



SECTION

Génie électrique & électronique

Travaux Pratiques

en

Technologies de l'information

ENCADRANTS

Prof. Camille Sophie Brès

TP DESTINÉ AUX ÉTUDIANTS

GENIE ELECTRIQUE & ELECTRONIQUE Bachelor

Édition – 2025

Sujets :

- TP1: Mesure des pertes d'une fibre optique
- TP2: Caractérisation de sources optiques
- TP3: Caractérisation de composants optiques passifs
- TP4: Modulateurs électro-optiques et diagramme de l'œil

Préalable :

Notes de cours « Introduction à la photonique »

Présentation « Introduction à la fibre optique »

Contents

Sujets	2
Préalable.....	2
TP 1	4
Mesure des pertes d'une fibre optique	4
Mesure des pertes de transmission par la méthode « cut-back »	4
Mesurer les pertes de transmission et contrôler les liaisons optiques avec un OTDR	4
Partie Expérimentale	7
Méthode du « cut-back »	7
Utilisation de l'OTDR	7
TP 2	9
Caractérisation de sources optiques	9
Partie Théorique.....	Error! Bookmark not defined.
Partie Expérimentale	10
Caractérisation statique d'une source optique en termes de puissance optique	10
Caractérisation spectrale (en longueur d'onde)	12
TP 3	14
Caractérisation de composants optiques passifs.....	14
Caractérisation de puissance.....	15
Caractérisation spectrale (en longueur d'onde)	17
Partie expérimentale	17
2 Caractérisation de différents composants optiques passifs.....	17
TP 4	18
Modulateurs électro-optiques	18

Caractériser la distorsion du signal haute fréquence transmis par la fibre au moyen d'un diagramme de l'œil	19
Partie expérimentale	20
1. Effectuez les connexions suivantes en utilisant les connecteurs à fibre disponibles (assurez-vous qu'ils sont propres) :	20
2. Mettez sous tension le laser et l'oscilloscope	20
3. Ajoutez le modulateur électro-optique (EOM) entre le PC et le PD.	20
4. Vérifiez la tension du PD sur l'oscilloscope ch1 dans cette configuration et optimisez la transmission en ajustant la polarisation.	20
5. Allumez la source de tension continue et notez la tension du PD pour les valeurs de tension continue suivantes :	20
6. Expérience avec le générateur de signal RF.....	21

TP 1

Mesure des pertes d'une fibre optique

Dans ce TP, vous allez apprendre à couper et à souder deux fibres optiques et à évaluer les pertes de transmission d'une fibre optique par deux techniques, notamment une méthode de laboratoire dite de « **cut-back** » et une méthode de terrain non-destructive impliquant l'utilisation d'un appareil de mesure appelé **OTDR** (Optical Time Domain Reflectometer).

Mesure des pertes de transmission par la méthode « **cut-back** »

La méthode dite de « **cut-back** » est très souvent utilisée pour mesurer l'atténuation totale d'une fibre optique. Elle consiste à couper une partie de la fibre optique que l'on souhaite caractériser puis effectuer des mesures (de puissance par exemple) en fonction de la longueur restante, et cela se répète pour diverses longueurs de la fibre à tester. La méthode de « **cut-back** » offre une bonne précision et résolution de mesure, cependant une grande rigueur au niveau de la qualité du clivage des fibres (cassure contrôlée de la fibre visant à obtenir une section lisse et perpendiculaire à l'axe longitudinal de la fibre) et de l'injection du faisceau est nécessaire dans le cadre du processus de mesure.

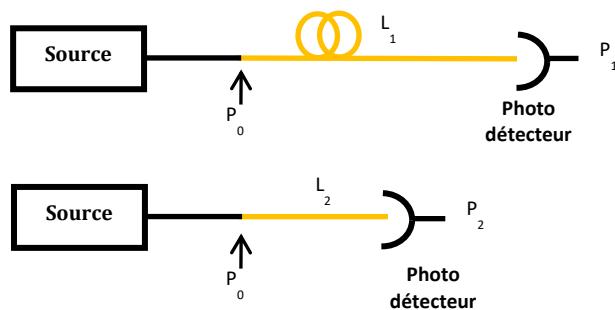


Figure 1 : Principe de la mesure des pertes de la fibre par la méthode « **cut-back** »

Son usage est typiquement limité à la recherche et au développement ainsi que dans les laboratoires de contrôle de qualité car c'est une méthode destructive, étant donné qu'une partie de l'échantillon de fibre optique à tester va être rompue.

