

Décembre 2022

DOSSIER TECHNIQUE FIBRE OPTIQUE FICHE N° 6

Caractérisation par réflectomètre optique Principes et bonnes pratiques

Cette note technique décrit la caractérisation des liens à fibres optiques par réflectométrie optique dans le domaine temporel en abordant son principe, sa mise en œuvre, l'interprétation des résultats ainsi que les bonnes pratiques.

1. Les réflectomètres, des outils de mesure incontournables

Les Réflectomètres Optiques dans le Domaine Temporel (RODT), ou Optical Time-Domain Reflectometer (OTDR) en anglais, sont largement utilisés dans l'industrie des télécommunications à câbles optiques. Ils constituent un outil de terrain essentiel pour : la **caractérisation**, la **certification**, la **maintenance**, la **surveillance** et le **dépannage** des **réseaux optiques**. Ils permettent de caractériser la longueur, l'affaiblissement, la perte en retour (réflectance globale ou ORL pour Optical Return Loss) d'un lien.

Ils sont particulièrement utiles pour :

- ✓ Analyser les événements ponctuels présents le long d'une liaison : points de raccordement (épissures), endommagement du câble (via un défaut de continuité) ;
- ✓ Identifier des sections sous contrainte ;
- ✓ Déterminer des longueurs de liens ou des atténuations linéiques de fibres.

2. Principe de fonctionnement d'un réflectomètre optique

- Un principe de mesure qui exploite le phénomène de la diffusion optique

En présence d'inhomogénéités dans le verre (par exemple fluctuations de l'indice de réfraction ou changements de composition chimique du verre) une infime fraction de la lumière se propageant dans la fibre diffuse dans de multiples directions.

Pour une fibre optique, la diffusion est majoritairement due à la diffusion Rayleigh. Une infime fraction de l'onde lumineuse incidente est diffusée et renvoyée (rétrodiffusée) dans la direction inverse d'où elle provient pour être récupérée au port d'injection du réflectomètre. La magnitude de cette rétrodiffusion est quantifiée par le coefficient de rétrodiffusion dont la valeur est propre à chaque type de fibre et fabricant.

