



Dimensionnement d'un réseau optique WDM à très haut débit

Elaboré par :

Laribi Oussema

Hadjtaieb Ahmed

Encadré par :

Ben Salem Amine

INDP2-A

2019-2020

Sommaire:

- I. Objectif
- II. Composants utilisés
- III. Bilans
- IV. Chaîne de transmission
- V. Résultats
- VI. Conclusion

I. Objectif :

L'objectif de ce projet est de planifier une liaison optique utilisant la technique WDM à longue distance et à très haut débit.

La liaison conçue doit répondre aux différents critères suivants :

- Débit = 40Gbps
- Distance = 500-1000km
- Nombre de canaux : 8-16 canaux WDM
- TEB (Taux d'Erreur Binaire) $< 10^{-12}$
- Facteur de qualité $Q > 7$

La chaîne de communication optique est composée de 3 parties :

- L'émetteur qui génère le signal lumineux à transmettre
- Le support ou canal de transmission : la fibre optique
- Le récepteur qui détecte le signal lumineux reçu et le convertit en signal électrique

II. Composants utilisés :

1. Emetteur :

1.1. Pseudo-Random Bit Sequence Generator :

Génère une séquence binaire pseudo-aléatoire selon différents modes de fonctionnement. La séquence de bits est conçue pour approximer les caractéristiques des données aléatoires.

1.2. RZ Pulse Generator :

Génère un signal codé de retour à zéro (RZ).

1.3. Laser :

Un laser est un appareil qui produit un rayonnement spatialement et temporellement cohérent.

Dans notre chaine, nous avons choisi un laser qui émet à une fréquence dans l'intervalle [193 THz, 193.72 THz] et ayant une puissance qui varie entre 7 dBm et 9 dBm.

1.4. Modulateur :

La modulation est l'adaptation du signal au canal.

Dans notre cas, nous avons choisi le modulateur Mach-Zehnder.

2. Canal de transmission :

2.1. Fibres optiques :

C'est un guide d'onde optique de 2 couches : la gaine et le cœur. Dans une fibre, la lumière est confinée dans le cœur et guidée grâce à la gaine optique.

Dans notre chaine de transmission, nous avons opté pour les fibres NZDSF (Non-zero dispersion-shifted fiber) et ThorLabs DCF-38 (Dispersion Compensation).

Nom	Valeur	Unité
Atténutation	0.19	dB/km
Dispersion	4.5	ps/nm/km
Pente de dispersion	0.045	ps/nm ² /km

Table 1 : Caractéristiques de la fibre NZDSF

Nom	Valeur	Unité
Atténutation	0.265	dB/km
Dispersion	-30	ps/nm/km
Pente de dispersion	-0.075	ps/nm ² /km

Table 2 : Caractéristiques de la fibre DCF-38

2.2. Amplificateur EDFA :

En électronique, l'atténuation ou affaiblissement est la diminution relative de la puissance d'un signal au cours de sa transmission. C'est le rapport entre la valeur efficace du signal à la sortie par celle à l'entrée de la section considérée.

Pour compenser cette atténuation et garantir une bonne qualité du signal à la réception on a utilisé un amplificateur optique dont son gain est déterminé par le bilan de liaison.

2.3. Multiplexeur/Démultiplexeur:

Le multiplexage en longueur d'onde, souvent appelé WDM (Wavelength Division Multiplexing en anglais), est une technique utilisée en communication optique qui permet d'augmenter le débit sur une fibre

optique en faisant circuler plusieurs signaux de longueurs d'onde différentes sur une seule fibre.

Dans notre cas, nous avons utilisé un multiplexeur à 8 canaux.

3. Récepteur :

3.1. Photodiode PIN :

La photodiode PIN est un composant semi-conducteur de l'optoélectronique. Elle est utilisée comme photo-détecteur assurant la conversion optique/électrique.