En supposant que α représente les pertes en dB/km, ΔL la différence de longueur entre le tronçon initial et le tronçon final (L_2-L_1), quelle est l'expression de α en fonction de la puissance aux longueurs initiale (P_1) et finale (P_2) et ΔL ?

Mesurer les pertes de transmission et contrôler les liaisons optiques avec un OTDR

Lorsqu'on envoie une impulsion lumineuse de grande puissance dans un guide, une partie de l'énergie est diffusée par le matériau constituant le guide. Ce phénomène est appelé diffusion

de Rayleigh. Il est causé par la variation aléatoire locale de la position des molécules de silice constituant la fibre induisant une variation locale de l'indice de réfraction. Chaque section élémentaire de la fibre se comporte comme un milieu ponctuel présentant des propriétés optiques légèrement modifiées et renvoie vers la source une partie infime de la lumière incidente. En collectant cette lumière et en la détectant, on peut recueillir un signal qui, une fois analysé, permet de contrôler l'atténuation de la fibre, sa longueur, la présence et la position d'un défaut, l'atténuation d'un connecteur, etc. Cette mesure par rétrodiffusion est extrêmement utile car elle permet d'effectuer la cartographie d'une liaison complète à partir d'une seule extrémité, sans destruction de la fibre comme dans le cas de la méthode « cut-back ».

Sur un enregistrement temporel du signal rétrodiffusé, l'intervalle de temps Δt séparant deux points particuliers de cet enregistrement correspond au temps mis par la lumière pour parcourir un aller-retour.

Si c est la vitesse de propagation de la lumière dans un milieu d'indice n ,
donner l'expression de la distance l séparant les deux points. Cette
distance est appelée la résolution spatiale de la mesure.

L'OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) est un appareil de mesure permettant de contrôler l'état d'une liaison optique. L'utilisateur, en connectant les câbles optiques avec l'OTDR, peut analyser les points de réflexion intense ou d'atténuation. La puissance de la restitution des impulsions est mesurée en fonction du temps. Elle est ensuite analysée pour déterminer la nature, l'endroit et l'importance du défaut. Pour ce faire, l'OTDR émet un rayonnement de forte puissance dans la fibre optique. Il récupère les données du rayonnement qui a été partiellement rétrodiffusé dans la fibre optique. On obtient un graphique de la forme suivante :

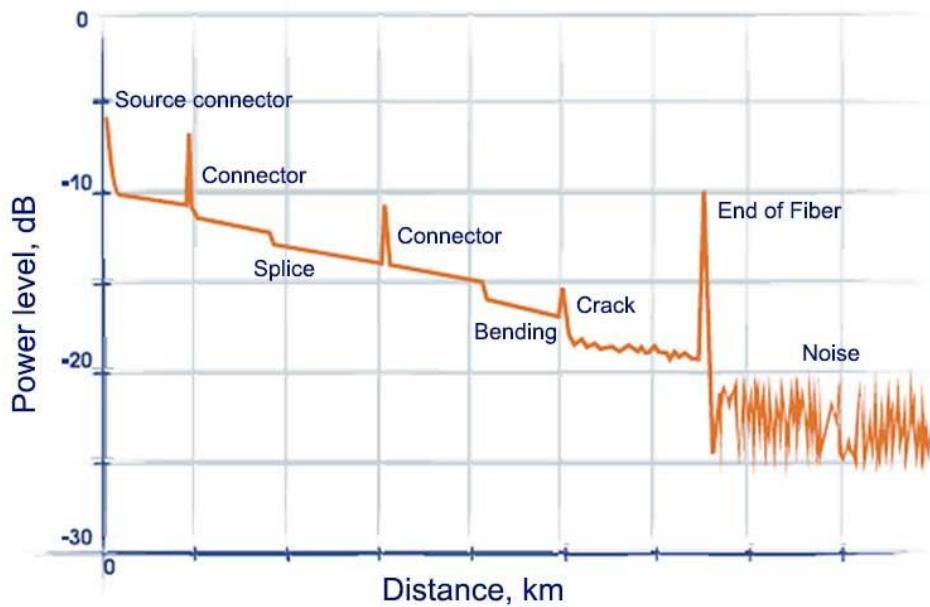


Figure 2 : Exemple de mesure obtenue avec un OTDR

En prenant en compte l'affaiblissement « normal » des fibres optiques, on peut cibler les points de défauts pour la réparation.

A partir de la mesure de l'OTDR de la figure 2, expliquez comment on peut calculer l'atténuation de la fibre sous test. Exprimez l'atténuation de la fibre α en fonction de la puissance et de la distance.

