TREND NETWORKS

Certifications fibre optique de Niveau 1 et de Niveau 2

Dan Payerle
Janvier, 2017

Contrairement aux câblages en cuivre où un seul niveau de certification est défini par des normes, la certification du câblage fibre optique comprend deux niveaux.

Ceux-ci définissent quelles sont les mesures à réaliser et déterminent ainsi l'équipement de test qu'il convient alors d'utiliser. En raison de la distinction entre ces deux méthodes, nous désignerons les testeurs concernés par certificateurs de Niveau 1 ou de Niveau 2.

La certification de Niveau 1 mesure la perte d'insertion totale du lien (auparavant appelée atténuation), à partir des deux extrémités : c'est une photométrie. Les équipements utilisés pour effectuer cette certification de Niveau 1 sont : un puissance mètre optique (nommé en anglais PM) d'un côté et une source lumineuse (LS) de l'autre - ou un kit combiné de photométrie désigné par l'acronyme OLTS (kit de mesure d'atténuation optique). Les PM/LS diffèrent légèrement des OLTS (voir plus loin dans ce document) mais l'un comme l'autre fournissent la même information concernant l'atténuation totale d'un système de câblage. En résumé, nous utiliserons le terme « OLTS » pour désigner aussi bien les instruments OLTS que les ensembles PM/SL.

La certification de Niveau 2 requiert en premier lieu cette même photométrie et en complément la valeur de perte pour chaque évènement du lien testé. Elle se réalise avec un OTDR (réflectomètre optique temporel) en plus donc d'un kit de photométrie. Ce test offre l'avantage principal de pouvoir localiser en distance, et quantifier en dB, les pertes de tous les évènements rencontrés sur le câblage, tels les connecteurs, soudures, contraintes et tronçons de fibre, à l'aide d'une représentation cartographique. En testant des liens neufs, les rapports présenteront une cartographie détaillée - qu'il sera ensuite possible d'utiliser comme point de comparaison lors de futures campagnes de tests préventives; l'objectif étant de détecter les éventuels changements survenus sur ces fibres. L'OTDR est l'outil de dépannage ultime car il affiche précisément l'emplacement du ou des défaut(s) et détecte automatiquement sa nature, accélérant ainsi le processus de réparation.

Niveau 1 ou Niveau 2...

Les questions les plus posées concernant ces types de certification sont les suivantes : quels tests doivent alors être lancés ? Et, la certification de Niveau 2 répond-elle aux exigences de celle du Niveau 1 ?

La méthode de test sera définie par accord technique entre l'installateur et le client final. Néanmoins, lorsqu'une certification est requise, il est recommandé d'effectuer systématiquement un test de Niveau 1 et éventuellement en par la suite un test de Niveau 2. Ce dernier vient compléter le premier, il ne la remplace en aucun cas. Cet aspect peut sembler un peu flou car un OTDR mesure, en plus des pertes de chaque composant du lien, l'atténuation totale du lien, comme un OLTS le fait aussi mais avec une autre méthode. Il est alors légitime de se demander si la mesure d'insertion réalisée en réflectométrie avec le Niveau 2 ne satisferait pas les exigences du Niveau 1.

Le fait est qu'il existe une nuance subtile entre le résultat de l'atténuation totale du lien mesuré par un OLTS et celle donnée par un OTDR. Un OLTS mesure l'atténuation optique réelle du lien, à partir d'un boitier de test à chaque extrémité. Il compare l'amplitude (la luminosité) de la lumière sortant de la fibre à celle injectée à l'autre extrémité. Un OTDR, lui, calcule l'atténuation optique totale, à partir d'un boitier unique positionné d'un seul côté. Il mesure la quantité de lumière revenant vers l'OTDR. Cette dernière est soustraite de la lumière injectée dans la fibre pour calculer l'atténuation du lien. Même si ces deux appareils fournissent des résultats voisins lorsqu'ils testent le même câble, l'OLTS reste toujours le moyen le plus précis pour déterminer l'atténuation d'un bout à l'autre d'une fibre. C'est d'autant plus vrai lorsque l'on pense aux applicatifs exploités ensuite. Il est par exemple nécessaire de faire preuve d'une extrême précision lorsque l'on utilise des fibres optiques multimodes pour les hauts débits comme le 100GBASE-SR10 où le seuil maximum d'atténuation totale ce sera que de 1,5 dB !

Détails sur la certification de Niveau 1

Elle nécessite une source et un puissance mètre optiques (ou photomètre) pour mesurer l'atténuation totale, ou perte d'insertion, ou mesure de photométrie - du lien testé. Le mesureur de puissance, ou photomètre, fournira alors une valeur en dB qui correspondra à la perte totale cumulant celles de tous les « évènements » du câblage. Les jarretières optiques qui s'interfacent aux deux extrémités sur les deux testeurs sont mesurées à part avant la certification et leurs effets sont soustraits de la mesure de perte du lien effectif (comme une certification cuivre en Permanent Link). Les évènements évoqués sont : les tronçons de fibre, les connecteurs (on dit un connecteur pour un couple en fait, avec un raccord entre les deux), les épissures, les répartiteurs, les contraintes marquées et les coupures - ils sont atténuants ou réflectifs ou les deux.