- La collecte des mesures

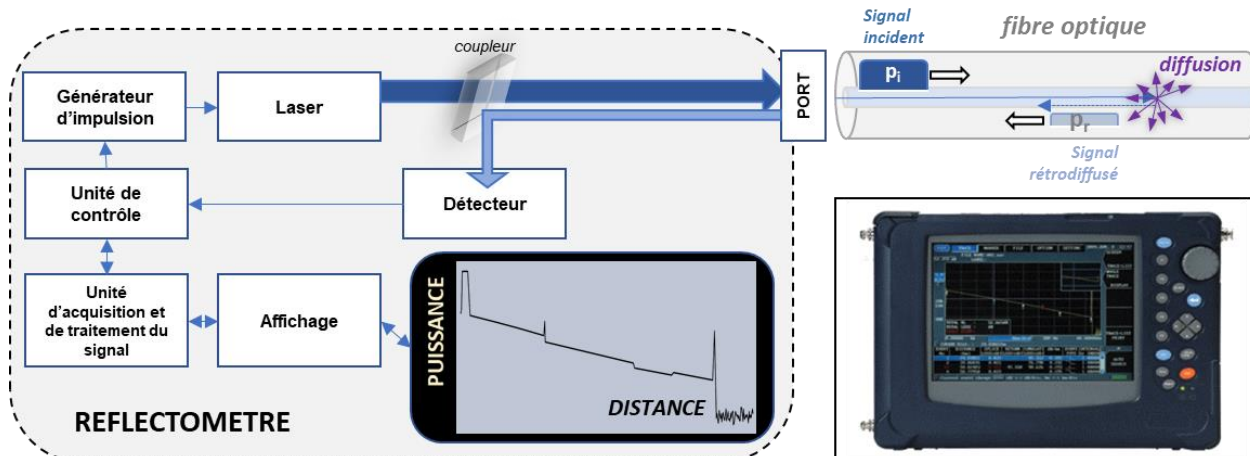


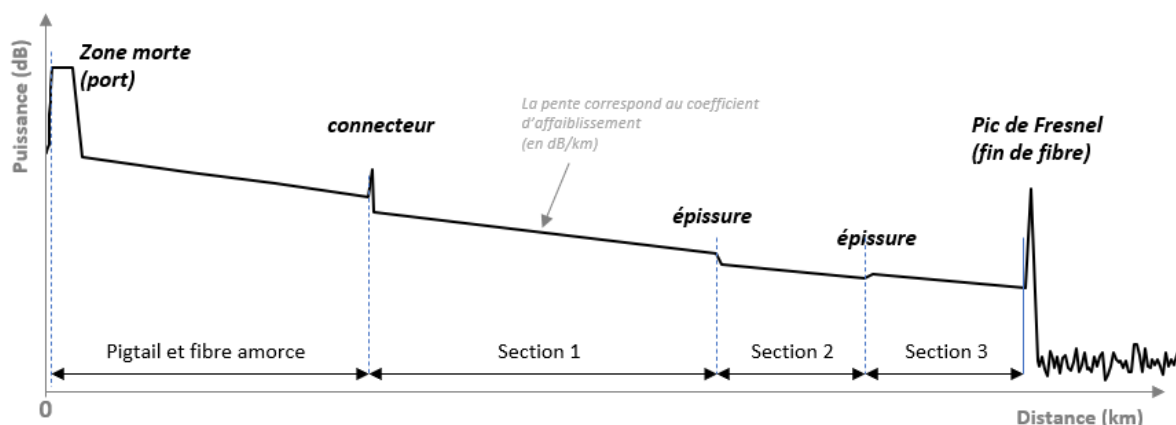
Figure 1 : Schéma d'un réflectomètre optique dans le domaine temporel et exemple d'instrument (encadré)

La figure 1 décrit la mise en œuvre de ce principe au sein de l'instrument.

- Une courte impulsion lumineuse (p_i) générée par un laser est injectée à une extrémité de la fibre sous test. Au fur et à mesure que l'impulsion se propage le long de la fibre, une partie de la lumière est absorbée par le matériau et également atténuée à des positions discrètes (épissures, connecteurs, contraintes, courbure ...).
- Une partie de la lumière va être également rétrodiffusée (p_r) tout le long de la fibre et renvoyée en direction du réflectomètre.
- Le réflectomètre acquiert les puissances rétrodiffusées à partir de l'instant d'émission, convertit les écarts de temps en position (la vitesse de propagation dans la fibre étant connue) pour afficher la puissance rétrodiffusée en fonction de la position le long de la fibre. Cette information se matérialise sur l'écran de l'équipement par une trace représentant la puissance optique en fonction de la distance à partir de la position du port d'injection.

La trace obtenue est extrêmement riche en informations et peut être manuellement analysée ou automatiquement exploitée par l'instrument. Les événements ponctuels (connecteur, épissures, contraintes locales, fin de fibre...) et leurs natures (réflectifs, atténuants) sont détectés, analysés et catalogués pour être ensuite comparés aux seuils de réussite et d'échec associés. L'ensemble des traces et des analyses peut être ensuite exporté pour la préparation du dossier de la recette.

Figure 2 : Exemple de trace obtenue par l'instrument, pour un lien composé de trois sections de fibres optique. Le coefficient d'affaiblissement linéique de la fibre sur une section donnée est facilement évalué par la pente de la trace sur la section.



L'emploi de différentes longueurs d'onde (1 310 nm, 1 550 nm, et 1 625 nm) permet d'expertiser plus finement le lien afin de détecter notamment les problèmes de pertes excessives liées aux courbures ou aux pincements – l'affaiblissement augmentant plus fortement aux plus grandes longueurs d'onde en présence de contraintes.