Pour obtenir une bonne qualité de mesure en fonction du mode d'analyse de l'atténuation optique, l'OTDR dépend de plusieurs critères.

- La largeur d'impulsion émise à l'intérieur de la fibre est l'un des paramètres clé pour l'obtention de bons résultats de mesure. Elle détermine la résolution de la distance, paramètre essentiel pour distinguer les événements.

Pour avoir une mesure avec une résolution spatiale de 1 mètre, quelle largeur d'impulsion (en ns) doit-on utiliser?

- La plage dynamique détermine la perte optique que l'OTDR peut analyser; c'est-à-dire la longueur totale du lien de fibre optique pouvant être mesurée par l'appareil. Plus élevée est la plage dynamique, plus longue est la distance pouvant être analysée par l'OTDR. Elle est souvent déterminée par des paramètres tels la largeur de l'impulsion utilisée ou encore son rapport signal sur bruit.

On veut mesurer 1) les pertes ramenée par une épissure au début de la fibre et 2) les pertes totale au bout d'une fibre de 50 km. Quels types d'impulsions devrait-on privilégier pour chaque mesure? Justifier la réponse.

Partie Expérimentale

Méthode du « cut-back »

Pour obtenir de bonnes soudures, il est primordial d'obtenir des faces d'entrées et de sortie sans défaut de surface, et bien perpendiculaires à l'axe de la fibre. Vos résultats dépendront du bon état du clivage (rupture sous tension) des 2 extrémités de la fibre. N'hésitez pas à faire de nombreux essais

Les étapes à suivre sont les suivantes :

1. Connecter la fibre au laser et mesurer la transmission de la fibre à 1550nm avec la sphère d'intégration. Notez la puissance en sortie de la fibre.
2. Eteignez le laser.
3. Enlevez la gaine sur 3-4 cm d'un segment de fibre F-MLD de 2m à l'aide d'une pince à dénuder.
4. Nettoyer délicatement les extrémités de la fibre avec un papier optique imbibé d'éthanol.
5. Utiliser l'outil à cliver pour cliver la partie dénudée de la fibre. A ce stade, une démonstration vous sera faite par l'assistant présent. Si vous respectez les instructions données, vous aurez certainement un bon clivage de la fibre.
6. Vérifier la qualité de la « cleave » en l'examinant à la soudeuse à fibre optique. L'extrémité devrait être parfaitement plane et ne doit pas montrer de défauts.
7. Faites une soudure pour connecter la fibre sous test à la source laser utilisée.
8. Une fois la soudure effectuée, placez la nouvelle extrémité de la fibre sous test dans la sphère intégratrice et enclenchez le laser. Notez la puissance en sortie de la fibre.
9. A partir des mesures obtenues, calculez les pertes induites par la soudure que vous venez de faire.

Utilisation de l'OTDR

Un réflectomètre Anritsu de type MW9060A est mis à votre disposition (voir user guide en annexe). Vous disposez également de deux tronçons de fibre optiques F1 et F2 à caractériser.

A ce stade, appelez un assistant pour une démonstration sur l'usage de l'OTDR et les précautions à respecter pour la manipulation des fibres.

1. Réalisez le montage nécessaire pour caractériser le tronçon F1. En déduire sa longueur et l'atténuation α en dB/km.

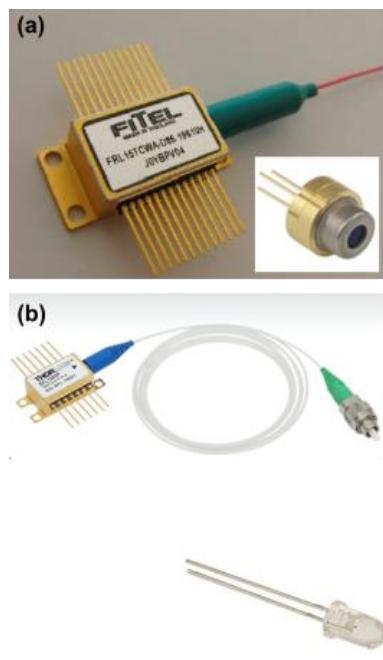
2. Changez la durée de l'impulsion de départ et remesurez la longueur de F1. Que constatez-vous ? Estimez l'incertitude liée à votre mesure de longueur dans chaque cas.
3. Raccordez le tronçon F2 à F1 en utilisant un connecteur et faites un nouvel enregistrement du signal rétrodiffusé. Quelle est l'origine de chacun des pics observés ? Déduire la longueur et le α de F2.
4. Dévisser partiellement le connecteur des deux fibres et recommencer la mesure. Que constatez-vous ?
5. Sachant que les deux tronçons ont été réalisées avec le même type de fibre, déterminez une méthode pour calculer les pertes rajoutées par le connecteur.