Le Niveau 1 est un moyen simple et précis pour déterminer si la fibre testée pourra supporter telle ou telle application future. La mesure de l'atténuation se compare ensuite à un gabarit lié à une application, et établira un résultat sous forme « passe » ou « échec ». En reprenant l'exemple précédent de l'Ethernet 100GBASE-SR10 qui autorise 1,5dB comme seuil maximal, toute mesure de perte totale supérieure à cette valeur sera définie comme étant en défaut. En revanche si l'atténuation mesurée atteint 1,50 dB ou moins, le test sera réussi. Ce test rapide et simple présente des résultats bons ou mauvais ; c'est la méthode la plus utilisée pour certifier les câblages fibre optique.

Pour lancer une certification de Niveau 1, la ou les jarretière(s) de test utilisée(s) par les PM/SL, sont d'abord caractérisées (ou étalonnées, ou calibrées) afin que leurs pertes ne soient pas ajoutées à celles du lien futur à tester. Il existe différentes méthodes pour réaliser cette calibration terrain : avec 1, 2 ou 3 cordons de test - à choisir selon plusieurs facteurs dont la nature des PM/SL utilisés pour le test. Dans ce document, la méthode d'étalonnage avec une seule jarretière aussi appelé "méthode avec 1 jarretière » sera utilisée car elle est recommandée par les organismes de normalisation ANSI/TIA et ISO/IEC.

Procédure

1. La source lumineuse et le puissance mètre sont raccordés via la jarretière de référence (ou de test), qui sera utilisée ensuite pour se connecter au câblage à tester.

Image 1 : Photomètre et Source : calibrage avec 1 jarretière de référence.

2. Le photomètre (PM) mesure l'intensité de lumière arrivant sur sa cellule de détection, en unité dBm (décibel-miliwatt), qui sera la valeur de référence : le « zéro » de la calibration. Dans cet exemple, le testeur affiche « -10,00 dBm » de puissance à la sortie du cordon de référence : c'est une valeur absolue de puissance.

Remarque : lors des mesures de puissances optiques, 0 dBm correspond à 1 mW (milliwatts) de puissance. Un chiffre dBm en négatif représente un niveau de puissance inférieur à 1 mW et un chiffre dBm en positif équivaut à un niveau de puissance supérieur à 1 mW. Attention donc, une valeur dBm négative n'est pas une perte ou une puissance negative

3. Le cordon de référence reste branché à la source et est débranché du photomètre – puis connecté à une extrémité du lien à tester. Une autre jarretière aux performances élevées s'interface à l'autre extrémité du lien et sur le photomètre. Remarque : ne débranchez jamais, après calibration le cordon de test affecté à la source.

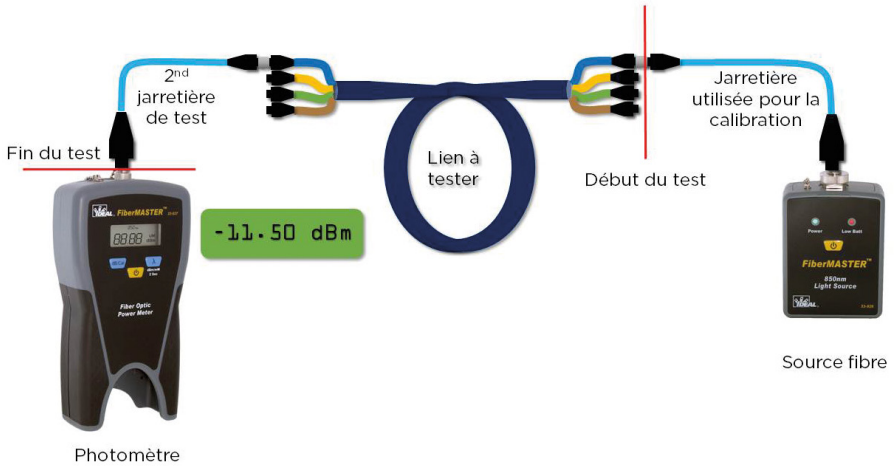


Image 2: Tests de la fibre 1 du lien optique - Lecture du niveau de puissance après avoir raccordé la liaison à tester et la 2ime jarretière de mesure

4. Le puissancemètre mesure la puissance optique reçue et la soustrait à la valeur de référence pour calculer l'atténuation en dB (décibels) : c'est une valeur relative de puissance.

$$Puissance\ de\ référence\ (en\ dBm - Puissance\ mesurée\ sur\ le\ lien\ testé\ (en\ dBm) \quad = \ Atténuation\ (en\ dB)$$

$$(-10{,}00dBm) - \ (-11{,}50dBm) = \ +1{,}50dB$$

La puissance de référence était de -10,00 dBm ; la puissance mesurée sur le lien testé est de -11,50 dBm. Par conséquent, la perte totale du lien est de 1,50 dB.