- Photodiode InGaAs PIN:

Responsivité : 0.85A/W

Courant d'obscurité : 1 nA

3.2. Filtre passe-bas :

Le filtre de Bessel, également désigné sous le nom de filtre de Thompson, est un filtre polynômial (« tout pôle ») dont la caractéristique principale est d'offrir un délai constant en bande passante. Concrètement, cela signifie que toutes les fréquences pures, en bande, le traversent en un temps rigoureusement égal. Le filtre de Bessel permet donc de minimiser la distorsion que subit un signal complexe lors d'une opération de filtrage.

III. Bilans :

1. Bilan de dispersion :

$$L_{\text{NZDSF}} * D_{\text{NZDSF}} + D_{\text{DCF}} * L_{\text{DCF}} = 0$$

- $D_{\text{NZDSF}} = 4.5 \text{ ps/nm/km}$: dispersion chromatique de la fibre optique NZDSF
- $L_{\text{NZDSF}} = 83\text{km}$: longueur de la fibre optique «NZDSF »

- $D_{DCF} = -30$ ps/nm/km : dispersion compensative de la fibre DCF
- L_{DCF} : longueur de la fibre compensatrice de dispersion en km

$$L_{DCF} = (D_{NZDSF} * L_{NZDSF}) / (-D_{DCF}) = (4.5 * 83) / 30 = 12.45 \text{ km}$$

2. Bilan de gain:

L'équation du bilan de gain :

$$G = (\alpha_{NZDSF} * L_{NZDSF} + \alpha_{DCF} * L_{DCF} + \alpha_{insertion})$$

- G est le gain de l'amplificateur qui devrait compenser l'atténuation
- L'atténuation α_{NZDSF} pour la fibre optique NZDSF :

$$\alpha_{NZDSF} = 0.19 \text{ dB/km}$$

- La longueur L_{NZDSF} de la fibre NZDSF : $L_{NZDSF} = 83 \text{ km/boucle}$
- L'atténuation α_{DCF} pour la fibre optique DCF : $\alpha_{DCF} = 0.265 \text{ dB/Km}$
- La longueur L_{DCF} de la fibre DCF : $L_{DCF} = 12.5 \text{ km/boucle}$
- $\alpha_{insertion}$: pertes d'insertion de mux et demux $\alpha_{insertion} = 3 * 2 = 6 \text{ dB}$

$$G = (\alpha_{SMF} * L_{SMF} + \alpha_{DCF} * L_{DCF} + \alpha_{insertion}) = 0.19 * 83 + 0.265 * 12.5 + 6 = 25.08 \text{ dB}$$

On a choisi de compenser les pertes d'insertion de 1 dB à chaque loop du canal.

Pour avoir une marge nous avons choisi $G = 20.2 \text{ dB}$ divisé sur deux amplificateurs.