Les principaux paramètres et caractéristiques techniques pour une mesure sur un réflectomètre optique

1. La largeur temporelle de l'impulsion optique

La largeur temporelle de l'impulsion optique - ou largeur spatiale de l'impulsion (i.e. 10 ns correspond à 1 m dans les fibres unimodales) - est définie par la durée d'émission du laser.

- Plus l'impulsion est courte, moins elle transporte d'énergie et plus la distance maximale atteignable sera raccourcie, la puissance du signal rétrodiffusé en fin de lien étant trop faible pour qu'il puisse être détecté.
- Au contraire, une impulsion plus longue transportera beaucoup plus d'énergie et permettra une utilisation sur de grandes longueurs (≥ 80 km).
- La largeur d'impulsion définit également la résolution, ou la capacité à distinguer deux évènements consécutifs proches. Plus la largeur est petite, plus la résolution sera améliorée.

2. La plage dynamique de l'équipement

La plage dynamique de l'équipement est définie par l'affaiblissement maximal qui peut être accepté par l'équipement. Il s'agit aussi de la longueur maximale de fibre que peut atteindre l'impulsion la plus longue disponible.

- Plus la plage dynamique est grande (en dB), plus la distance atteignable est longue. La présence de connecteurs, d'épissures ou de splitters réduit en pratique cette longueur maximale théorique.
- La plage dynamique d'un OTDR pour fibres unimodales varie de l'ordre de 25 à 40 dB.

3. Le temps d'acquisition ou temps de moyennage

Le moyennage temporel permet de diminuer le niveau de bruit et consiste à acquérir des milliers de traces individuelles et à les moyennner.

- Un temps de moyennage long améliorera le rapport signal sur bruit, ce qui permettra au technicien d'analyse d'obtenir une trace plus détaillée avec des événements plus clairement définis.

4. La zone morte d'atténuation

La zone morte d'atténuation est la distance sur laquelle le signal OTDR normal est déformé car le récepteur de l'OTDR reçoit momentanément une trop grande quantité de puissance (saturation temporaire du récepteur).

5. La zone morte d'évènement

La zone morte d'évènement est la distance minimale après un événement présentant une réflexion pour laquelle le réflectomètre peut évaluer avec précision les caractéristiques individuelles de deux événements réfléchitifs consécutifs.

- Plus cette zone morte est réduite, plus il sera possible de distinguer deux événements très proches. La longueur de la zone morte est liée à la largeur d'impulsion.

- **Le réglage des paramètres**

Le réglage de ces différents paramètres doit faire l'objet d'un compromis entre la résolution et la plage dynamique à garantir. Il dépend aussi du type de réseau à caractériser (longueur totale, densité des dispositifs optiques). Une largeur d'impulsion plus grande permettra d'augmenter la portée de mesure et/ou d'accommoder des liens avec des équipements à pertes plus importantes, mais aura pour conséquence une résolution dégradée et des zones mortes plus larges.

Le tableau ci-dessous résume ces interactions.

	Interaction entre les paramètres	Largeur d'impulsion augmentée ↗	Largeur d'impulsion diminuée ↘
Implications	Résolution	↘	↗
	Longueur de fibre mesurable	↗	↘
	Zone morte	↗	↘
	Plage dynamique	↗	↘

Depuis une décennie, le développement de nouvelles fonctionnalités d'analyse et de tests dits « intelligents » a simplifié l'acquisition et le traitement des mesures. Les réflectomètres peuvent désormais effectuer automatiquement la reconnaissance du lien et des éléments présents, définir les conditions d'acquisition optimales (longueurs d'onde et durée d'impulsions), consolidant les résultats obtenus pour chaque section de la liaison optique et élément présent, permettant ainsi une décision plus fiable sur la réussite/échec de chaque paramètre.

3. Précautions d'emploi, mise en œuvre d'une mesure

Une bonne maîtrise de l'équipement et de l'interprétation des résultats est nécessaire pour correctement analyser et évaluer la pertinence des résultats. Des guides de bonnes pratiques édités par l'Arcep [1], ainsi que des normes françaises sont disponibles pour décrire l'ensemble des procédures de test [2-3] pour les mesures en réflectométrie optique.