Remarque : attention le résultat d'une perte optique est un chiffre positif. Les puissancemètres affichent généralement une valeur positive pour l'atténuation, mais certains pourront afficher un signe « - ». Pensez à vérifier la méthode exploitée par le vôtre, car il est possible d'obtenir parfois un chiffre négatif indiquant une erreur de configuration.

La plupart de ces appareils stocke la valeur de référence et permettent à l'opérateur de lire directement ensuite l'atténuation du lien en dB. Grâce à cette fonctionnalité, l'opérateur appuie sur le bouton calibrage/mode/référence (en fonction du testeur utilisé) pour mémoriser cette valeur de référence en dBm et changer l'affichage pour y lire ensuite : 0,00 dB (aucune perte, donc tout est prêt alors pour tester une liaison). A partir de ce moment-là, tout lien testé verra son atténuation directement affichée sur le photomètre. Ainsi, l'opérateur n'aura plus besoin de se souvenir de la valeur de référence et d'y soustraire la valeur du test.
Lors de l'utilisation de ce mode de référence, le puissance mètre affichera les informations suivantes :

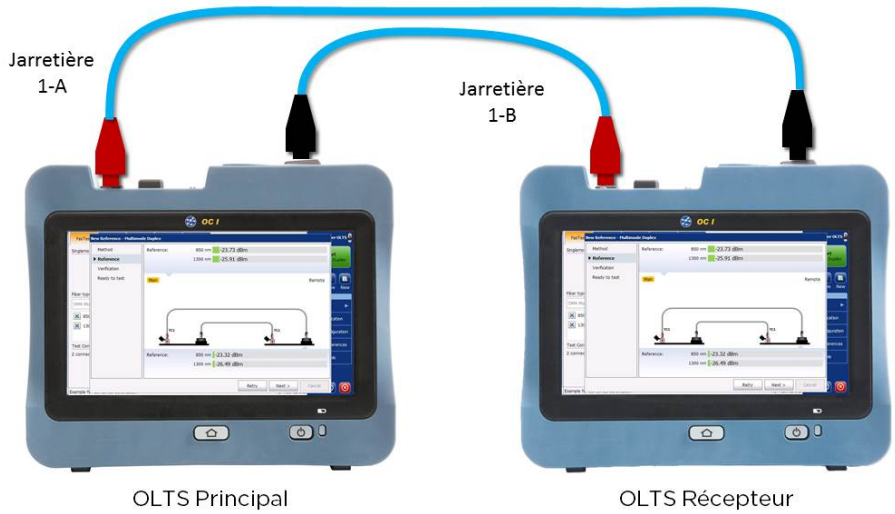


Image 3: Affichage lors de l'utilisation de la fonction référence/calibrage.

