

Livre Blanc



Mesures impartiales de performances qualité pour connecteurs à Fibre Optique



Convincing cabling solutions

Mesures impartiales de performances qualité pour connecteurs à Fibre Optique.

CONTENU

1. Introduction	3
2. Exigences pour un connecteur optique.....	4
2.1. Généralités	4
2.2. Les connecteurs optiques standards	4
2.3. Pertes par réflexion	8
2.4. Pertes d'insertion	9
2.5. Pertes extrinsèques	9
2.6. Calcul du rapport des pertes liées aux défauts d'alignement et de concentricité.....	10
2.7. Résumé : réductions de pertes et effets	11
3. Standard et grades de performances	12
3.1. Nouveaux besoins	12
3.2. Valeurs en mode aléatoire de fiche à fiche.....	13
3.3. Valeurs moyennes	13
4. Production	15
4.1. Connecteurs	15
4.2. Assemblage	16
4.2.1. Ajustement / Tuning	16
4.2.2. Interférométrie.....	17
4.2.3. Inspection de surface.....	18
4.3. Perte d'insertion – Insertion Loss IL.....	19
4.4. Mesure des pertes par réfraction	20
5. Conséquences de l'application de ces grades de performances	21
5.1. Mise en place chez R&M	21
5.2. Spécifications fabricant et utilisation sur site	22
6. Questions / Réponses.....	23
7. Sources et informations complémentaires.....	23

© Copyright 2009 Reichle & De-Massari AG (R&M). All rights reserved.

La diffusion et la reproduction de la présente publication ou partie de celle-ci, pour n'importe quel but et sous quelque forme, sont interdites sans approbation écrite de Reichle & De Massari AG.

L'information contenue dans cette publication peut être changée sans préavis. Ce document a été produit avec le plus grand soin possible ; il décrit la situation actuelle à l'heure de la préparation.

Les “Grades” de qualité pour connecteurs à fibre optique offrent plus de sécurité aux utilisateurs

Mondialement, la construction et l’expansion des réseaux à fibre optique de hautes performances sont un enjeu capital. Dans le même temps, l’importance des connexions en tant que composants clés de l’infrastructure passive devient fondamentale. L’utilisation de connecteurs de haute qualité dans tout domaine ; réseaux WAN, métropolitains, campus, épines dorsales, boucles locales, permet d’atteindre un haut niveau de débit et de service. Dans ce contexte, connaître les fondamentaux à propos des « Grades » applicables aux connecteurs à fibre optique est indispensable aux concepteurs prescripteurs et aux installateurs de réseaux. Ce livre blanc fournit les informations à propos des normes actuelles et permettra de définir les produits adaptés aux applications.

Application :	Cablage à fibre optique
Technologie :	Système de connexion
Forma t:	Livre blanc
Thèmes :	Grades de performance selon, l'IEC 61753, pertes d'insertion IL, pertes par réflexion RL, assurance qualité, ajustement, optimisation, mesure des valeurs min./max., de référence et en aléatoire.
Objectif :	Présentation des Grades de performance selon l'IEC 61753, présentation de l'expertise à appliquer à la qualité des raccordements par connecteur optique.
Destinataires :	Architectes, installateurs, exploitants de réseaux, acheteurs, utilisateurs de réseaux à fibres optiques.
Auteur :	Daniel Eigenmann
Publication :	08/2009

1. Introduction

Après une longue période de discussion à propos du pour et du contre du déploiement des réseaux à fibres optiques, le temps est venu de les utiliser massivement en Europe. Les facteurs de ce développement sont l’approche des limites de performances des réseaux cuivre et également la demande sociétale et économique vers l’usage de réseaux IT/TC à très haute vitesse et débit.

Pour de nombreux prescripteurs et installateurs, la technologie de la fibre optique est un monde nouveau. Les dizaines années d’expérience et les habitudes liées aux réseaux « cuivre » ne sont applicables que pour un nombre limité de cas ; organisation des plannings, sélection et mise en œuvre des produits présentent une problématique nouvelle dans bien des cas. En dépit de nombreuses différences entre réseaux cuivre et réseaux à fibres optiques, un paramètre reste commun ; le facteur du respect des performances à long terme et de la fiabilité du réseau en son maillon le plus faible mais aussi le plus sollicité de la chaîne de transmission, à savoir, les points de connexion.

Comme pour les autres points de raccordement et de brassage utilisés en électronique et en télécommunication, la fibre optique est également une source de perte lors de la transmission d’un signal. L’élimination des causes de perte de raccordement, lors du développement, de la production et de la mise en œuvre des connecteurs optiques, est le meilleur moyen de réduire les futures pertes de connexions. Ceci n’est réalisable qu’avec l’expertise donnée par une longue pratique dans le domaine de la transmission optique et la maîtrise de production de haute précision.

L’extrême petitesse du diamètre de cœur des fibres optiques impose la plus grande précision mécanique et optique. Avec des tolérances de 0.5 à 0.10 μm (bien plus petit qu’un grain de poussière), la production travaille aux limites des performances techniques actuelles, imposant des process technologiques de micro systèmes. A ce niveau, il n’y a pas de compromis. Il est recommandé d’éviter les produits à bas coût. Un simple défaut ou une mesure additionnelle sur le terrain justifieront la différence de prix d’un produit de qualité.

2. Exigences pour un connecteur optique

2.1. Généralités

A la différence avec les connecteurs électriques classiques, les fiches optiques ne présentent pas de différenciation mâle/femelle. Une fiche optique contient une férule assurant le raccordement et l'exact positionnement de l'extrémité de la fibre. Elle est raccordée à une seconde fiche via un raccord comportant un manchon d'alignement. Un connecteur est constitué d'un ensemble de deux fiches et d'un raccord. Les deux férules et les extrémités des fibres doivent être ajustées l'une par rapport à l'autre de façon très précise afin de réduire les pertes d'énergie "lumineuse" en insertion et en réflexion. Le facteur déterminant sera la précision géométrique et l'assemblage de la fibre dans la fiche optique.

La petitesse des dimensions, de 8.3µm de diamètre de cœur pour une fibre monomode ou 50 / 62.5 µm pour une fibre multimode et une férule de 2.5mm ou de 1.25mm de diamètre, rendent l'inspection visuelle d'une fiche optique impossible sans équipement spécial. Naturellement, on peut déterminer si la fiche est correctement positionnée et verrouillée sur le raccord. Les autres caractéristiques comme les valeurs intrinsèques, la perte en insertion, la réflexion ou la stabilité mécanique, seront fournies à l'utilisateur par le constructeur.

2.2. Les connecteurs optiques standards

Liste selon IEC 61754-x:

Connecteur ST (aussi nommé BFOC, IEC 61754-2)

Ce connecteur, équipé d'un système de verrouillage à baïonnette, a été le premier connecteur à férule PC (1996). Reconnu aussi pour sa robustesse, on le trouve dans les réseaux LAN. ST (straight type) signifie "Type Droit"



010.1254.2



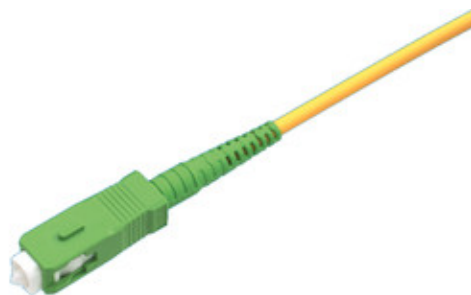
010.0800

DIN/LSA ([en Allemand : connector fibre optique pour câble], version A, IEC 61754-3, DIN 47256)

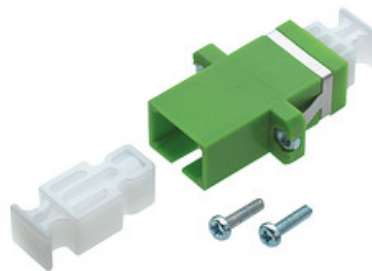
Connecteur compact à vis, surtout reconnu dans la zone d'influence Germanophone.