TP 2

Caractérisation de sources optiques

L'objectif de ce TP est, d'une part de vous familiariser aux sources optiques couramment utilisées dans les laboratoires, et d'autre part de vous montrer les différentes méthodes pour les caractériser.

Deux types de sources optiques sont principalement utilisées pour la transmission de lumière dans une fibre optique : les lasers et les diodes électroluminescentes (LED) (figure 3). Le choix d'une LED ou d'un laser comme source de lumière dépend généralement de l'application visée.



SLD1128S				
	Symbol	Min	Typical	Max
Center Wavelength	λ_c	1520 nm	1550 nm	1580 nm
Operating Current	I_{OP}	-	400 mA	500 mA
ASE Power*	P_{ASE}	0.75 mW	1.0 mW	-
Optical 3 dB Bandwidth*	BW	100 nm	110 nm	-
Gain Ripple (rms)*	δG	-	-	0.1 dB
Forward Voltage*	V_F	-	1.6 V	2.0 V
Photodiode Sensitivity**	S_{PD}	0.05 A/W	0.1 A/W	0.8 A/W
TEC Operation (Typical / Max @ $T_{CASE} = 25^\circ\text{C} / 65^\circ\text{C}$)				
- TEC Current	I_{TEC}	-	0.35 A	1.5 A
- TEC Voltage	V_{TEC}	-	0.5 V	3.5 V
- Thermistor Resistance	R_{TH}	-	10 kΩ	-

SFL1550S				
	Symbol	Min	Typical	Max
Center Wavelength	λ_c	1549.5 nm	1550 nm	1550.5 nm
Operation Chip Temperature	T_{CHIP}	-	25 °C	-
Operation Case Temperature	T_{CASE}	10 °C	-	60 °C
Operating Current	I_{OP}	-	300 mA	-
Optical Power @ I_{OP}	P_{OUT}	25 mW	40 mW	-
Side Mode Suppression Ratio	SMSR	40 dB	45 dB	-
Linewidth (Lorentzian Line Shape)	$\Delta\nu$	-	50 kHz	100 kHz
Threshold Current	I_{TH}	-	50 mA	-
Slope Efficiency	$\Delta P/\Delta I$	-	0.2 mW/mA	-
Relative Intensity Noise	RIN	-	-150 dB/Hz	-
Forward Voltage @ I_{OP}	V_F	-	1.5 V	1.8 V
Single-Frequency Continuous Tuning Range (1 kHz rate)	Δf	-	3 GHz	-
TEC Operation @ $T_{CASE} = 25^\circ\text{C}$				
- TEC Current	I_{TEC}	-	0.3 A	-
- TEC Voltage	V_{TEC}	-	0.6 V	-
- Thermistor Resistance	R_{TH}	-	10 kΩ	-

Figure 3. Exemples de sources optiques : (a) diode laser dans un « Butterfly package » et (b) LED dans un « Butterfly package »

Les paramètres suivants sont souvent donnés pour caractériser une source (voir figure 3) :

- Efficacité de conversion électrique-optique
- Longueur d'onde centrale
- Largeur spectrale

Le principe de fonctionnement d'une LED est basé sur le phénomène d'électroluminescence. Expliquer ce phénomène.

Sa longueur d'onde d'émission est liée à l'énergie du photon E_g par l'équation :

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g (eV)} (\mu m)$$

En utilisant cette relation, calculez la puissance optique produite par une LED bleu émettant à une longueur d'onde de 470 nm sachant que le nombre de photons émis par seconde est de 2.36×10^{15} photons/s.

La relation entre la puissance optique émise par une diode laser commerciale ayant une longueur d'onde d'émission de 1550 nm en fonction du courant d'injection est illustrée sur la figure 4.

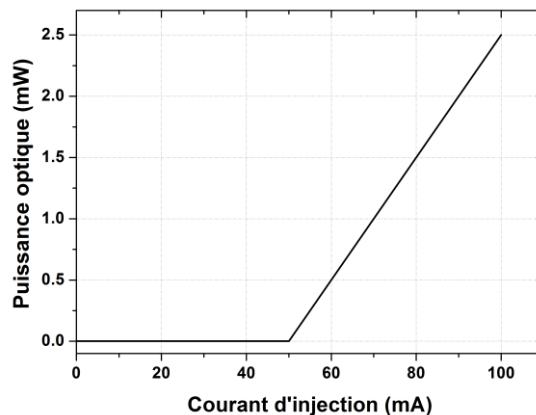


Figure 4 Puissance optique v/s courant d'injection d'un laser.