IV. Chaine de transmission :

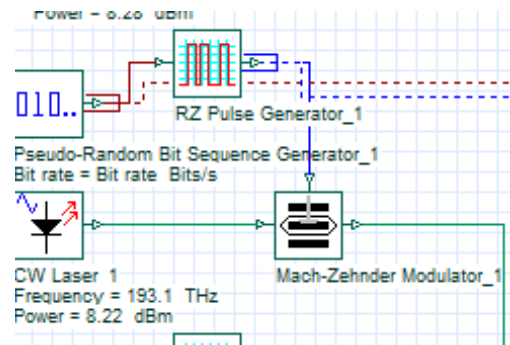


Figure 1 : Sous-système d'émission

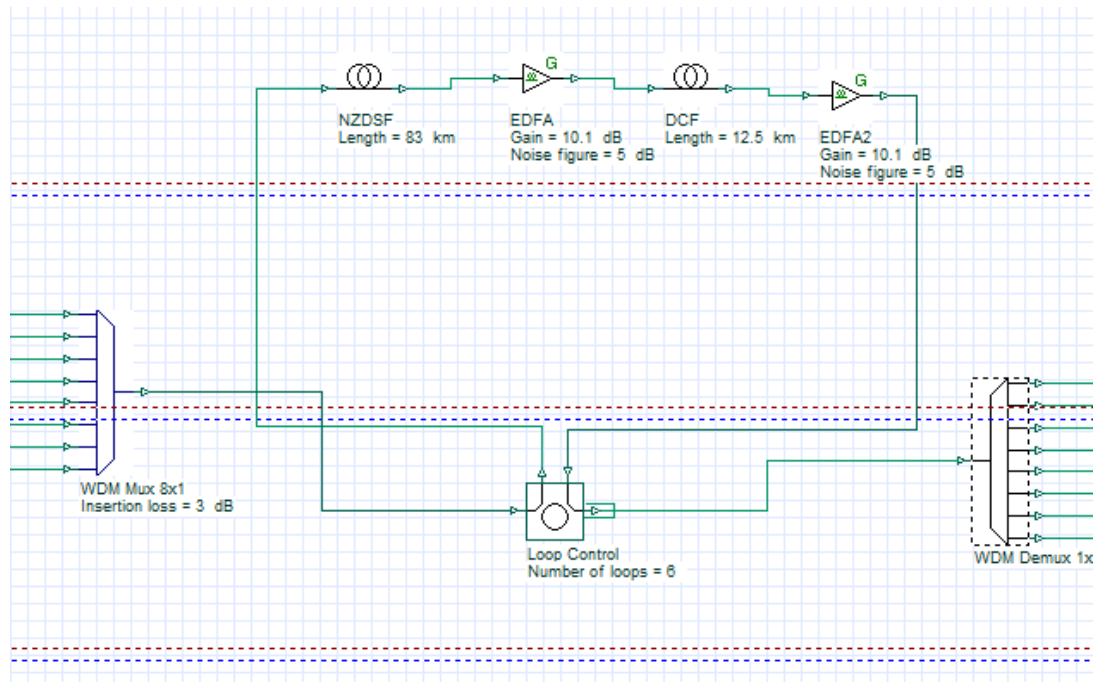


Figure 2: Sous-système canal