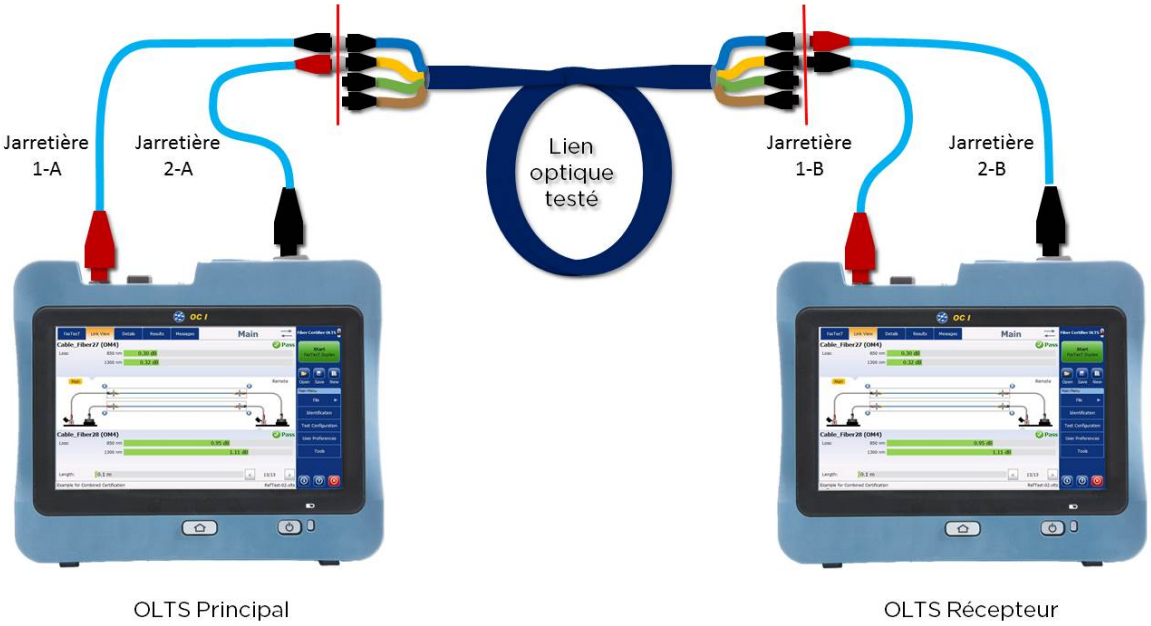


Image 4: Lecture du niveau de puissance après avoir raccordé le lien à tester et la 2ime jarretière de mesure

Après l'étape d'étalonnage terrain, l'OLTS est raccordé sur deux fibres du lien à tester. Le protocole automatisé de tests peut être ensuite configuré sur une ou deux longueurs d'onde et dans une ou dans les deux directions. Pour obtenir des mesures précises il faut utiliser des jarretières de références de haute qualité. Celles-ci grâce à leurs connecteurs de très bonne facture (aux faces plus polies que celles des jarretières classiques) induisent une moindre perte sur les liens mesurés.

Tester aux deux longueurs d'onde différentes, même lorsque cela n'est pas demandé, est un avantage car cela permet en autre de détecter la cause des pannes à partir de des atténuations fortes sur des courtes distances (moins de 500m) communes en réseaux locaux LAN ou des Data Centers. La perte est plus importante quand la longue d'onde est plus courte donc par exemple la fibre multimode a une atténuation d'environ 3 dB/km à 850 nm et 1,5 dB/km à 1300 nm. De fait la perte du lien multimode devrait être légèrement plus forte à 850 nm qu'à 1300 nm. Par contre peu importe la longueur d'onde, la perte au niveau d'un connecteur et d'une épissure reste la même. Donc, s'il y a des différentes entre les longueurs d'onde, elles viendront forcément de la nature de la fibre elle-même.

Une perte plus élevée à une longueur d'onde longue (1300nm par rapport à 850nm) indiquera que le problème vient du câblage. La macrocourbure reste la cause la plus probable : c'est une petite contrainte mécanique sur le câble optique. La perte induite par ces courbures excessives est inversement proportionnelle à la longueur d'onde, contrairement à l'atténuation linéique classique des fibres. Une macrocourbure présentera donc une perte plus forte à 1300nm qu'à 850nm en multimode et de la même manière en monomode plus forte à 1550nm qu'à 1310nm. Si un test échoue, le technicien pourra identifier les causes.

- Un échec global du bilan photométrique avec une atténuation trop forte, sur les deux longueurs d'ondes, est généralement causé par un connecteur ou une épissure
- Un échec avec une perte plus élevée à la longueur d'onde la plus courte (850 par rapport à 1300nm), peut s'expliquer par le fait que le câblage est trop long
- Un échec avec une perte plus élevée à la longueur d'onde la plus haute longue (1300 par rapport à 850nm), peut être causée par une macrocourbure dans le câblage.