Connecteur SC (IEC 61751-4)

Ce connecteur au dessin “carré” au système de verrouillage de type “poussé/tiré” est recommandé pour toutes les nouvelles installations (SC signifie Subscriber Connector). Sa conception permet un assemblage dense. Il existe en version simplex, duplex et multiple (jusqu’à huit voies). Egalement un des plus anciens connecteurs, son usage continue de croître en raison de ces excellentes qualités. C’est aujourd’hui le connecteur le plus utilisé dans les réseaux WAN. Sa version duplex est elle surtout utilisée dans les réseaux LAN.



090.2360



090.2724

Connecteur MU (IEC 61754-6)

Premier connecteur SFF (small form factor) apparu sur le marché, il est construit autour d’une fêrle de 1.25 mm et possède l’apparence et les fonctionnalités d’un connecteur SC, tout en étant plus petit de moitié.

MPO (IEC 61754-7)

Le MPO (multi patch push-on) est construit autour d’une fêrle plastique MT d’une capacité de 4 à 72 fibres par connecteur. Dêdiê aux fibres dites «ruban », c’est un connecteur remarquable par son dessin compact et sa facilitê d’utilisation, mais ses performances optiques liêes à la technologie « ruban » sont un inconvêniênt.



090.2998

FC (Fibre Connector, IEC 61753-13)

Robuste et fiable, c’est un connecteur de première génération. Le premier connecteur utilisé par les réseaux WAN est encore en usage par millions aujourd’hui. Son système de verrouillage vissê et une faible densitê d’usage sont des dêsavantages qui l’ont rendu incompatible avec les systêmes de brassage modernes.



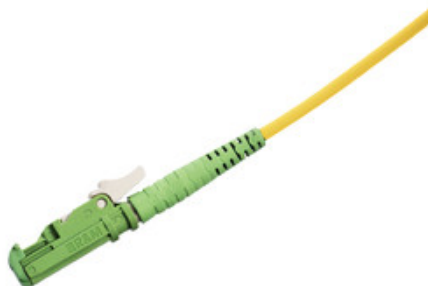
030.0632



30.0635

E-2000™ (LSH, IEC 61753-15)

Développé par la société Diamond pour les applications LAN et CATV, il est aujourd'hui produit par trois sociétés, toutes Suisses, et excède les performances des connecteurs standards du marché. Il s'agit du seul connecteur équipé de capots automatiques (fiches et raccord) protégeant les férules des poussières et rayures mais aussi l'utilisateur du rayonnement laser. Le connecteur est équipé d'un système de verrouillage positif et peut être codé à l'aide de clés mécaniques identifiables par code couleur. C'est le premier connecteur à atteindre le niveau de performance « Grade A ».



030.0634



090.3178

MT-RJ (IEC 61751-18)

Le MTRJ est un connecteur dédié aux applications LAN. C'est un connecteur duplex, construit sur les dimensions du RJ45, connecteur cuivre universel des réseaux LAN.

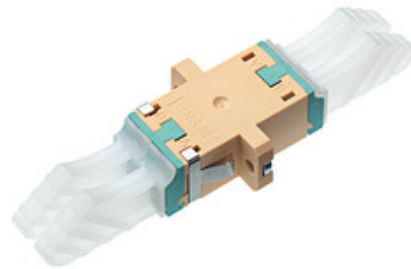
LC connector (IEC 61754-20)

Ainsi que le MU, ce connecteur fait partie de la nouvelle génération des SFF. Il a été développé par LUCENT (LC pour Lucent connector) sur la base d'une férule de 1.25mm.

Sa version duplex occupe l'encombrement exact d'un raccord SC simplex, il en résulte une haute densité de brassage qui le rend très attractif pour les applications data center et télécom. Ces performances optiques sont intermédiaires aux connecteurs MTRJ et E2000.



090.2427



090.5196

F-3000 (IEC 61754-20 compatible)

Connecteur équipé d'un capôt de protection compatible avec les connecteurs LC.

F-SMA: (Sub-Miniature Assembly, IEC 61754-22)

Ce fût le premier connecteur à fibre optique standardisé, il est équipé d'un verrouillage à vis et dépourvu de contact physique entre les férules. Aujourd'hui son usage est cantonné aux fibres PFC/HCS or POF.

LX.5 (IEC 61754-23)

Similaire par la taille et le dessin aux connecteurs LC et F3000, il présente cependant de fortes restrictions de compatibilité dû aux variations de positionnement des férules en version duplex. Développé par ADC/Krone.

SC-RJ (IEC 61754-24)

Développé par R&M et reprenant le nom générique SC il s'agit d'un SC duplex au format du RJ45.

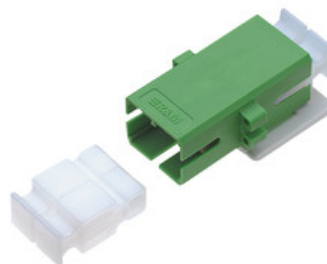
Deux fiches SC forment un ensemble unique aux dimensions du RJ45.

C'est un équivalent aux SFF (Small form factor) mais plus robuste car utilisant les férules de 2.5mm.

Il reprend du SC, les performances optiques, les qualités mécaniques et les performances du grade M au grade A, de la fibre monomode à la fibre plastique, du réseau WAN au réseau LAN, du laboratoire au chantier en version IP67. (R&M a réalisé un livre blanc dédié au SC/RJ intitulé "SC-RJ – Reliability for every Category").



090.2740



090.2730

2.3. Pertes par réflexion

Les pertes par réflexion RL sont la mesure de la portion de lumière réfléchi vers sa source lors d'une jonction. Elle est exprimée en Décibel (dB) et est inversement proportionnelle à sa valeur ; plus la valeur de RL est haute, moins la réflexion est forte.

Les valeurs typiques de réflexion pour lien à fibre monomode sont comprises entre 35 and 50 dB pour les jonctions PC et entre 60 et 90 dB pour les jonctions APC.

Les valeurs typiques de réflexion pour lien à fibre multimode sont comprises entre 20 and 40 dB.

Au début des raccordements par connecteur optique, les deux faces de contact étaient polies à 90° par rapport à l'axe de la fibre, alors qu'aujourd'hui la norme impose des faces optiques polissage PC (Physical Contact) ou bien polissage APC (Angled Physical Contact). Le terme polissage HRL (High Return Loss) est aussi utilisé et a le même sens que polissage APC.

PC (Physical Contact)



APC (Angled Physical Contact)

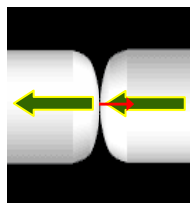


Pour le polissage PC, la fêrle est polie en forme convexe afin d'être certain que les deux cœurs de fibre entreront en contact au niveau du point le plus haut de chaque fêrle ; ceci afin de réduire l'impact de la réflexion (RL).

Un niveau de performance supplémentaire est atteint par l'usage de la technique du polissage APC.

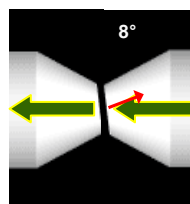
Ici la surface convexe sera polie avec un angle (8°) par rapport à la perpendiculaire de l'axe de la fibre. Les fiches SC sont aussi produites en version APC avec un angle de 9° (pour le marché Allemand) sans différence de performances.

Pertes par réflexion



A chaque jonction de deux fibres, l'excentricité, les rayures et les salissures induisent que des portions de la lumière émise soient réfléchies au point de jonction (flèche rouge).