Calculer l'efficacité quantique de ce laser (pente de la courbe).

Pour un $I=60$ mA, la tension délivrée à la diode est de 2V. Déterminer l'efficacité de conversion électrique-optique de la diode.

Partie Expérimentale

Caractérisation statique d'une source optique en termes de puissance optique

Les diodes sont des composants simples d'utilisation, mais très fragiles d'un point de vue électrique. En particulier, elles supportent très mal une tension inverse et le dépassement du courant maximal autorisé, même pendant un temps très court.

La diode est alimentée par un générateur de courant stabilisé, protégé des parasites du secteur. Le courant d'alimentation maximal est limité à **150 mA**.

- ⚠ Demandez une démonstration à un assistant sur l'utilisation du contrôleur de courant.**
- ⚠ LE GÉNÉRATEUR DE COURANT DOIT TOUJOURS ETRE RAMENÉ A ZÉRO AVANT D'ETRE ALLUMÉ OU ETEINT : NE PAS ETEINDRE BRUTALEMENT LA DIODE À L'AIDE DU BOUTON DE L'ALIMENTATION !**

La diode laser

La puissance lumineuse émise par la diode laser est mesurée à l'aide d'un puissance-mètre et la mesure s'effectue directement en Watts.

Afin de déterminer la dépendance d'une diode laser à son courant de polarisation, faites le montage suivant :

- 1 Fixer la température de fonctionnement de la diode laser à 25°C. Vérifier que la résistance lue par le contrôleur est compatible avec ce qui est visible sur la caractéristique de la thermistance ci-dessous.

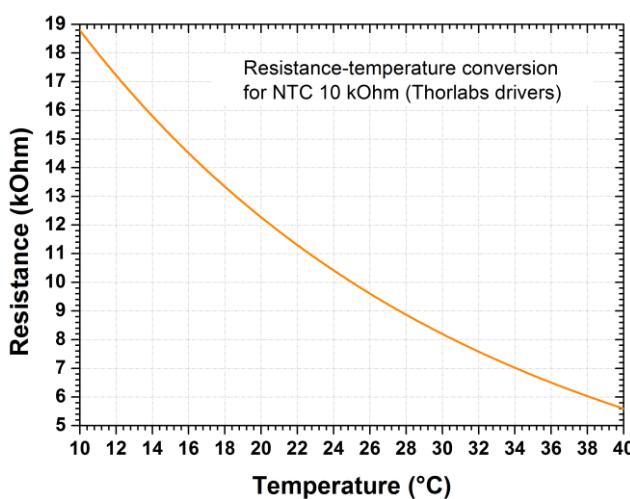


Figure 5

- 2 A la sortie de la diode laser, placer un isolateur optique pour éviter un retour de la lumière dans la cavité laser. **L'isolateur optique est un dispositif qui permet d'isoler la diode laser de toute lumière réfléchie (ou issue indépendamment) du montage aval qui pourrait perturber son comportement. Vous remarquerez sur le côté du dispositif la flèche qui indique le sens d'utilisation de l'isolateur.**
- 3 Placer le détecteur juste derrière l'ensemble {diode + isolateur}.
- 4 Tracer les courbes de la puissance lumineuse émise P_{opt} en fonction du courant d'alimentation I_{alim} de la diode $P_{opt} = f(I_{alim})$, pour les valeurs actuelles indiquées dans le tableau et pour les valeurs de température $T = 20^\circ, 25^\circ$ et $30^\circ C$.

I_{alim} (mA)	P_{opt} (μ W)
10	
20	
22	
24	
30	
40	
50	
80	

- 5 Déduire de ces courbes une valeur du courant de seuil I_{th} à chaque température. Vous expliquerez de quelle façon vous définissez ce courant, et préciserez comment il varie avec la température.
- 6 Évaluer la pente de la caractéristique au-dessus du seuil à partir des mesures précédentes, c'est-à-dire l'efficacité quantique du laser (mW/mA), aux températures fixées.

La LED

- 7 Considérons maintenant la LED. Mesurez la puissance lumineuse émise P_{opt} en fonction du courant d'alimentation I_{alim} de la LED $P_{opt} = f(I_{alim})$ pour les valeurs suivantes. Comparer et commenter les courbes.