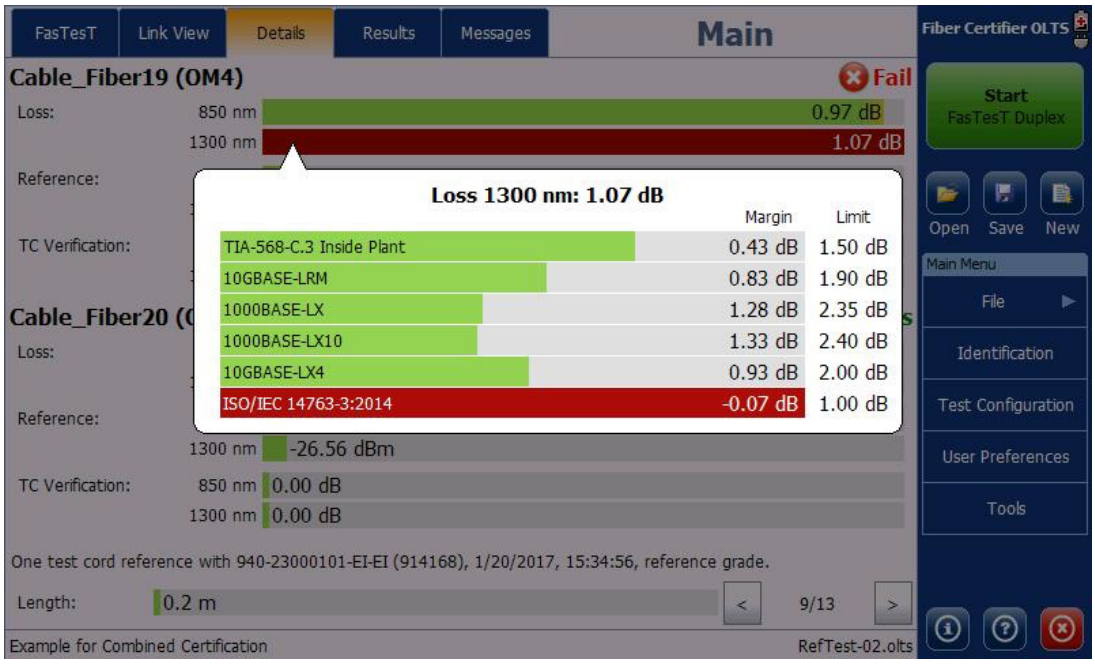


Image 5 : Le test est en « échec » à 1300 nm, mais en « passe » à 850 nm

Dans l'image 5, pour tous les tests standards sélectionnés, tous réussissent à avoir un résultat positif sauf un. Au-dessus de la fenêtre centrale en sur brillante, on peut lire l'atténuation à chaque longueur d'onde : 0,97 dB à 850nm et 1,07 dB à 1300nm. La perte plus importante à 1300 montre que l'échec est dû à une

macrocourbure. Alors qu'un OLTS permettra de déterminer la nature générale d'un souci, il ne pourra pas localiser où se situe le problème. Pour ce faire, un OTDR sera indispensable : il déterminera l'emplacement exact des macrocourbures et des connecteurs et épissures défectueux.

Le test OLTS est la méthode que l'on privilégie pour tester l'atténuation principalement parce que ce test fournit une *mesure directe* très précise de la perte dans le câblage testé. Dans la suite de ce document, nous allons parler de la réflectométrie donnant une atténuation qui n'est pas directement calculée par l'OTDR, ce qui entraîne d'éventuelles différences dans les mesures entre ces deux outils de test. La photométrie OLTS reste donc la méthode de mesure de pertes la plus précise même si un tel kit coûte souvent moins cher qu'un OTDR.

La méthode de test d'atténuation via OLTS est privilégiée principalement parce que ce test fournit une *mesure directe* très précise de la perte dans le câblage. Dans la suite de ce document, nous allons parler de la réflectométrie donnant une atténuation qui n'est *pas directement calculée* par l'OTDR, ce qui entraîne d'éventuelles différences dans les mesures entre ces deux outils de test. La photométrie OLTS reste donc la méthode de mesure de pertes la plus précise même si parfois de tels kits coutent moins cher qu'un OTDR.

Détails sur la certification de Niveau 2

Avant toute chose, veuillez noter que la certification de Niveau 2 ne remplace pas la certification de niveau 1. La certification de Niveau 2 requiert celle de Niveau 1 plus des mesures complémentaires de réflectométrie.

Un OTDR (réflectomètre optique temporel) s'utilise pour le Niveau 2 afin de caractériser la fibre testée en détectant chacun de ses composants. Il va créer une représentation visuelle indiquant au technicien quel est le rôle de chaque élément dans l'atténuation totale du lien ; c'est l'outil de dépannage parfait. Auparavant, dans les réseaux locaux, les OTDR étaient utilisés uniquement pour le dépannage en raison de leur coût et de leur prise en main complexe. Aujourd'hui, comme ils sont faciles à utiliser avec des tarifs plus bas, ils deviennent aussi des outils dédiés aux validations d'installations neuves.

En certifiant un lien neuf avec un OTDR, la cartographie obtenue présente l'emplacement et les pertes de chaque élément installé. Si un problème survient des mois ou années plus tard, un nouveau test OTDR pourra alors être comparé avec l'original afin de détecter immédiatement ce qui a changé dans le câblage et l'emplacement des problèmes potentiels.

Avant d'utiliser un OTDR, il faut comprendre son principe de fonctionnement : il localise et détermine des évènements d'atténuation non-réfléchissants et des évènements réfléchissants.

Les évènements d'atténuation possèdent uniquement de la perte sans aucune lumière réfléchie vers l'OTDR ; ce sont les soudures (ou épissures) réalisées par des soudeuses ou réparations mécaniques, des macro courbures en monomode, et l'atténuation linéique de la fibre par elle-même.

Les évènements réfléchissants induisent une perte et de la lumière réfléchie vers l'OTDR ; il s'agit de connecteurs, de cassures et de l'extrémité du lien.

Fonctionnement de l'OTDR

Un OTDR, appareil constitué d'un seul boitier qui travaille en émission/réception sur une fibre unique, envoi une impulsion lumineuse dans le lien et en fonction du temps de retour il analyse le câblage complet.