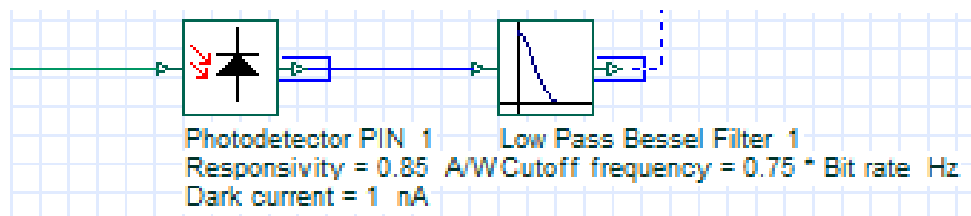


Figure 3: Sous-système de réception

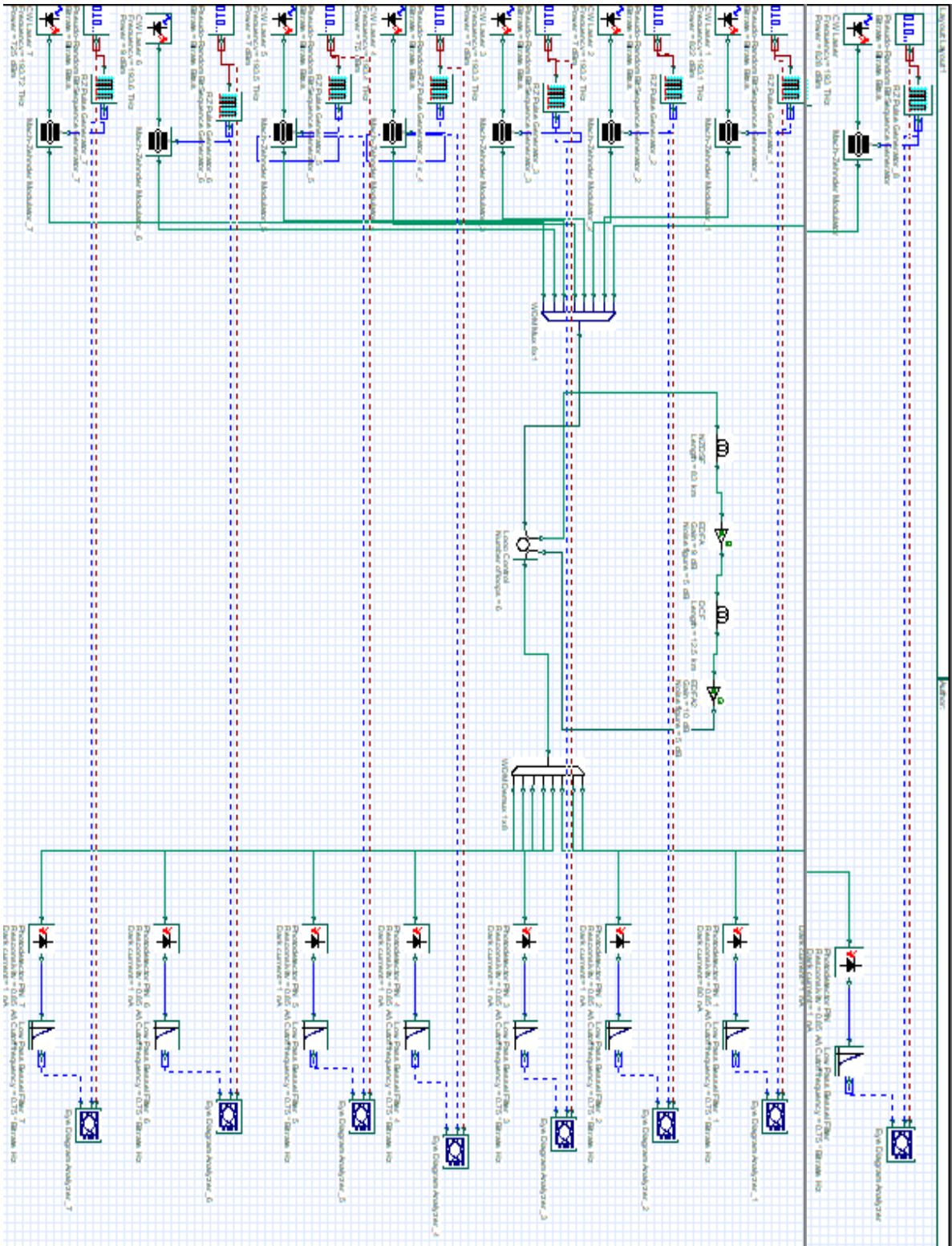
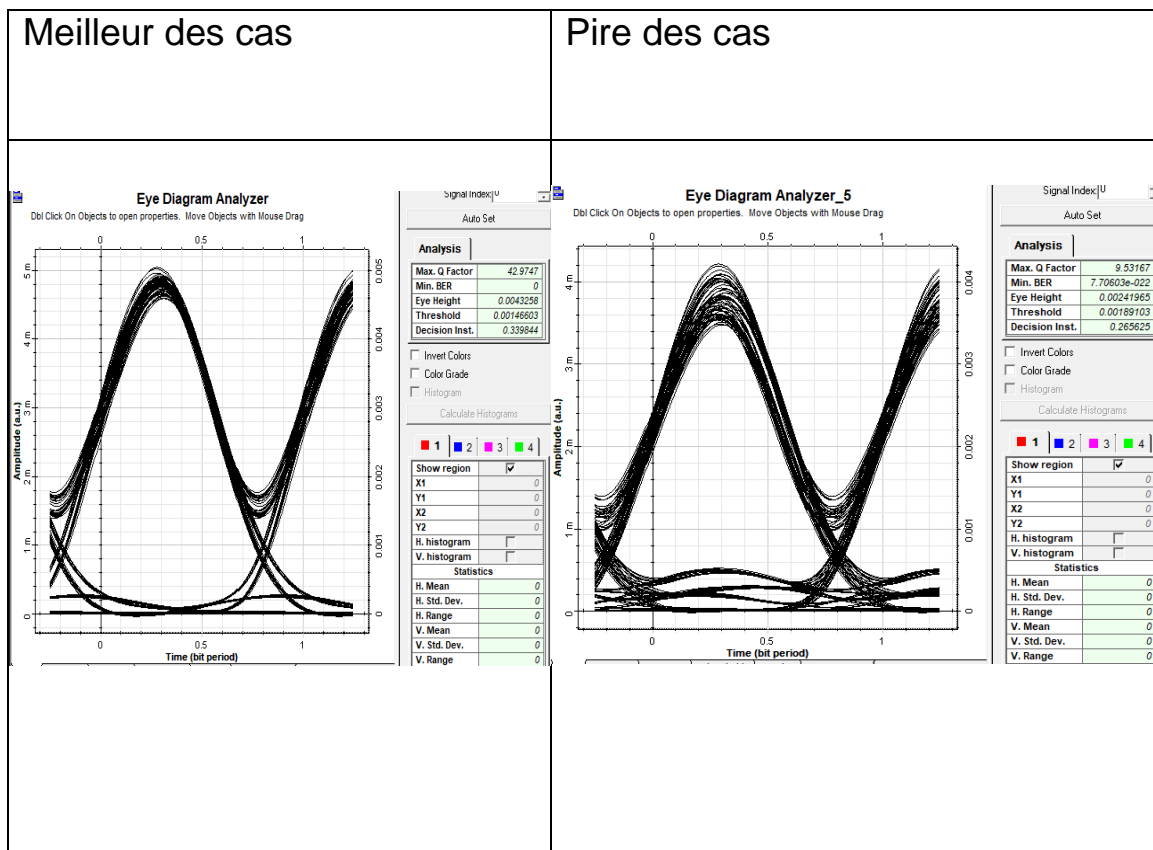