I_{alim} (mA)	P_{opt} (μ W)
10	
20	
30	
40	
60	
80	
100	

Caractérisation spectrale (en longueur d'onde)

⚠ Demandez une démonstration à un assistant sur l'utilisation d'un analyseur de spectre optique.

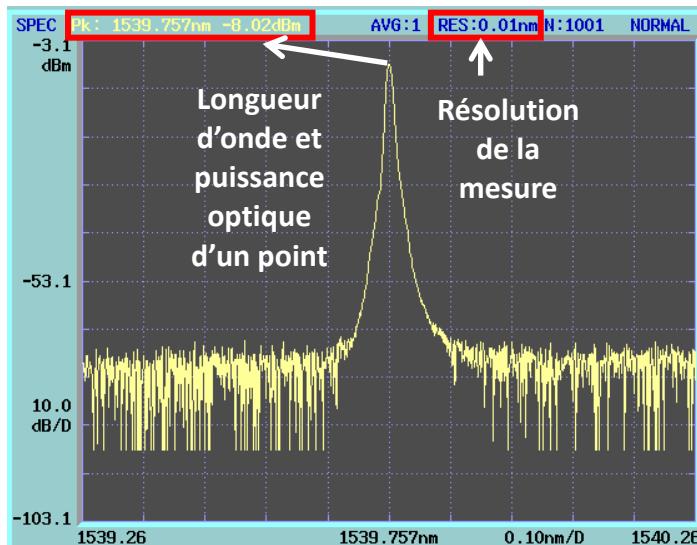


Figure 6 : Exemple de la réponse spectrale d'un laser mesurée à l'analyseur de spectre optique

La réponse spectrale d'un composant optique est très importante car elle permet de connaître la bande passante (en termes de longueur d'onde) du composant. A titre d'exemple, la comparaison d'un spectre avant et après le composant permet de savoir si une partie de la bande de fréquence optique (longueur d'onde) est filtrée ou non.

Généralement, un analyseur de spectre optique est utilisé pour une analyse spectrale. Cet appareil de mesure permet de distribuer la puissance optique en fonction de la longueur d'onde. Un exemple de mesure obtenue avec un analyseur de spectre optique est affiché sur la figure 6. Nous voyons que nous avons notamment accès à la longueur d'onde et à la puissance optique correspondant à un point. La résolution de l'appareil peut aussi être changée en fonction des besoins.

La diode laser

- 8 Analyser les spectres d'émissions de la diode laser au-dessus du seuil grâce à l'analyseur de spectre optique au fur et à mesure que la température change. Qu'en déduisez-vous ? Cherchez le pic autour de 1300nm.
- 9 Mesurez le spectre d'émission de la DEL et comparez-le à celui de la diode laser.

TP 3

Caractérisation de composants optiques passifs

L'objectif de ce TP est, d'une part de vous familiariser à certains composants optiques passifs couramment utilisés dans les laboratoires, et d'autre part de vous montrer les différentes méthodes de caractérisation.

Les composants optiques « fibrés » utilisés dans les laboratoires sont généralement conditionnés dans un boîtier avec des fibres connectées faisant office d'entrées ou de sorties de ces composants. Comme on peut le voir sur la figure 7, ces composants peuvent avoir 1 ou plusieurs ports d'entrée et de sortie dépendant de leurs fonctions.