Un bon polissage PC avec une surface propre, donne environ 14.7 dB RL dans l'air et de 45 à 50 dB RL connecté.



Avec les connecteurs APC, bien que des portions de la lumière émise soient aussi réfléchies au point de jonction, en raison de l'angle de 8°, une partie de la lumière émise est réfléchi avec un angle plus grand que l'angle d'acceptance de la fibre ; ce qui induit la réfraction de cette partie de signal. Avantage : cette lumière (modes) n'est pas transportée en retour par la fibre.

Fonction de la valeur de l'angle d'acceptance définie comme suit ;

$$NA_{G.652D} = \sin \Theta \Rightarrow \Theta = \sin^{-1}(NA_{G.652D}) = \sin^{-1}(0.13) = \underline{\underline{7.47^\circ}}$$

Il apparaît que les modes ayant un angle de plus de 7.5° sont dispersés après

quelques centimètres et donc n'atteindront jamais la source de lumière. Un bon connecteur APC donne environ 55 dB RL dans l'air et de 60 à 90 dB RL connecté.

Par comparaison ; la fibre a une valeur de réflexion propre de 79.4 dB à 1310 nm, 81.7 dB à 1550 nm et 82.2 dB à 1625 nm (valeurs pour une impulsion de 1 ns).

2.4. Pertes d'insertion

Pour les pertes rencontrées au point de jonction de deux fibres optiques, la distinction est faite entre pertes « intrinsèques » dues à la fibre, et pertes « extrinsèques » dues au connecteur. Les pertes dues à la fibre proviennent généralement de différences entre les diamètres de cœur, différents indices de réfraction ou de l'excentricité des fibres. Les pertes dues au connecteur proviennent d'autres facteurs tels que réflexions et défauts de surface, défauts d'alignement, défaut d'apex. Les notes suivantes sont dédiées aux pertes dues au connecteur, les influences de la fibre et du câble n'y sont pas considérées.

Le niveau de performance d'une connexion optique est déterminé par deux caractéristiques ; les pertes d'insertion IL et les pertes par réflexion RL. Plus petite la valeur d'IL sera, plus grande la valeur de RL sera, et meilleure la connexion sera.

$$D\ddot{a}mpfung [dB] = -10 \cdot \log\left(\frac{P_{OUT}}{P_{IN}}\right)$$

La perte par insertion est la mesure des pertes au niveau du point de connexion. C'est la différence mesurée dans le cœur de fibre entre la puissance émise (P_{IN}) et la puissance reçue après le point de connexion (P_{OUT}), exprimée en décibels.

[Loss]

Perte (IL) ;

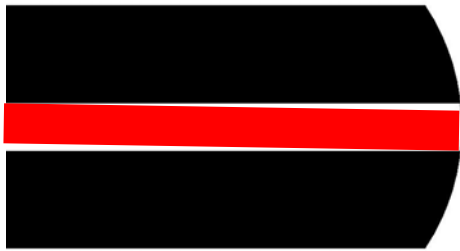
Plus petite est sa valeur, plus petite sera la perte de signal. Valeur de perte moyenne, de 0.1 à 0.5 dB.

La perte peut-être exprimée en dB (+dB) ou en -dB. Dans chaque cas, il s'agit de la même valeur, mais résultant d'une méthode de calcul différente, soit $10 \times \log$ ou $-10 \times \log$.

R&M utilise la première méthode (positive) car une valeur négative pourrait être interprétée comme un gain et ne serait pas logique.

2.5. Pertes extrinsèques

Le plus précisément les cœurs de fibres sont ajustés, le moins de lumière sera dissipée. Pour cette raison, la fibre optique, par construction de haute précision, devra être assemblée à une férule de même performance. Comme expliqué précédemment, la connexion est dépendante des pertes extrinsèques résultant d'une férule non précise, de l'état de surface de la face optique, des défauts d'alignement (centrage), des écarts angulaires, ou de l'excentricité. Les causes de pertes principales étant liées aux défauts d'alignement et d'excentricité.



L'alésage de la fêrle doit être d'un diamètre plus grand que le diamètre de la fibre afin de pouvoir l'y insérer. Il en résulte que la fibre a une certaine liberté dans l'alésage. Ceci génère une cause supplémentaire d'excentricité et de centrage

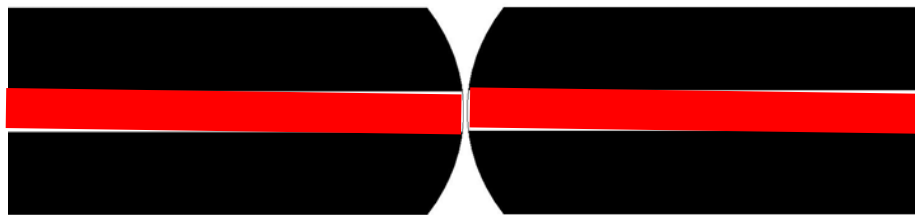
Défaut angulaire d'alignement:

Ce défaut ne doit pas excéder $<0.3^\circ$. Un plus grand écart angulaire entraînera un stress entraînant une fracture de la fibre.

Concentricité:

La norme IEC 61755-3-1+2 définit la valeur maximum de concentricité, qui sera selon le grade, entre $1.0 \mu\text{m}$ et $1.6 \mu\text{m}$ (mesuré de l'axe de la fibre au diamètre extérieur de la fêrle)

Si deux fêrles ou deux fiches sont connectées entre-elles sans précautions particulières, les valeurs de défaut angulaire et de d'écart de concentricité s'ajouteront et augmenteront les pertes (IL).



2.6. Calcul du rapport des pertes liées aux défauts d'alignement et de concentricité.

L'EN 50733-8-3 définit la formule suivante pour le calcul des pertes causées par les écarts d'alignement et de concentricité ;

$$\eta_{combined} = -10 \cdot \log \left[\frac{4A^2}{B^2} \cdot \exp \left[\frac{2 \cdot l^2}{B} - \frac{C \cdot A^2}{B} \cdot (\sin \Theta)^2 \right] \right]$$

Ou :

$$A = \omega_1 \cdot \omega_2; B = \omega_1^2 + \omega_2^2; C = 2\pi^2 \cdot \frac{n_0^2}{\lambda^2}$$

l = écart d'alignement latéral entre deux cœurs de fibres

Θ = écart angulaire de centrage entre fibres

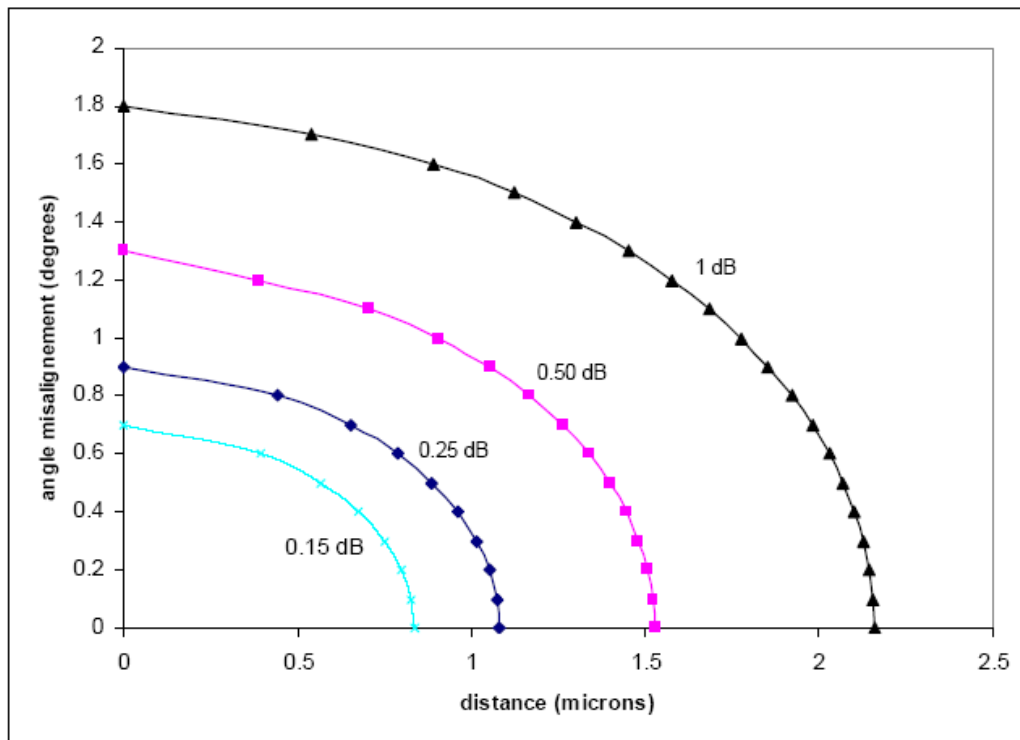
Λ = longueur d'onde (dans le vide)