Figure 4: Système

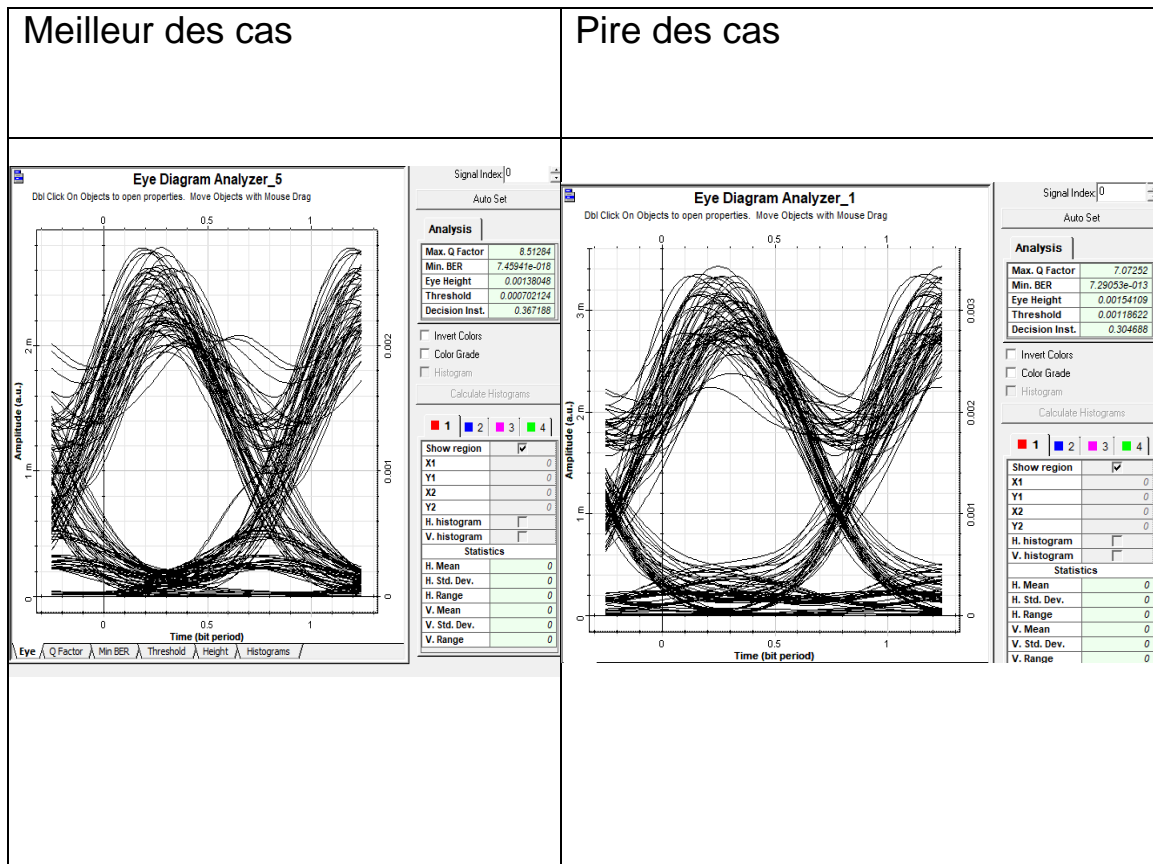
V. Résultats :