Pour les réseaux de communication du secteur résidentiel, les recettes d'installation sont disponibles dans les normes XP C15-960 [4] et XP C90-486 [5].

- Technique de mesure bidirectionnelle

La méthode de référence pour caractériser l'atténuation d'une liaison par réflectométrie consiste à considérer la moyenne des deux traces OTDR obtenues à chacune des extrémités du lien (i.e. mesure bidirectionnelle).

La Figure 3 illustre cette mise en œuvre pour une liaison reliant deux sites A et B : une première mesure (dite unidirectionnelle) est effectuée à partir du site A puis une seconde à partir du site B. Les résultats obtenus pour chacune des deux mesures sont ensuite moyennés.

En pratique, une bobine amorce est insérée entre le réflectomètre et le réseau à mesurer afin de s'affranchir de la zone morte en sortie du réflectomètre et permettre la caractérisation du premier connecteur du lien.

- La longueur de la bobine doit être suffisante et adaptée à la largeur d'impulsion utilisée : 1 000 m est une longueur régulièrement utilisée pour un réseau FttH. De manière analogue, l'ajout d'une bobine de réception à l'extrémité du lien permet de mesurer le dernier connecteur du lien en déportant la réflexion de Fresnel à l'extrémité de cette bobine.

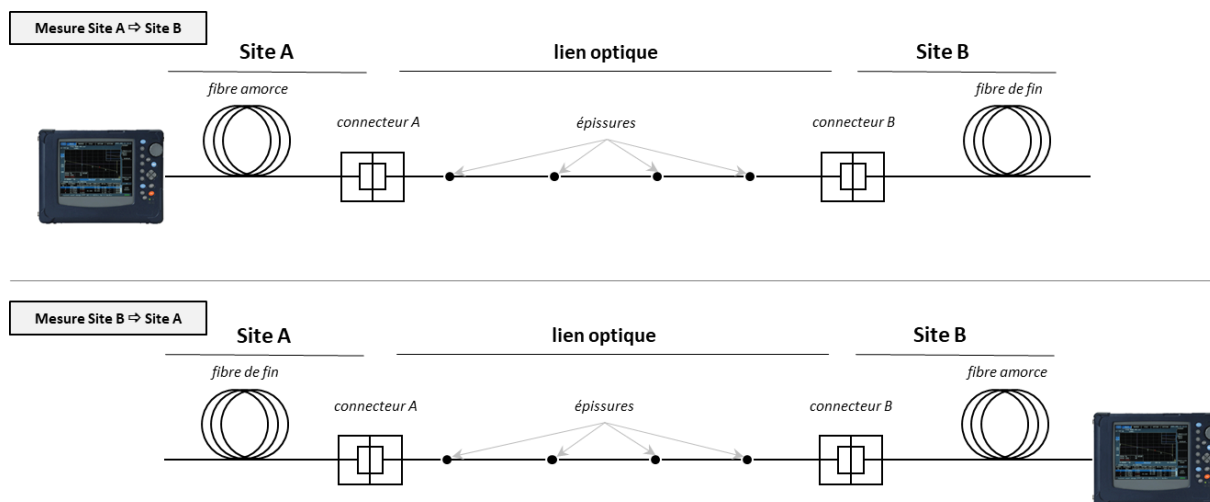


Figure 3 : Illustration de la mise en œuvre d'une mesure bidirectionnelle par l'acquisition de deux mesures unidirectionnelles à chacune des extrémités de la liaison.

Une autre technique dite de bouclage consiste à mesurer deux fibres simultanément en branchant une fibre sur l'autre, à l'aide d'une bobine intermédiaire. Ceci permet de réduire le nombre de mesures et le besoin de déplacer l'équipement d'un bout à l'autre de la liaison.

- Pour des longueurs de liens comprises entre 2 et 10 km, la largeur d'impulsion recommandée est entre 20 et 100 ns.
- Dans le cas d'un bouclage, la largeur d'impulsion est inférieure à 300 ns.