n_0 = indice de réfraction du Cœur de fibre

ω_1 = rayon du champ de mode de la fibre d'émission

ω_2 = rayon du champ de mode de la fibre réceptrice

Le diagramme ci-dessous présente la courbe des pertes pour les différentes valeurs d'angles de centrage et de concentricité.



L'écart

- s des pertes (IL)
- Écart angulaire de centrage > 0.7° amorce de fracture de la fibre
- Écart angulaire de centrage > 1.95° fracture de la fibre certaine

2.7. Résumé : Réductions de pertes et effets

Afin de réduire les pertes d'insertion des connecteurs, l'écart latéral de centrage des deux fibres entre-elles doit être le plus petit possible. Ceci est obtenu en définissant un quadrant par rapport à la férule dans lequel le cœur de fibre doit être placé. Les fiches ajustables offrent la possibilité de faire tourner la férule par pas de 60° ou de 90°. Si deux fiches sont connectées entre-elles, l'écart d'alignement du cœur de fibres en sera réduit, ce qui apportera une augmentation significative des performances optiques comparée à deux fiches non ajustés.

Un écart angulaire >0.3° évitera la contrainte mécanique entre fibres. La contrainte mécanique réduit la durée de vie, les performances optiques d'une fibre optique, particulièrement le BER (Bit Error Rate), la dispersion modale, et également le niveau de puissance admissible.

3. Standards et grades de performances

3.1. Nouveaux besoins

Approuvée en mars 2007, la norme IEC 61753 définit des grades selon les applications pour les connecteurs optiques dans les réseaux optiques (voir table ci-dessous). La classification par grades et les méthodes de tests définies dans l'IEC, aident grandement les concepteurs de réseaux dans le choix des jarretières optique, traversées et pigtails. Les phases de définition de composants et d'approvisionnement sont ainsi simplifiées. L'usage de ces grades évitera aussi l'approvisionnement de composants « sur-spécifiés » qui ne délivreront peut-être pas, en service, les performances attendues.

Les performances des connectiques sont définies partiellement dans l'IEC 61753. Les standard IEC 61755-3-1 et IEC 61755-3-2 sont aussi utilisés. Ils définissent la géométrie des fiches optiques. L'interaction de ces 3 standards neutres permet d'autoriser des Mix & Match de composants de fabricants différents tout en garantissant un niveau de performance attendu.

Grade Attenuation	Atténuation connexion aléatoire IEC 61300-3-34	
Grade A*	≤ 0.07 dB moyen	≤ 0.15 dB max. for >97% des cpsts
Grade B	≤ 0.12 dB moyen	≤ 0.25 dB max. for >97% des cpsts
Grade C	≤ 0.25 dB moyen	≤ 0.50 dB max. for >97% des cpsts
Grade D	≤ 0.50 dB moyen	≤ 1.00 dB max. for >97% des cpsts
Grade Return Loss	Return Loss Connexion aléatoire IEC 61300-3-6	
Grade 1	≥ 60 dB (accouplé) et ≥ 55 dB (non accouplé)	
Grade 2	≥ 45 dB	
Grade 3	≥ 35 dB	
Grade 4	≥ 26 dB	

Aperçu des performances demandées en IL et RL selon les grades définis dans l'IOC 61753. La définition du grade A n'est pas encore figée. Les performances des connecteurs multi modes sont aussi en phase de discussion.*

Théoriquement, les grades IL (A* à D) peuvent être associés avec les grades 1 à 4 spécifiant le RL. Mais, un grade A*/4 n'aurait pas sens, si bien que certaines combinaisons sont plus logiques que d'autres – voir tableau ci-dessous :

	Grade A*	Grade B	Grade C	Grade D
Grade 1	✓	✓	✓	✗
Grade 2	✓	✓	✓	(✓)
Grade 3	✗	✗	✗	✓
Grade 4	✗	✗	✗	(✓)

3.2. Valeurs en mode aléatoire de fiche à fiche

Les valeurs spécifiées dans l'IEC 61753 doivent être obtenues en effectuant des mesures de fiche à fiche (appelé aussi mode aléatoire). Ceci veut dire que la perte (IL /RL) d'une fiche optique n'est pas mesurée lorsqu'une fiche est accouplée avec une fiche de référence, mais lorsqu'elle est associée avec chaque fiche d'un lot prédéfini : l'on mesure alors la perte sur l'ensemble fiche/raccord/fiche.

La raison d'un tel test est simple : les valeurs mesurées selon l'IEC 61753 en mode aléatoire sont beaucoup plus représentatives et conformes à la réalité que celles spécifiées par le fabricant qui aura utilisé pour cela des composants optimisés avec des tests en laboratoire afin de montrer des valeurs les plus faibles possibles.

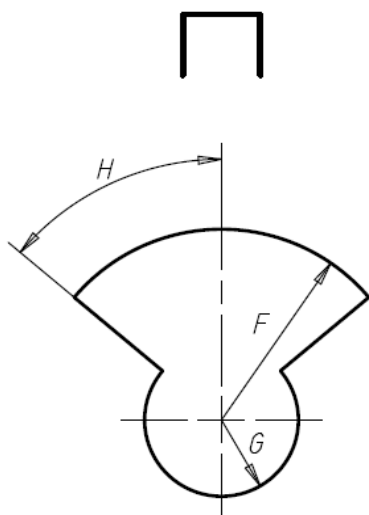
3.3. Valeurs moyennes

On utilisera le principe de valeurs moyennes dans le cas de réseaux importants ayant un grand nombre de points de coupure. Au lieu de considérer les valeurs maximales, le concepteur du réseau prendra en compte les valeurs moyennes définies par ces différents grades, ce qui permettra d'avoir un niveau de performance sur le terrain conforme aux attentes tout en ayant optimisé le ratio performance/coût.