Nbre des canaux	Débit	Distance	Meilleur des cas		Pire des cas	
			Q	TER	Q	TER
8	10 Gbps	500 km	42.97	0	9.53	$7.7 \cdot 10^{-22}$
8	40 Gbps	500 km	8.51	$7.45 \cdot 10^{-18}$	7.07	$7.29 \cdot 10^{-13}$

- Cas de 10 Gbps :



- Cas de 40 Gbps :



VI. Conclusion :

Nous avons donc réussi à faire la simulation d'une chaîne de transmission optique qui satisfait les performances requises tout en s'assurant que les composants utilisés sont conformes aux datasheets et existent sur le marché.

VII. Datasheets :

Item #	DCF38
Description	High dispersion fiber with negative slope. Designed to be paired with Corning SMF-28e+ or Vascade L1000 Fiber
Dispersion Specifications	
Dispersion	-49.00 to -30.00 ps/(nm*km)
Dispersion Slope	-0.155 to -0.075 ps/(nm ² *km)
Effective Area	27 μm^2
Polarization Mode Dispersion	≤ 0.05 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
Index of Refraction	1.476 at 1310 nm 1.474 at 1550 nm
General Specifications	
Nominal Mode Field Diameter @ 1550 nm	6.01 $\mu\text{m} \pm 0.29 \mu\text{m}$
Numerical Aperture @ 1550 nm	0.14
Cladding Diameter	125.0 $\mu\text{m} \pm 1.0 \mu\text{m}$
Coating Diameter	250 $\mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$
Cutoff Wavelength	≤ 1520 nm
Attenuation @ 1550 nm	≤ 0.265 dB/km
Attenuation Slope from 1530 - 1565 nm	-0.00040 to -0.00011 dB/(nm*km)

In the race to satisfy the global demand for bandwidth, Corning® LEAF® optical fiber is the clear winner as the world's most widely deployed non-zero dispersion-shifted fiber (NZDSF). Optimized for long-haul and metro networks, LEAF fiber is a technically advanced product that provides high capacity, broad system flexibility, and superior performance. Additionally LEAF fiber is the industry leader in polarization mode dispersion (PMD) specifications and has the lowest attenuation of any NZDSF on the market today, enabling networks to evolve from the current 10G and 40G and 100G systems of the future.