4. Interprétation des résultats : pertes et gains apparents

Dans les segments de distribution optiques des réseaux FttH, il peut être difficile et coûteux d'effectuer de telles mesures bidirectionnelles. L'exploitation d'une seule trace unidirectionnelle reste envisageable pour évaluer rapidement la continuité optique et estimer les coefficients d'atténuation, mais la fiabilité dans l'analyse des événements peut être affectée par plusieurs phénomènes : notamment la présence de fibres de différents types et/ou la différence entre les coefficients de rétrodiffusion des fibres raccordées. **Il est important de noter qu'un OTDR mesure les pertes apparentes d'un événement indirectement en rapportant les variations de puissance du signal rétrodiffusé et suppose implicitement que les coefficients de rétrodiffusion des fibres en amont et en aval de l'évènement sont identiques.**

Si tel n'est pas le cas, la mesure peut être imprécise. En effet, si les fibres présentent des diamètres de champ de mode différents, deux types de discontinuités peuvent être visibles à la position de l'épissure :

- Soit le diamètre de mode dans la fibre en aval est plus petit, soit il est plus grand que la fibre en amont, et donc soit une discontinuité à front montant (ou gain apparent) peut être rapportée, soit une discontinuité à front descendant (ou perte apparente). **Cet effet est illustré sur les figures 4a et 4b.** Cela est dû au fait que le coefficient de rétrodiffusion varie en fonction du diamètre de mode ; la rétrodiffusion augmente quand le diamètre de mode diminue [6].

Selon le sens de la mesure, la perte apparente estimée par l'instrument sera soit un gain soit une perte. Pour s'affranchir de cet artefact, il suffit de considérer la valeur moyenne des pertes d'épissure observée dans les deux sens de mesure. Bien que ces différences de coefficient de rétrodiffusion ne provoquent pas toujours un gain sur la trace OTDR, elles peuvent toujours provoquer une lecture erronée de la perte d'épissure même si la lecture est une perte.

Selon les écarts entre les diamètres de modes, la contribution maximale (cf. figure 4c) liée à la différence des coefficients de rétrodiffusion est de :

- ± 0.2 dB pour des fibres de même type (même valeur nominale de diamètre et tolérance de $\pm 0.4 \mu\text{m}$)
- jusqu'à ± 0.3 dB pour des valeurs nominales de diamètres de mode (8.8 et 9.0 μm et tolérance de $\pm 0.4 \mu\text{m}$)
- Les pertes d'épissure réelles attendues sont ≤ 0.1 dB.

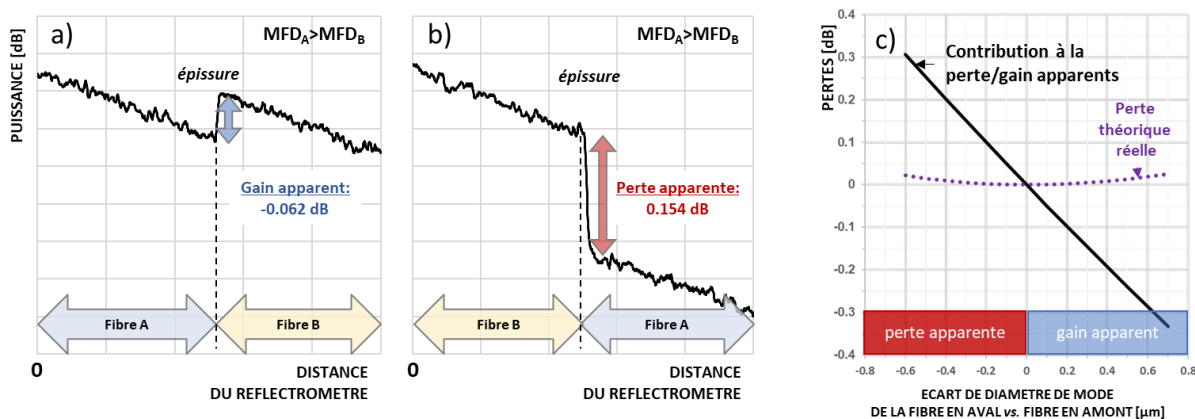


Figure 4 : Exemple d'une épissure entre deux fibres A et B, ayant des écarts de diamètres de modes de $0.2 \mu\text{m}$ ($MFD_A > MFD_B$) :