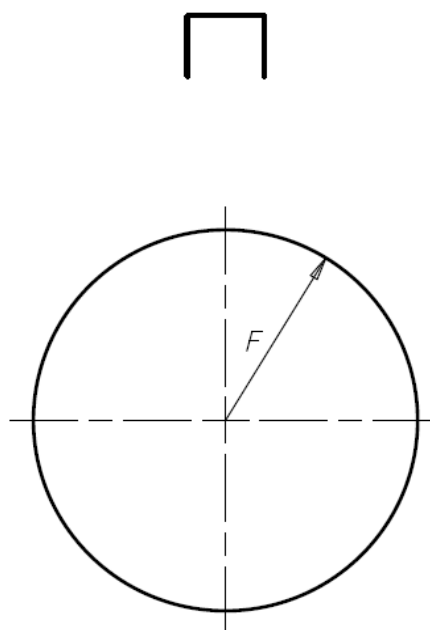
Exemple:

Spécification	Valeurs en mode aléatoire	Budget pour 10 connexions
0.1 dB connecteur	approx. 0.2 dB (peut être plus haut si association de composants de différents fabricants ou utilisation de connecteurs non ajustés)	approx. 2 dB, tolérance non précisée
Grade C	Moyen ≤ 0.25 dB, Max ≤ 0.50 dB	≤ 2.5 dB
Grade B	Moyen ≤ 0.12 dB, Max ≤ 0.25 dB	≤ 1.2 dB
Grade A*	Moyen ≤ 0.07 dB, Max ≤ 0.15 dB	≤ 0.70 dB

Les causes des différentes pertes au niveau connectique détaillées dans le chapitre 2 sont abordées par les groupes de normalisation IEC. Pour cette raison, trois paramètres H, F et G définissant les zones d'ajustement des cœurs de fibres - cf. §4.2.1 - selon le grade des connecteurs et le type de polissage PC ou APC, ont été spécifiés.



Grades B et C



Grade D

IEC 61755-3-1 (connecteur PC, férule 2.5 mm)							
	Grade B		Grade C		Grade D		
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Remarques
H:	0	50	0	50	0 (\Rightarrow NA)	0 (\Rightarrow NA)	Degrés
F:	0	0.0012	0	0.0015	0	0.0016	Rayon, mm
G:	0	0.0003	0	0.0003	0 (\Rightarrow NA)	0 (\Rightarrow NA)	Rayon, mm
IEC 61755-3-2 (connecteur APC, férule 2.5 mm)							
	Grade B		Grade C		Grade D		
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Remarques
H:	0	50	0	50	NA	NA	Degrés
F:	0	0.0010	0	0.0014	0	0.0015	Rayon, mm
G:	0	0.0003	0	0.0003	NA	NA	Rayon, mm

Dimensions des zones pour ajustement connecteurs optiques selon l' IEC 61755-3-1 et 61755-3-2.

4. Production

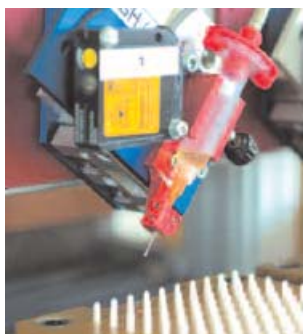
4.1. Connecteurs

Un travail de précision, des matériaux sélectionnés et un contrôle qualité sans faille, sont les ingrédients nécessaires à la fabrication de connecteurs optiques fiables et performants. La miniaturisation de certains éléments du connecteur rend la tâche encore plus difficile. R&M, par exemple, spécifie ses composants pour des durées de vie de 200.000 à 250.000 heures, soit 25 ans. Pour le brassage, les connecteurs doivent être résistants à des forces de traction et flexion importantes. Ils doivent aussi être capables d'assumer 500 ou 1000 branchements / débranchements.

Les férules destinées à la réception des fibres sont soumises à un contrôle d'entrée très minutieux. Elles sont placées unitairement et soigneusement dans un appareil de test qui va les faire rouler selon leur axe longitudinal. Une sonde mesure le diamètre intérieur et vérifie sa concentricité. La précision de mesure est de l'ordre de 0.2 μm . L'assemblage commence véritablement lorsque la férule et le ressort sont placés dans le réceptacle interne de la fiche appelé Alberino (SC/apc et E2000/pc et apc) et ensuite collée. Cette étape est entièrement automatisée dans notre usine de Wetzikon afin de maintenir un équilibre entre coût de production et précision tout en assurant une homogénéité de performance parfaite.



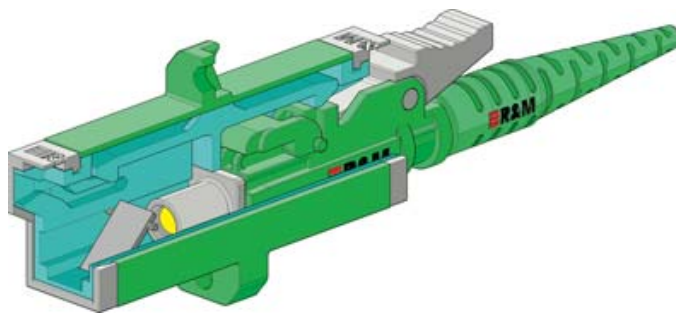
Le contrôle d'entrée – barrière très contraignante pour les férules. Leur concentricité est un facteur critique pour une transmission optimale de la lumière au sein du connecteur.



Précision – pas uniquement au niveau mécanique, mais aussi chimique. Cette machine applique de la colle entre la férule et la partie interne du corps de fiche (Alberino). Le lien doit rester stable pendant de nombreuses années.

4.2. Assemblage

Le collage de la fibre dans la férule et de la férule dans la partie interne de la fiche (Alberino) doit être extrêmement fiable. Ceci nécessite un collage et un ajustage très précis. Le ressort spiralé qui sert à comprimer la férule sur celle de la fiche accouplée doit aussi respecter des contraintes très sévères. La tension appliquée doit rester stable dans le temps, la force exercée sur la férule devant être aux alentours de 10 N. Contrairement à la pression de deux surfaces entre elles, la pression appliquée à la surface frontale de la fibre n'est pas isotropique ; cela signifie que la force de pression n'est pas nécessairement constante sur la surface de contact.

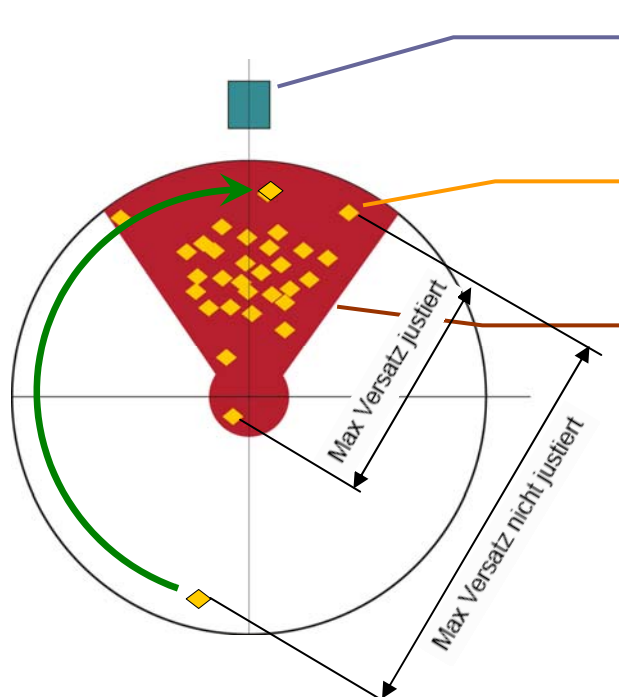


Vue de l'intérieur d'une fiche et raccord Haute Performance E2000™. Les composants soumis à un énorme stress, sont conçus pour durer des décennies.

4.2.1. Ajustement / Tuning

L'ajustement des férules est une opération importante dans la phase de fabrication pour obtenir des résultats optimaux ; cette opération est aussi appelée Tuning. Selon la norme IEC 61755-3+-2, tous les connecteurs de Grade C et plus doivent être ajustés.

Pour optimiser l'atténuation due aux pertes extrinsèques, le cœur de fibre doit être positionné dans une zone définie comme suit par le standard.



