lorsqu'il y a adaptation, la connexion est pratiquement parfaite et disparaît sur la réponse impulsionnelle (fig. 10b).

L'acquisition à partir de 1 MHz permet donc de détecter des défauts localisés, leur position, avec une précision spatiale de 20 m pour ν_{max} = 2,56 MHz (cf. fig. 6).

Défauts répartis: Une deuxième série d'acquisitions a été faite à partir de 5 et 10 kHz pour mesurer l'atténuation ou les défauts répartis dans les fibres. La figure 11 correspond à la représentation logarithmique de la réponse impulsionnelle restituée à partir de la fonction de transfert d'une fibre de 1245 m, de 10 kHz à 5,12 MHz sur 1024 échantillons, la résolution spatiale est de 10 m et la longueur mesurable de 10 km. L'atténuation mesurée est de 3 dB/km à 0,1 dB près.

La représentation logarithmique de la réponse impulsionnelle de la fibre comportant trois tronçons de 2 km et d'atténuation linéique 2,5 dB/km (fig. 12) obtenue à partir de la mesure de la fonction de transfert de 5 kHz à 2,56 MHz sur 1024 échantillons permet d'une part de retrouver cette valeur de l'atténuation et d'autre part d'évaluer la dynamique du montage à 20 dB.

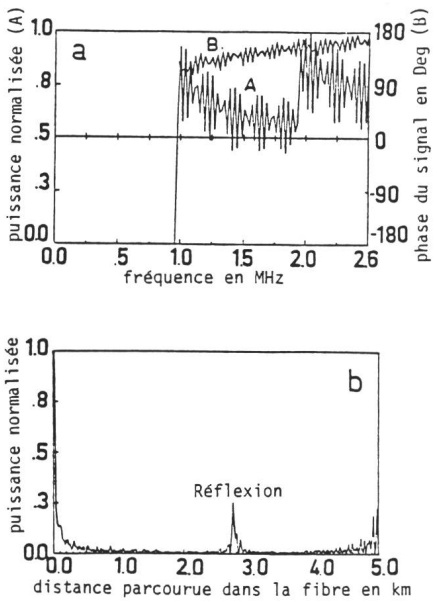

Fig. 10 Deux tronçons de fibre alignés et adaptés

a Fonction de transfert expérimentale à partir de 1 MHz

b Restitution de la réponse impulsionnelle. La connexion entre les deux tronçons a disparu.

8. Sources d'erreurs en OFDR

Les erreurs commises sur la restitution de la réponse impulsionnelle, outre les erreurs dues à l'échantillonnage dont il a déjà été question, proviennent de deux causes principales: d'une part les erreurs commises sur la mesure de l'amplitude des petits signaux à haute fréquence perturbée par le bruit de fond du système et d'autre part l'impossibilité de mesurer les valeurs DC de la fonction de transfert dans l'état actuel de l'électronique du montage, ne permettant pas de connaître la position du zéro de la réponse impulsionnelle. Or si Log(exp-ax) est une droite, Log(exp-$ax + k$) n'est plus une droite. On commet donc une erreur sur la pente de la partie «linéaire» de la représentation logarithmique de la réponse impulsionnelle, d'autant plus grande que x est élevé. Il faut noter que la difficulté relative à l'estimation de la composante DC est facilement contournable pratiquement si l'on considère que le DC peut être défini comme la composante de basse fréquence pour laquelle toutes les rétrodiffusions élémentaires produites par tous les points de la ligne, y compris le dernier, sont pratiquement en phase, c'est-à-dire à quelques degrés près. Cette fréquence «quasi-DC» est donc inversement proportionnelle à la longueur de la ligne à caractériser et se trouve être, pour toutes les longueurs de ligne inférieures à 10 km, de l'ordre de 100 Hz.