- Direction de mesure A \rightarrow B : gain apparent de -0.062 dB,
- Direction de mesure B \rightarrow A : perte apparente de 0.154 dB. La perte moyenne est $\frac{1}{2} \cdot (-0.062 + 0.154) = 0.046$ dB pour une contribution de ± 0.108 dB liée aux différences de diamètres de modes pour une mesure unidirectionnelle.
- Contribution apparente liée aux différences de diamètres de modes pour une mesure d'épissure unidirectionnelle.

5. Bonnes pratiques

- **Recommandations de mise en œuvre des mesures de réflectométrie optique pour les réseaux d'accès**

Il est recommandé d'effectuer des mesures bidirectionnelles à 1 310 nm et 1 550 nm.

Néanmoins sur le segment optique de distribution une simple mesure unidirectionnelle (à 1 550 nm) est souvent réalisée pour réduire le temps et le coût de mesure. Cela ne peut se faire que **si les fibres optiques sont toutes du même type (i.e. G.657.A2)**.

En cas de doute sur une perte due à un évènement, lors d'une expertise, seules des mesures dans les 2 sens et une moyenne de ces mesures permettent de déterminer la perte réelle et de caractériser un éventuel problème.

La qualité de la préparation et la bonne maintenance des équipements sont des éléments essentiels pour garantir la qualité des mesures :

- Il convient que toutes les mesures soient effectuées avec des appareils possédant un certificat de calibration valide. La conformité du matériel utilisé est obligatoire pour éviter tout risque de détérioration du réseau et de ses équipements.
- La propreté des connecteurs est un paramètre essentiel pour éviter toute détérioration du réseau et pour garantir la qualité des mesures. Une grande majorité des problèmes sur une liaison optique est due à la propreté des connecteurs.

Enfin, l'utilisation d'un réflectomètre optique nécessite une formation préalable tant au niveau du fonctionnement que de l'interprétation des résultats. De telles formations sont proposées par les centres de formation et certains vendeurs d'équipements.

Références

- [1] 'Grands dossiers/Réseau fixes : la fibre'. Site internet de l'Arcep ([lien](#))
- [2] Norme NF EN61280-4-2 : Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-2 : Installations câblées – Mesure de l'affaiblissement de réflexion optique et de l'affaiblissement des fibres unimodales ([lien](#)).
- [3] Norme NF EN 60793-1-40 Fibres optiques – Partie 1-40 : méthodes de mesure et procédures d'essai – Affaiblissement ([lien](#)).
- [4] Norme XP C15-960, Contrôle des installations des réseaux de communication du secteur résidentiel ([lien](#)), mars 2017.
- [5] Norme XP C90-486, Les colonnes de communication (réseau d'accès au logement ou au local à usage professionnel) ([lien](#)), octobre 2018.
- [6] IEC Technical Report TR 62316:2017: Guidance for the interpretation of OTDR backscattering traces for single-mode fibres. ([lien](#)).

Pour en savoir plus

Consultez les [fiches du dossier technique fibre optique du SYCABEL](#)

- [Fibre optique : structures et caractéristiques](#)
- [A propos de la normalisation des fibres optiques](#)
- [Fibres optiques G.657.A2 et G.652.D : les principaux types de fibre utilisés dans les réseaux de télécommunication en France](#)
- [Fibres optiques en câbles : Performances et pérennité – Sanctions d'atténuation de fibres en câbles](#)
- [Fibres optiques en câbles : Performances et pérennité – Exemples de produits non conformes](#)

✓ [Rendez-vous sur \[sycabel.com\]\(http://sycabel.com\) : \[doc techniques\]\(#\)](#)