*Clé de positionnement de la fiche ;
exceptés les SMA, toutes les fiches ont un sens
d'orientation défini*

*Répartition typique des positions des cœurs de fibre
après ajustement*


*Zone dans laquelle les cœurs de fibres doivent être
situés.*

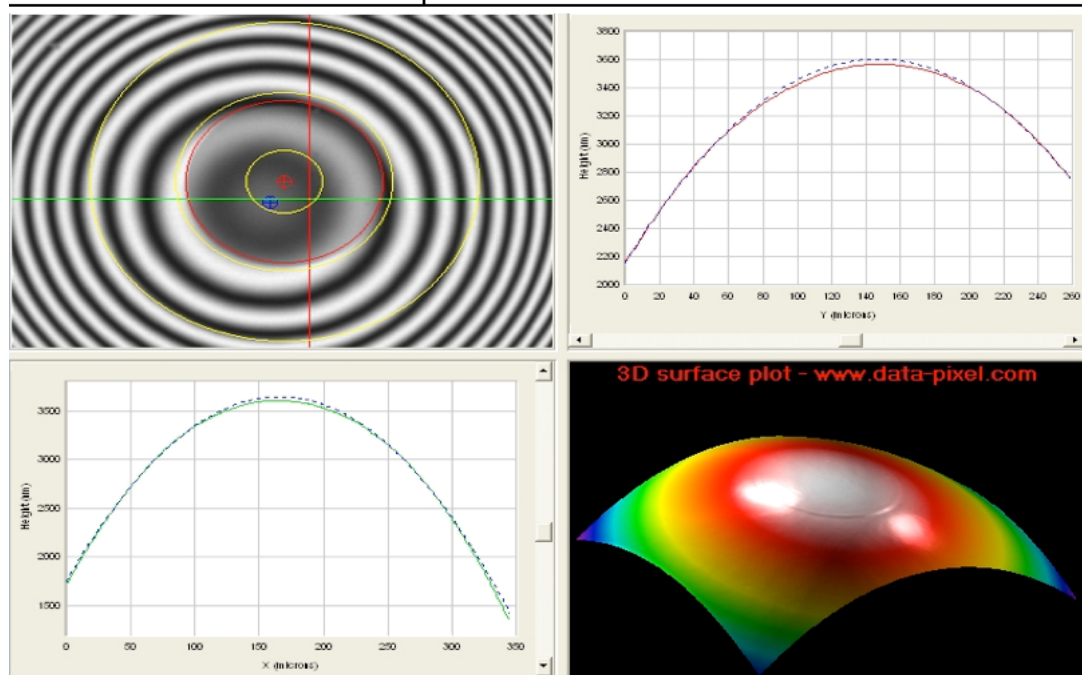
[Diagramme:
Max Versatz justiert = Distance max de non alignement
une fois ajustée
Max Versatz nicht justiert = Distance max de non
alignement avant ajustement]

L'ajustement ne modifie pas la position de la fibre dans la fêrle ; le support de la fêrle subit une rotation au sein de la fiche de manière à ce que la fibre soit placée dans la zone définie ci-dessus. L'ajustement a pour but de minimiser les écarts d'alignements des cœurs de fibres lorsque les fiches sont accouplées. La distance max est, après ajustement, de l'ordre de 1.5 μ .

4.2.2. Interférométrie

La qualité de surface de l'extrémité de la fibre a un impact significatif sur les performances obtenues et la durée de vie de la fiche. L'interférométrie est un moyen de test sans contact apportant une information précise sur la géométrie d'extrémité de la fibre et de la fêrle. La figure ci-dessous montre les paramètres mesurés et les résultats de calcul.

Sample ID: E-2000™ Grade C/1			PASS	
Sample Type: APC				
Measurement Time & Date: 20090814_120704				
Fitting Regions: D=250um; E=140um; F=50um;				
Measurement Parameter	PASS/FAIL Settings		Measurement Result	Passed or Failed
	Minimum	Maximum		
Ferrule Radius of Curvature	5,00	12,00	7,35 mm	PASS
Fiber Radius of Curvature	n/a	n/a	8,16 mm	
Fiber Height (Spherical Fit)	-100,0	100,0	-38,8 nm	PASS
Fiber Height (Planar Fit)	n/a	n/a	262,9 nm	
Apex Offset	0,0	50,0	19,2 μm	PASS
Apex Bearing	n/a	n/a	207,7 deg.	
Angle Error	7,700	8,300	7,931 deg.	PASS
Key Error	n/a	n/a	-0,132 deg.	
Fiber Roughness (Sq)	0	50	2 nm	PASS
Ferrule Roughness (Sq)	0	50	3 nm	PASS
Ferrule Bore Diameter	n/a	n/a	126,4 μm	
Comments				



Détails des paramètres:

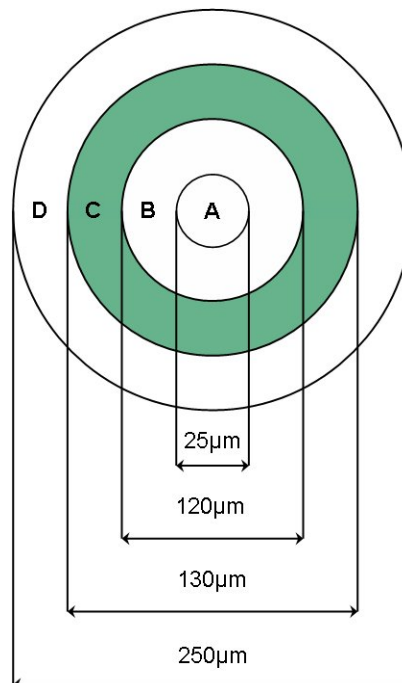
Rayon de courbure de la férule:	Rayon de la surface convexe obtenue après polissage de la férule. Plus le rayon sera petit, plus la pression de contact sera forte et inversement. Valeurs autorisées ; APC ; 5-12 mm, PC ; 5-25 mm.
Hauteur de Fibre (méthode sphérique):	Le rayon de courbure de la férule polie est représenté, dans le diagramme, par une ligne pointillée. Le rayon de polissage de la fibre lui est mesuré. La fibre étant moins dure que la férule il en résulte généralement une valeur en retrait du rayon représenté. Dans la figure p25, la valeur est de -39 nm. (voir aussi IEC 61300-3-23)
Hauteur de Fibre (méthode plane) :	Obtenue par calcul; la courbe est transposée en une ligne. Pour plus de clarté, il doit être pris en compte qu'une valeur négative indique un dépassement et une valeur positive un retrait. Cette valeur dépend directement du rayon de courbure et de l'apex. Un petit rayon de courbure signifiant plus de pression de contact, la fibre pourra accepter un retrait plus important. Exemple: avec un rayon 5 mm et un apex de 0 µm, le retrait sera de 580 nm. Si l'apex est de 70 µm, le retrait sera de 100 nm (voir IEC 61755-3-2 Annexe A). Les interféromètres récents prennent en compte cette méthode de calcul pour calculer le seuil d'acceptation.
Excentration de l'Apex:	C'est la position de l'axe de la fibre par rapport à l'axe de son rayon de courbure ou bien par rapport au point le plus haut de la férule après polissage, exprimé en µm (0.001mm)
Position angulaire de l'Apex :	C'est la position angulaire de l'axe de fibre. 12h00 = 0°, 3h00 = 90°, 6h00 = 180°, etc. Dans la figure page 25 la croix rouge représente l'axe de la fibre, la croix bleue le point le plus haut de la férule polie.
Erreur d'angle :	Concerne l'angle de la surface de contact de la férule. Dans l'exemple 8° ±0.5° selon la norme ou ±0.3° selon la spécification R&M.
Erreur de clé:	Angle ou écart angulaire de la surface de contact d'une férule APC par rapport à la position de la clé de polarisation d'une fiche optique APC.
Fibre / Férule Roughness:	Ecart de valeur moyen de la rugosité férule/fibre. Exprimé en nm.