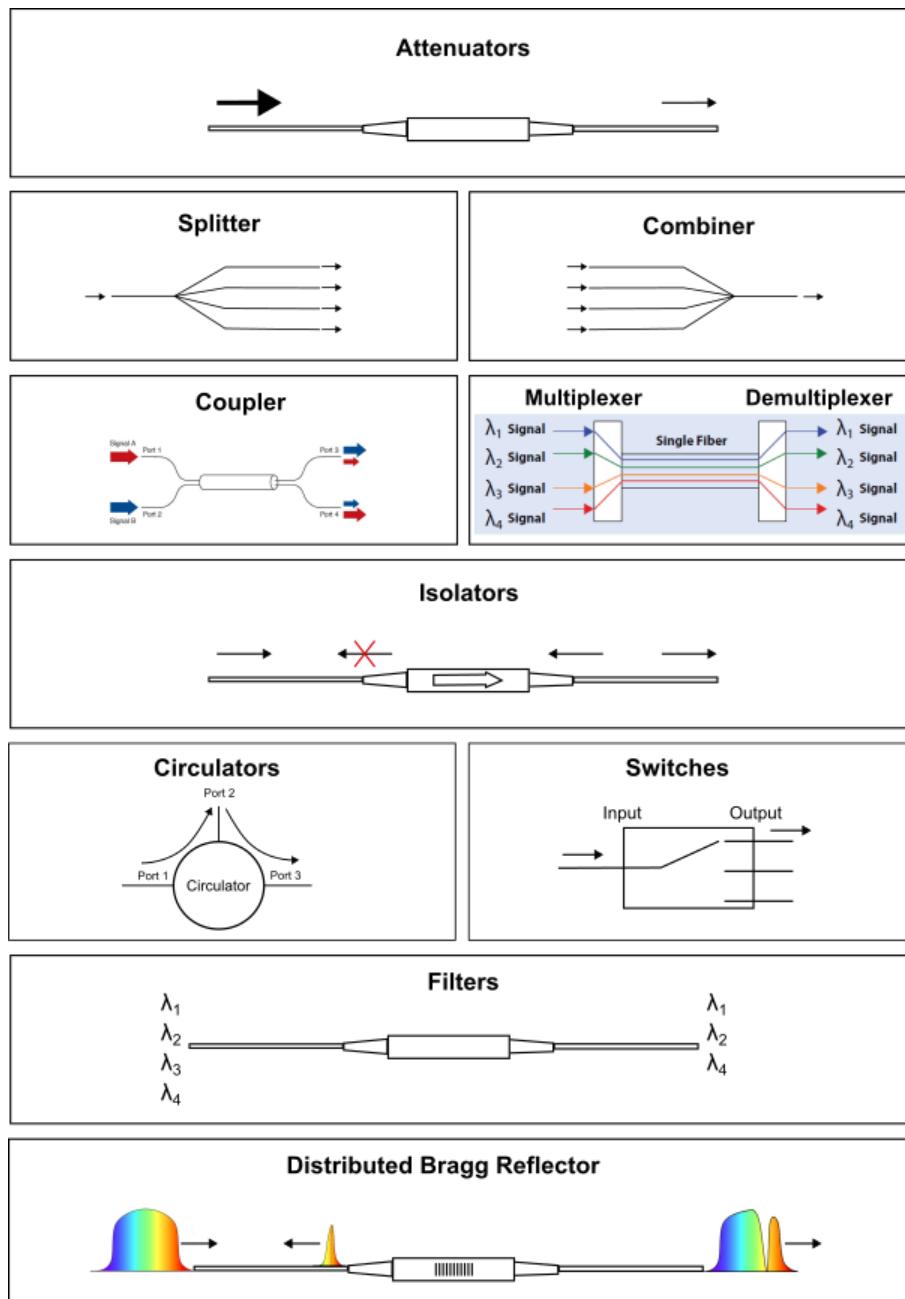
Un peu comme en électronique, ces composants peuvent être utilisés pour :

- Atténuer un signal optique (atténuateur)
- Séparer/combiner des signaux optiques (multiplexeur, coupleur)
- Filtrer spectralement un signal optique (filtre)
- Réfléchir totalement ou partiellement un signal optique (circulateur, filtre de Bragg)
- Imposer un sens au trajet emprunté par le signal optique (isolateur)



Figure 7 : Exemples de composants optiques passifs.

Un tableau récapitulatif est proposé ci-dessous.



Caractérisation de puissance

Le contrôle de la quantité de lumière passant par un composant est un paramètre important car cette mesure permet de déterminer quelques paramètres, notamment :



Figure 8 : Mesure (a) des pertes de la voie 2 et (b) de la directivité.

- les pertes par voie

Cette quantité α_i (i étant le numéro de port) définit la quantité de lumière que nous perdons en passant d'une voie à une autre. Si nous considérons le premier cas de la figure 8 (a), c'est-à-dire une injection par le port #1 et une mesure sur le port #2, α_2 est donnée par :

$$\alpha_2 = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_2}{P_1} [dB]$$

Dans le cas coupleur 50/50 optique, c'est-à-dire un coupleur qui repartit de façon symétrique la puissance P_1 sur le port #2 et le port #3, donnez la valeur de α_2 .

– **La perte d'insertion globale :**

Cette quantité α_g définit la quantité totale de lumière que nous perdons en passant par le composant optique. α_g est donnée par :

$$\alpha_g = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_2 + P_3}{P_1} [dB]$$

Sachant que les pertes par connecteur sont estimées à 0.25 dB, calculez les pertes d'insertion globale du coupleur 50/50 ?