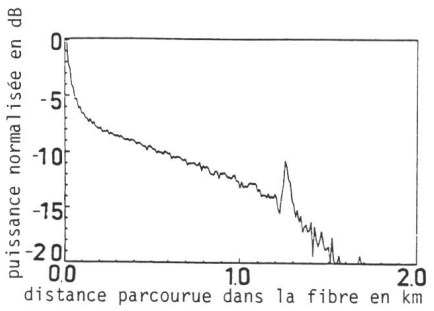

Fig. 11 Réponse impulsionnelle restituée à partir de la fonction de transfert d'une fibre mesurée de 10 kHz à 5,12 MHz

9. Conclusion

Comme il vient d'être démontré, l'OTDR et l'OFDR fournissent une

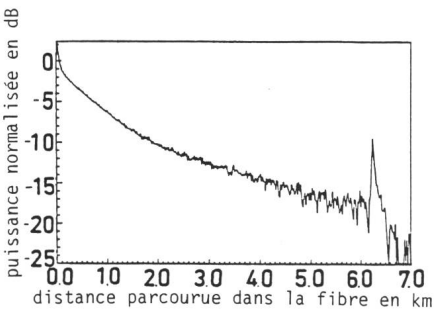

Fig. 12 Réponse impulsionnelle restituée à partir de la fonction de transfert d'une fibre mesurée de 5 kHz à 2,56 MHz

même représentation des propriétés de transmission dans les fibres optiques.

L'OTDR étudiée sur des fibres multimodes avec des impulsions de 100 ns de large et une puissance de 15 mW injectée, a permis de mesurer des atténuations à 0,1 dB/km près avec une dynamique de 15 dB et de caractériser les réflexions et les pertes intervenant dans les lignes. La longueur de fibre mesurée pourrait être améliorée en augmentant la dynamique du montage, c'est-à-dire en choisissant des diodes laser puissantes de quelques centaines de mW. Cette méthode est toutefois limitée en résolution spatiale, typiquement 1 m, par la difficulté pratique d'obtenir des impulsions larges de moins de 10 ns et de réaliser une électronique rapide de détection. Grâce à sa possibilité de mesurer des tronçons de plusieurs dizaines de km, l'OTDR semble parfaitement adaptée aux applications Télécom qui n'exigent pas de hautes résolutions spatiales pour la caractérisation des pertes en lignes.

L'OFDR, expérimentée avec une diode laser injectant un signal de 350 μW optique et modulée sinusoidalement en amplitude de 5 kHz à 5 MHz, a permis, à basse fréquence, de retrouver les résultats obtenus dans le domaine temporel et à hautes fréquences de détecter et de localiser des pertes ponctuelles ou semi-ponctuelles dans les lignes. L'utilisation plus simple de l'OFDR et surtout la possibilité qu'elle offre d'obtenir des résolutions fines de quelques cm à hautes fréquences, de l'ordre du GHz, lui confèrent un atout particulièrement adapté aux exigences imposées par les capteurs à fibres optiques.

Bibliographie

[1] *L. d'Auria* e. a.: Caractérisation de fibres optiques par rétrodiffusion. Revue Technique Thomson-CSF 14(1984)4, p. 943...989.

[2] *M.P. Gold* and *A.H. Hartog:* Determination of structural parameter variations in single-mode optical fibres by time-domain reflectometry. Electronics Letters 18(1982)12, p. 489...490.

[3] *M.P. Gold* and *A.H. Hartog:* A practical high performance single-mode OTDR system for the long-wavelength region. 9th European Conference on Optical Communication (ECOC), Geneva, 23...26 October 1983; p. 181...183.

[4] *S. Wright* a. o.: Practical coherent OTDR at 1,3 μm. Second International Conference on Optical Fiber Sensor (OFS-84), Stuttgart, 6...7 September 1984; p. 347...350.

[5] *D.E.N. Davis* a. o.: Displacement sensor using a compensated fibre link. Second International Conference on Optical Fiber Sensor (OFS-84), Stuttgart, 6...7 September, 1984; p. 387...400.

[6] *P. Sixt* a. o.: General self-referencing single-fiber head for intensity modulated sensors. 10th European Conference on Optical Communication (ECOC), Venise, 1...4 October 1985; p. 797...800.

[7] *J. Max:* Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. Tome I: Principes généraux et méthodes classiques. Troisième édition. Paris, Masson, 1981.

[8] *R.I. MacDonald:* Frequency domain optical reflectometer. Applied Optics 20(1981)10, p. 1840...1844.

[9] *M. Shadaram:* Optical frequency domain reflectometry. Dissertation of the University of Oklahoma, Normann/Oklahoma, 1984.