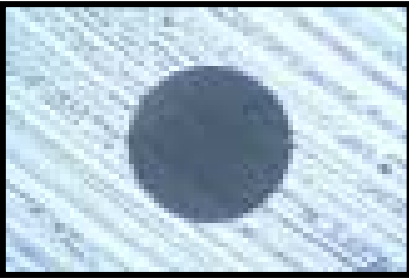

4.2.3. Inspection de surface

L'inspection visuelle de la surface doit toujours être effectuée, même après un test d'interférométrie. L'extrémité de la fibre est contrôlée pour vérifier l'absence de rayure, de piqûre, de résidus de colle et de contamination. Afin d'obtenir une bonne visibilité sur la qualité de l'extrémité, il faut s'assurer qu'aucune trace de contamination ne soit présente. La surface contrôlée est divisée en 4 zones :

- **Zone A** : Pas de rayure ni de piqûre autorisée. 25 μm correspond à trois fois le diamètre du cœur de la fibre ; cette zone doit être en tolérance Zéro.
- **Zone B et C** : Quelques rayures et piqûres peuvent être tolérées, mais aucune contamination ne doit être détectée.
- **Zone D** : Bien que cette zone corresponde à celle de la férule et non de la fibre, elle doit aussi être contrôlée car elle fait partie de la zone de contact des fiches. Cette zone est aussi importante car l'interférométrie vérifie les mesures jusqu'à $\varnothing 250 \mu\text{m}$.

L'inspection visuelle est effectuée à l'aide d'une loupe grossissante 200x au minimum. On peut utiliser un grossissement moindre pour détecter des contaminations sur site, toutefois un minimum de 100x est recommandé.



Connecteur propre	Résidus d'humidité	Particules de poussière
		

Exemples de résultats de l'inspection de surface.

4.3. Perte d'insertion – Insertion Loss IL

L' IEC 61753-1 (voir aussi le chapitre 3) précise des conditions de test en mode aléatoire (fiche/fiche) . Cette méthode devient vite très complexe car pour un lot de 10 jarretières optique 90 mesures sont nécessaires, pour un lot de 100 pièces 9900 mesures devraient être effectuées, et ainsi de suite...Un moyen rationnel de mesure, tout en apportant une garantie équivalente à une mesure en mode aléatoire, est l'utilisation de la méthode dite « pire des valeurs ». Ainsi, les valeurs retenues en fabrication sont identiques, voire plus contraignantes, que celles définies par la norme en méthode aléatoire.

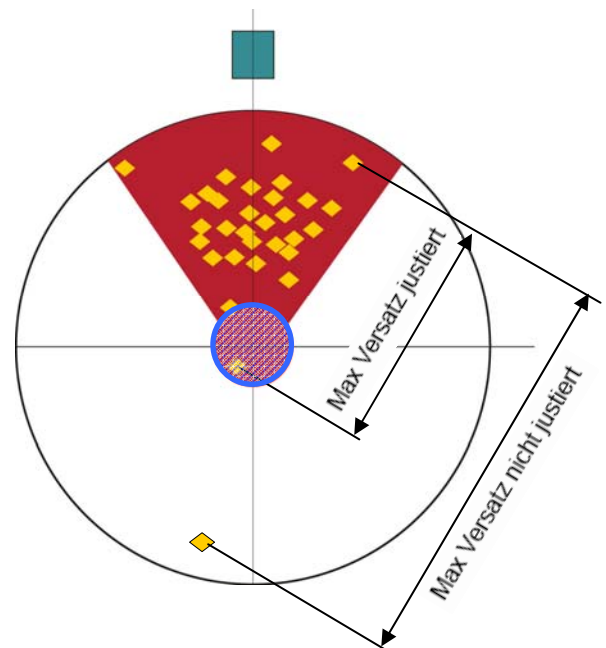
Test “ Pire des valeurs” (méthode R&M) :

L'ajustement de la fiche doit être absolument sûr et contrôlé. Il signifie que tous les cœurs de fibres seront situés dans le même cadran (zone rouge).

Si ce n'était pas le cas, la valeur de perte en insertion mesurée avec la jarretière de référence serait acceptable mais en brassage aléatoire, et pourrait être du double. (Voir le chapitre 4.2.1)

La zone bleue au centre du diagramme (à droite) montre la zone de positionnement du cœur de fibre pour la fiche de la jarretière de référence. Les fiches contrôlées doivent présenter une plus faible valeur de défaut d'alignement entre elles que par rapport à la fiche de référence. Il en résulte que les valeurs mesurées en mode aléatoire seront plus faibles que celles obtenues avec la fiche de référence.

En complément de la mesure par la méthode du « pire cas », le fabricant effectue des tests périodiques en mode aléatoire afin de contrôler et valider ses valeurs.



[Diagramme:

Max Versatz justiert = Max misalignment, adjusted

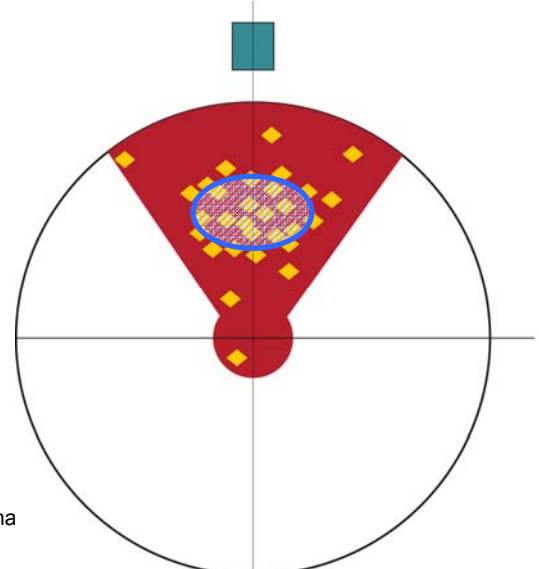
Max Versatz nicht justiert = Max misalignment, unadjusted]

Test du “meilleur cas”:

C'est la méthode de test utilisée par la majorité des fabricants.

Pour les fiches non ajustées, la méthode décrite ci-dessus ne s'applique pas. A partir du moment où le cœur de fibre de la fiche de référence est située au centre du cadran (zone bleue), la moyenne des valeurs du défaut d'alignement sera plus petite qu'en mode aléatoire. Les valeurs annoncées devront être considérées comme informatives.

Pour les fiches ajustées, la fiche de référence utilisée est sélectionnée de manière à mesurer la valeur de perte en insertion la plus contraignante pour toutes les fiches



produites et contrôlées. Cette valeur est déterminée par le fabricant.

C'est pour cette raison qu'une fiche standard annoncée pour 0.1dB ne peut prétendre en pratique à la performance du Grade A* et même du Grade B.

Recommandation : Lors de l'évaluation d'un fabricant, il faut toujours prendre en compte la méthode utilisée par son inspection qualité. Particulièrement, il faut toujours savoir si les fiches sont ajustées. Sinon le risque est de rencontrer des valeurs au double de la performance annoncée. Avec la méthode des grades définis par l'IEC 61753 sur le principe d'une mesure en brassage, prescripteur et installateur auront une base opposable pour définir les produits. Le respect du niveau de performance selon le référentiel devra être suivi de très près par le service achat.

4.4. Mesure des pertes par réfraction

Dans l'IEC 61753-1, avec les valeurs de perte en insertion, les grades 1 à 4 spécifient un niveau de perte par réfraction (voir chapitre 3). Les grades 2 à 4 correspondent à une finition PC. Les désignations SPC et UPC ne sont pas définies dans aucune norme et ne devraient pas être utilisées.