La lumière revient donc via le principe de rétrodiffusion - rebonds du signal dus aux particules naturellement existantes dans le cœur en verre de la fibre - et les connexions. Une partie de cette lumière est redirigée vers l'interface de l'OTDR puis mesurée. En utilisant l'intensité de la rétrodiffusion et le temps aller/retour du pulse, l'OTDR calcule la perte à toutes les distances ainsi que celles des connecteurs et soudures et l'atténuation globale de la fibre. Cette méthode correspond à une mesure indirecte de l'atténuation contrairement à celle utilisée par l'OLTS qui consiste à mesurer directement en injectant une quantité de lumière donnée à une extrémité de la fibre et d'en quantifier l'intensité reçue à l'autre bout.

Les connecteurs, les épissures mécaniques ratées, cassures et tous les autres évènements qui induisent une discontinuité dans la fibre créent une réflexion beaucoup plus importante que la rétrodiffusion. Utilisant les mêmes principes qu'avec la rétrodiffusion, l'OTDR peut déterminer alors où se trouvent ces évènements réflectifs avec leurs pertes et leurs intensités de réflexion. Ces dernières sont à réduire au maximum car cette lumière réfléchie n'arrive pas l'autre extrémité du lien et est donc perdue pour la transmission.

Visualiser le fonctionnement de l'OTDR

Les schémas suivants illustrent le fonctionnement de l'OTDR dans une comparaison avec une voiture roulant sur une route brumeuse. Les phares de la voiture représentent la source lumineuse et les yeux du conducteur correspondent au détecteur de l'OTDR. Le brouillard évoque la fibre optique et la rétrodiffusion qui y est associée. Les panneaux représentent les reflets (connecteurs ou épissures

mécaniques). L'épaisseur de la ligne rouge correspond à l'intensité de la lumière.

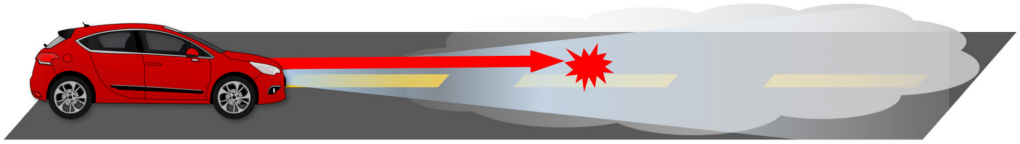


Image 5 : rétrodiffusion émanant du brouillard

Rétrodiffusion

La lumière des phares de la voiture rentre en contact avec les particules d'eau du brouillard, et se disperse dans toutes les directions en créant une lumière aveuglante. Cette lumière dispersée qui revient vers la voiture (source lumineuse) est appelée "rétrodiffusion". Dans cet exemple, l'impulsion lumineuse s'est déplacée de la voiture jusqu'au brouillard. La lumière dispersée est alors perdue et n'atteint pas la fin de la route que le conducteur espère voir. Par conséquent, plus on avance loin sur la route en s'éloignant de la voiture et plus l'intensité des phares diminuera (s'atténuera). La lumière rétrodiffusée des phares retourne elle vers la voiture, le conducteur peut la voir et "distingue" alors le brouillard. En réalité, il ne voit pas vraiment le brouillard mais la lumière rétrodiffusée qu'il interprète comme étant du brouillard. De la même manière, un OTDR "voit" les évènements en utilisant le même principe.

Si on applique ce concept à la fibre optique, le résultat serait le suivant : quand la lumière traverse la fibre, une partie rentrera en collision avec des particules toujours présentes dans le cœur en verre d'une fibre puis sera dispersée. L'OTDR est constamment en train de régler la position de l'impulsion et peut à tout moment mesurer la rétrodiffusion à un endroit spécifique de la fibre. Grâce à cela, l'appareil peut faire la somme des atténuations détectées sur chaque point de la fibre puis calculer la perte totale. En prenant en compte tous ces éléments, on peut donc comparer la méthode indirecte de la certification de Niveau 2 à la méthode directe de la certification de Niveau 1. L'OTDR ne mesure pas directement l'atténuation mais il mesure l'atténuation de la lumière une fois celle-ci dispersée et soustraite de la première impulsion. L'objectif est de pouvoir quantifier l'atténuation quand la lumière arrive à l'autre bout de la fibre mais elle n'est pas mesurée physiquement à cette extrémité. Cette méthode n'est pas parfaite, mais elle donne des résultats assez précis.

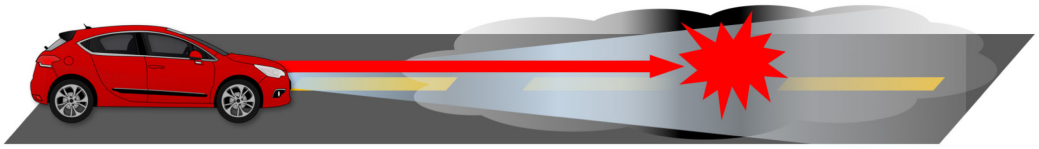


Image 7 : rétrodiffusion venant d'une nappe de brouillard épais

Dans l'image 7, une nappe de brouillard épais augmentera l'effet de dispersion et en conséquence l'augmentation de l'atténuation au niveau d'un point précis. Une épissure dans un câble de fibre optique est un point minuscule induisant une rétrodiffusion accrue (atténuation). Un OTDR peut détecter son emplacement et l'identifier comme étant une épissure. L'opérateur connait alors la distance et l'atténuation de chaque épissure sur le lien.