Optical Specifications

Maximum Attenuation

Wavelength (nm)	Maximum Value (dB/km)
1383	≤ 0.4
1410	≤ 0.32
1450	≤ 0.26
1550	≤ 0.19
1625	≤ 0.21

Attenuation vs. Wavelength

Range (nm)	Ref. λ (nm)	Max. α Difference (dB/km)
1525 – 1575	1550	0.02
1550 – 1625	1550	0.03

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength (λ) by more than the value α.

Macrobend Loss

Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
32	1	1550 & 1625	≤ 0.50
60	100	1550 & 1625	≤ 0.05

*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

Point Discontinuity

Wavelength (nm)	Point Discontinuity (dB)
1550	≤ 0.05

Mode-Field Diameter

Wavelength (nm)	MFD (μm)
1550	9.6 ± 0.4

Dispersion

Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm·km)]
1530	2.0–5.5
1565	4.5–6.0
1625	5.8–11.2

Polarization Mode Dispersion (PMD)

	Value (ps/√km)
PMD Link Design Value	≤ 0.04*
Maximum Individual Fiber PMD	≤ 0.1

*Complies with IEC 60794-3: 2001, Section 5.5, Method 1, (m = 20, Q = 0.01%), September 2001.

The PMD link design value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as PMD₀). This value represents a statistical upper limit for total link PMD. Individual PMD values may change when fiber is cabled.

Standards Compliance

- ITU-T G.655 (Tables A, B, C, D)
- IEC Specifications 60793-2-50 Type B4
- TIA/EIA 492-EA00
- Telcordia's GR-20

How to Order

Contact your sales representative, or call the Optical Fiber Customer Service Department:

Ph: 1-607-248-2000 (U.S. and Canada)
+44-1244-525-320 (Europe)

Email: cofic@corning.com
Please specify the fiber type, attenuation, and quantity when ordering.

Paramètre		Minute	Type	Maximum	Unité
Longueur d'onde fonctionnante		1528		1565	nanomètre
De puissance de sortie				22	dBm
Gain		8		33	DB
Puissance d'entrée	BA	-10		Max.Output - gain	dBm
	PA/LA	(Max.input-25)		Max.Output - gain	
Chiffre de bruit			5,0		DB
Planéité de gain			1,0		DB
Seuil d'entrée		-34		Peut être ajusté	dBm
Perte de la dépendance de polarisation				0,3	DB
Gain de la dépendance de polarisation				0,4	DB
Dispersion de mode de polarisation				0,5	picoseconde
Fuite de puissance de pompe				-30	dBm
Perte de retour		45			DB
Puissance		25			W
Taille	Modèle d'EDFA	26,5 (W) x195 (H) x252 (D)			millimètre
Température de fonctionnement		-5~60			°C
Température de stockage		-40~85			°C
Hygrométrie		5~95			RH%

Produit Tag: Amplificateur d'Edfa, Amplificateur a fibre optique

Photodetector	Wavelength (nm)	Responsivity (A/W)	Dark Current (nA)	Rise Time (ns)
Silicon PN	550–850	0.41–0.7	1–5	5–10
Silicon PIN	850–950	0.6–0.8	10	0.070
InGaAs PIN	1310–1550	0.85	0.5–1.0	0.005–5
InGaAs APD	1310–1550	0.80	30	0.100
Germanium	1000–1500	0.70	1000	1–2

VDM Mux 8x1 Properties

✕

Label:
 Cost\$:

Main

Channels

Ripple

Simulation

Noise

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	Bandwidth	80	GHz	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Insertion loss	3	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Depth	100	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Filter type	Bessel		Normal
<input type="checkbox"/>	Filter order	2		Normal

Load...

Save As...

Security...

OK

Cancel

Evaluate Script

Help

Low Pass Bessel Filter_1 Properties



Label:

Cost\$:

OK

Cancel

Evaluate
Script

Main

Simulation

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff frequency	0.75 * Bit rate	5 Hz	Script
<input type="checkbox"/>	Insertion loss	0.2	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Depth	100	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Order	4		Normal

Load...

Save As...

Security...

Help