Le grade 1 spécifie les valeurs des performances, connectée et déconnectée (dans l'air). La valeur >55 dB déconnectée est uniquement valable pour les fiches APC (aucune fiche PC ne pouvant atteindre cette performance).

5. Conséquences de l'application de ces grades de performances

5.1. Mise en place chez R&M

R&M a commencé début 2005 à utiliser ces grades et les a introduits peu après dans le process de fabrication. Sur certains points, le cahier des charges utilisé chez R&M est même plus strict que celui de la norme IEC 61753.

Les valeurs mini de RL demandées par la norme ne sont pas suffisantes pour des applications nécessitant des connecteurs hautes performances, R&M a défini des valeurs plus strictes pour ses composants. Les valeurs retenues sont celles de la norme ou plus strictes que la norme.

Performance selon les spécifications R&M						
Définition IL/RL R&M	Grade A*/1	Grade A*/2	Grade B/1	Grade B/2	Grade C/1	Grade C/2
Insertion loss (IL) 97%	≤ 0.15 dB	≤ 0.15 dB	≤ 0.25 dB	≤ 0.25 dB	≤ 0.50 dB	≤ 0.50 dB
Insertion loss (IL) typical value	≤ 0.07 dB	≤ 0.07 dB	≤ 0.12 dB	≤ 0.12 dB	≤ 0.25 dB	≤ 0.25 dB
Return loss (RL)	≥ 80 dB	≥ 50 dB	≥ 65 dB	≥ 45 dB	≥ 60 dB	≥ 45 dB
Typical	≥ 90 dB	≥ 55 dB	≥ 85 dB	≥ 55 dB	≥ 80 dB	≥ 55 dB
Laser power, inserted IEC61300-2-14, 500h, 23° C	≤ 2 W	≤ 300 mW	≤ 1 W	≤ 300 mW	≤ 500 mW	≤ 300 mW
Définition IL/RL at R&M	Grade D/3	Grade M/4				
Insertion loss (IL) 97%	≤ 1.00 dB	≤ 0.75 dB (100%)				
Insertion loss (IL) typical value	≤ 0.50 dB	≤ 0.35 dB				
Return loss (RL)	≥ 35 dB	≥ 26 dB				
Typical	≥ 45 dB	≥ 35 dB				

Test IL selon l'IEC61300-3-34, test RL selon l'IEC61300-3-6.

Aussi, le meilleur des connecteurs (fiche) aura ses performances dégradées s'il est accouplé à une traversée de mauvaise qualité. Pour cette raison, R&M a appliqué la politique de grades pour ses traversées. Les valeurs suivantes sont utilisées comme référence :

Caractéristiques optiques, IL	Grade B	Grade C	Grade D	Grade M	Grade N
Type de matériau centreur	Céramique	Céramique	Phosphore bronze	Céramique	Phosphore bronze
Insertion Loss (IL) Delta IEC61300-3-4	0.1 dB	0.2 dB	0.3 dB	0.2 dB	0.3 dB

5.2. Spécifications fabricant et utilisation sur site

Un exemple typique montre l'importance d'utiliser les grades pour le choix des composants : un opérateur réseau utilise des jarretières avec une valeur d'IL spécifiée par le fabricant à 0.1 dB. Les jarretières en question affichent des valeurs sur site comprises entre 0.2 et 0.3 dB. D'où peut venir ce problème fréquent ?

En fait, le fabricant a spécifié ses composants dans des conditions optimales d'environnement (Best Case). Dans ce cas, il aura choisi des cordons de référence triés pour obtenir des valeurs de perte d'insertion (IL) les plus faibles possible. Par contre, si les jarretières mesurées sont mises bout à bout, ces valeurs basses ne pourront plus être reproduites et la différence sera assez sensible.

Cette méthode de mesure par rapport à une référence optimisée est très souvent pratiquée et a pour conséquence d'induire les utilisateurs en erreur. Ceux-ci croient acheter des composants sur-performants à un prix élevé et découvrent sur le terrain que les mesures optiques dépassent le budget calculé ; d'où des retards dans la mise en exploitation et des surcoûts pour approvisionner le matériel de remplacement.

Dans ce cas précis, l'opérateur aurait dû préciser que les jarretières doivent être en conformité avec le Grade A de l'IEC 61753. Il aurait pu ainsi compter sur une valeur max d'IL ≤ 0.15 dB.

Comme ces mesures sont contraignantes, peu de fabricants proposent la classification composant en grade. R&M, dans un souci de qualité, y fait référence pour toute sa production optique.

Dans ce contexte, il est important aussi de souligner que les mises en œuvre de composants optiques et de leurs mesures nécessitent un niveau élevé d'expertise. Il est recommandé de faire appel à du personnel très qualifié. R&M offre dans le cadre de son programme de certification partenaire (QPP), Module Fibre Optique, le support nécessaire pour la mise en œuvre selon les règles de l'art et le test suivant les dernières normes en vigueur. Les installations réalisées avec le personnel certifié par R&M, bénéficieront de garanties étendues.

6. Questions / Réponses

En tant que client, quel est mon intérêt d'avoir des composants optiques spécifiés en Grade ?

Vous savez ce que vous achetez en spécifiant des grades de performances. Les spécifications constructeurs ne sont pas forcément claires et peuvent prêter à confusion, car les valeurs obtenues sur sites ne sont pas publiées ni garanties.

La norme IEC est une norme internationale. Si un utilisateur possède des sites sur plusieurs continents et a plusieurs sources d'approvisionnement, cette norme de qualification composants est unique et permet d'assurer la compatibilité de tous les composants connectiques optiques entre eux.

Quels risques j'encours si je ne travaille pas avec le principe des gardes dans le choix de mes composants ?

L'IEC 61753-1 ne définit pas uniquement les valeurs d'IL mais aussi décrit les conditions environnementales de tests. Selon les applications et les influences de l'environnement, les connecteurs et jarretières doivent respecter des valeurs dans des conditions telles que vibrations, cycles de température et autre stress d'ordre mécanique. Les deux catégories environnementales les plus utilisées sont la catégorie C (Controlled environment) pour applications à l'intérieur de bâtiments et la catégorie U pour l'extérieur (Uncontrolled environment).

En faisant référence à cette norme, il est plus facile de comparer les offres et les résultats attendus en termes de performances et d'anticiper puisque tous les paramètres sont clairement définis.

Puis-je vérifier la conformité avec les Grades ?

Oui, il existe deux possibilités pour le faire :

1. **Tests en max et valeurs moyennes** : Prenez des cordons et testez chaque fiche avec les fiches des autres cordons. Pour un lot de 10 cordons, 90 mesures sont nécessaires...La tâche est fastidieuse mais indispensable pour une qualification fabricant. De tels tests peuvent être effectués par un laboratoire extérieur.
2. **Tests en valeurs moyennes** : Ce test est plus simple bien que moins précis. Prenez 2 cordons d'un lot comme référence et utilisez les pour faire l'offset de vos équipements de mesure. Placez un autre cordon entre les 2 premiers pour générer le premier résultat (mesure sur un des connecteurs puisque l'autre est déjà référencé). Procédez à l'identique avec le second, puis les autres cordons. Calculez la perte moyenne en divisant par le nombre de connecteurs. Plus vous avez de cordons, plus précise sera la mesure. L'atténuation due à la fibre est négligeable et non prise en compte car < 0.4 dB/km pour une monomode.

Remarque : le coût de ce type de test est bien inférieur à celui d'une recherche de panne et de la réparation sur un réseau en fonctionnement.

7. Sources et informations complémentaires

Pour plus d'informations sur les composants et solutions R&M, vous pouvez consulter notre site www.rdm.com