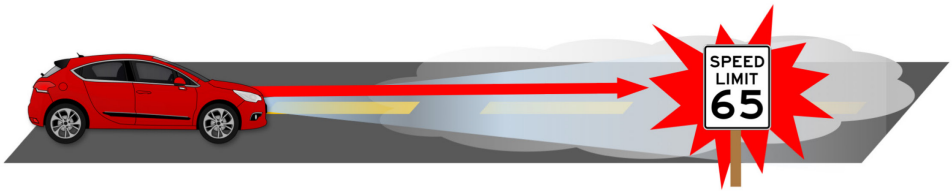


Image 8 : reflet sur un panneau de signalisation

L'image 8 montre la lumière des phares d'une voiture qui entre en contact avec un panneau de signalisation très réfléchissant. Ce dernier reflète beaucoup plus la lumière que le brouillard. Dans une liaison fibrée, les connecteurs, traversées de paroi, et les épissures mécaniques ratées correspondent à ce

panneau de signalisation. L'image ne donne pas la quantité de lumière reflétée depuis un connecteur ou depuis la rétrodiffusion de la fibre optique. En revanche, un OTDR peut mesurer la réflectance qui, généralement, est supérieure à 40 dB par rapport à la rétrodiffusion en multimode par exemple. Cela signifie une chose : un connecteur est 10 000 fois plus réfléchissant que la fibre elle-même !

Traces d'OTDR

Les OTDR représentent leurs résultats de mesures sous forme de graphiques qui sont appelés des traces. Un axe horizontal représente la distance depuis l'appareil et un axe vertical correspondant à l'intensité de la rétrodiffusion et des reflets mesurés, en dB. Avec ces informations le technicien peut savoir précisément où se trouvent chaque évènement et leur atténuation. Contrairement à un kit de photométrie OLTS, un OTDR peut tester chaque composant du câblage pour déterminer s'il répond aux performances et seuils requis. Cette information supplémentaire permet d'identifier la cause exacte d'une atténuation totale trop élevée et de réparer le problème au plus efficacement. En utilisant un OLTS de Niveau 1, l'opérateur saura que le câblage n'a pas passé la certification à cause d'une perte trop importante, mais il ne saura pas d'où vient le souci. Avec l'OTDR il pourra savoir précisément où chercher pour réparer le point de défaillance du câblage.

Un OTDR apporte un autre avantage : il est possible tester le câble à tout moment après l'installation, et la nouvelle trace mesurée peut se superposer à la première réalisée plus tôt afin de comparer les éventuelles variations suite à des accidents, modifications … Ce processus utilisé en maintenance préventive, détecte les éléments critiques du lien qui pourraient se détériorer avec le temps. Par exemple le sol peut avoir bougé sous le câblage directement enterré, ou des épissures mécaniques peuvent simplement commencer à se séparer. Un OTDR est en mesure d'attirer l'attention sur ces problèmes avant qu'ils ne deviennent trop sérieux et qu'ils ne causent une panne complète du réseau

Exemple de traces

Les diagrammes suivants montrent des traces générées par un OTDR pour de nombreux liens fibre optique. Lorsqu'un câble est testé, il faut de l'expérience pour être capable d'interpréter une trace OTDR, de déterminer si elle est « bonne » ou « mauvaise » puis décider d'un résultat passe/échec. Les éléments clés que vous examinerez avec un OTDR sont les suivants :

L'atténuation totale d'une extrémité à l'autre

L'atténuation d'un connecteur ou d'une épissure

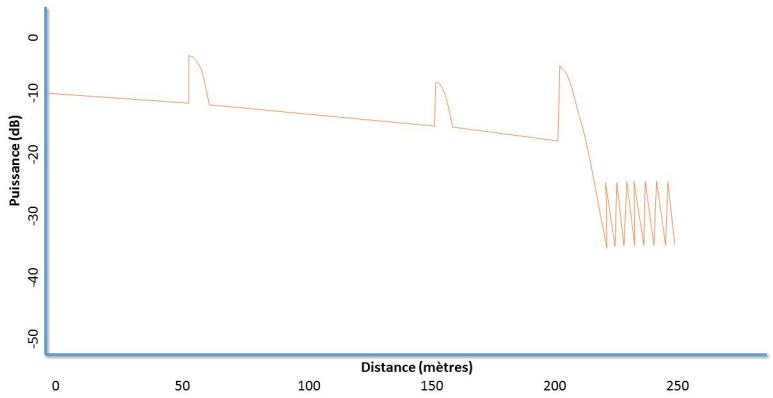
Les macro courbures (les contraintes mécaniques sur le câble optique)

Le niveau de réflexion d'un connecteur

L'atténuation d'un segment de fibre

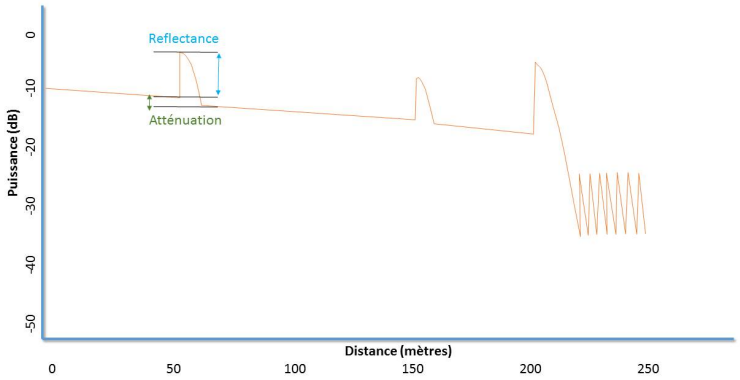
La perte par retour (ORL : Optical Return Loss)

L'atténuation totale d'une extrémité à l'autre s'apparente à la mesure fournie par un OLTS ; elle intègre les pertes de tous les composants : épissures, connecteurs, courbures et d'autres évènements. Contrairement à un OLTS, un OTDR est capable de détecter l'emplacement exact et l'atténuation de chaque évènement pour pouvoir corriger les défauts. Avec un OLTS, l'utilisateur sait qu'il y a une atténuation trop importante. En revanche, l'OTDR donne à l'utilisateur l'emplacement exact de cette perte excessive.



Cette trace représente un pic = un évènement réfléchissant donc un connecteur, situé à 50 mètres de l'OTDR. D'autres connecteurs se trouvent à 150 et 200m. Après 200 mètres, la trace tombe dans le "bruit de fond" indiquant que la fibre optique s'arrête à ce dernier connecteur à 200m.

Les tronçons entre 2 pics représentent des sections de fibres ; la pente descendante indique l'atténuation linéique normale de cette dernière.

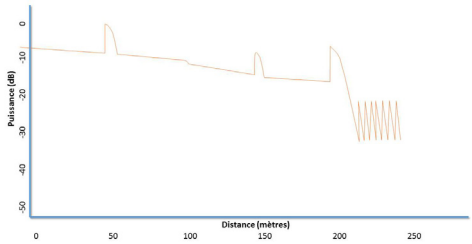


Ici nous regardons comment l'OTDR mesure la réflectance et la perte d'un connecteur.

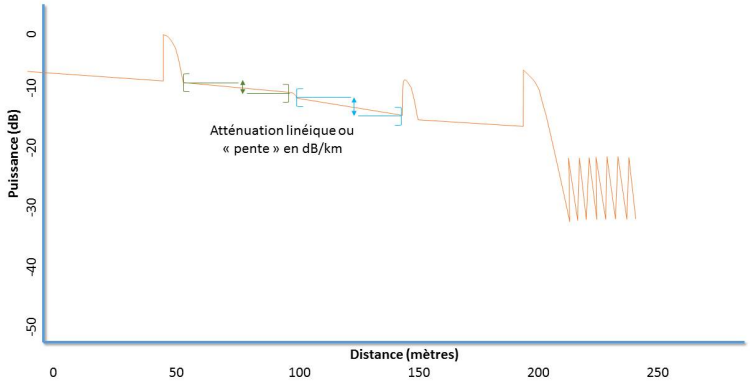
La réflectance est mesurée en bleu entre le bas et le haut du pic, en dB.

La perte se quantifie avec les lignes de calcul vertes, en dB également

Pour déterminer le résultat passe/échec d'un connecteur, ces deux valeurs seront comparées à une norme ou un critère personnalisé.



Le changement de pente de cet exemple avec la baisse au milieu du tronçon correspond à la localisation d'une soudure. Comme avec un connecteur, l'atténuation de l'épissure est mesurée en calculant la différence de puissance avant et après l'épissure. Le résultat ne présente aucun pic car une épissure fusionnée n'a pas de réflectance



L'atténuation de la fibre se mesure en dB/km – se nomme aussi pente ou coefficient d'atténuation. Plus la pente descendante est abrupte, plus l'atténuation de la fibre optique est importante. Dans cet exemple, la partie avec marqueurs bleus comprend beaucoup plus d'atténuation au km que la partie verte. La valeur mesurée sera comparée aux gabarits prérequis du câblage. Un lien qui ne répond pas aux exigences peut avoir été endommagé lors de l'installation ou trop étiré.