– **Directivité :**

Considérons le cas où la lumière est injectée sur le port #2 (figure 8 (b)), la directivité D est définie par la quantité de lumière qui revient en #3. A titre d'exemple, une directivité de 100 % signifie que toute la puissance optique va du port 2 au port 3.

$$D = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_2}{P_3} [dB]$$

Dans le cas d'un isolateur optique, la transmission de la lumière est permise dans un seul sens de propagation (port #1 vers port #2) en atténuant 10000 fois le sens de propagation que l'on souhaite bloquer. En considérant une perte d'insertion globale de 1 dB, donnez :

la directivité du port #1 vers le port #2

la directivité du port #2 vers le port #1

Caractérisation spectrale (en longueur d'onde)

Lire le paragraphe sur l'analyse spectrale dans le TP2.

Partie expérimentale

2 Caractérisation de différents composants optiques passifs

Vous trouverez tous les composants nécessaires sur la table optique pour créer le montage illustré dans la Figure 9 :

- Une source laser accordable qui vous permet de changer la longueur d'onde d'émission du laser (Laser)
- Un puissance-mètre optique qui vous donne une mesure directe de la puissance optique en sortie d'un composant (PD)
- Une source blanche dans la bande C, c'est-à-dire une source émettant sur la totalité de la bande 1530 nm – 1565 nm (EDFA)
- Un analyseur de spectre optique pour faire des mesures spectrales (OSA)

Utilisez d'abord le laser et vérifiez ce que vous voyez sur l'analyseur de spectre (OSA) et le photodétecteur (PD) lorsque la longueur d'onde du laser change. Dans un deuxième temps, remplacez le laser par la source à large spectre (EDFA) et vérifiez ce qui se passe dans ce cas. Pouvez-vous identifier le composant indiqué par le point d'interrogation ? Il correspond à l'un des composants indiqués dans le tableau.

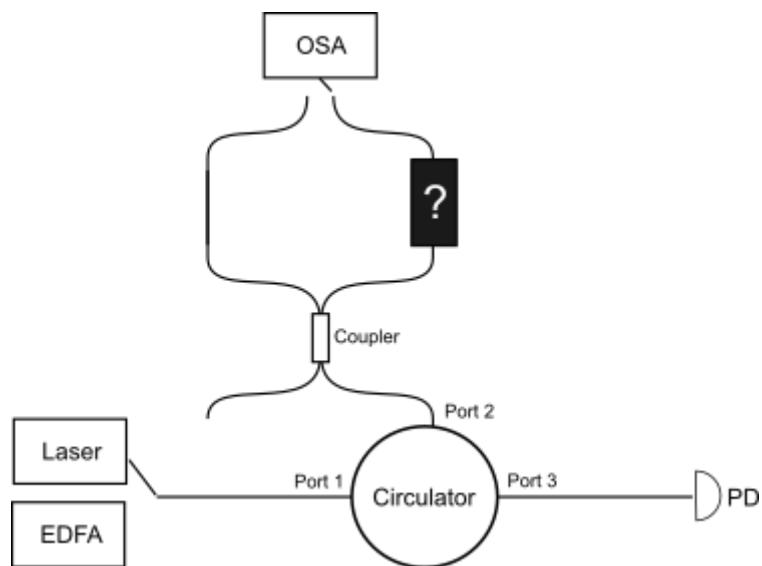


Figure 9 : Montage à réaliser

TP 4**Modulateurs électro-optiques**

Les modulateurs électro-optiques sont des dispositifs qui exploitent un contrôle électrique pour modifier l'intensité (modulateurs d'amplitude) ou la phase (modulateurs de phase) des signaux optiques. Ils sont généralement constitués d'un matériau optique non linéaire qui réagit à une tension appliquée par un changement de son indice de réfraction. Lorsque ce changement est proportionnel à l'amplitude du champ appliqué, on parle d'effet électro-optique linéaire ou effet Pockels. Il existe des modulateurs électro-optiques en espace libre, à fibre optique et intégrés sur puce.

Modulateurs de phase

Les modulateurs de phase sont les modulateurs les plus simples, composés d'une seule cellule de matériau non linéaire. En appliquant une tension à la cellule, un retard de phase dans le champ optique en propagation peut être induit. La tension nécessaire pour induire un déphasage de π est appelée tension de demi-onde (V_π).

Modulateurs d'amplitude

Les modulateurs d'amplitude peuvent être réalisés en intégrant un modulateur de phase dans un interféromètre de Mach-Zehnder. Le signal optique est d'abord divisé de manière égale entre les deux bras de l'interféromètre ; l'un des bras subit un retard de phase par rapport à l'autre ; puis les deux bras sont recombinés et les signaux optiques interfèrent, convertissant ainsi le retard de phase en une variation d'amplitude.

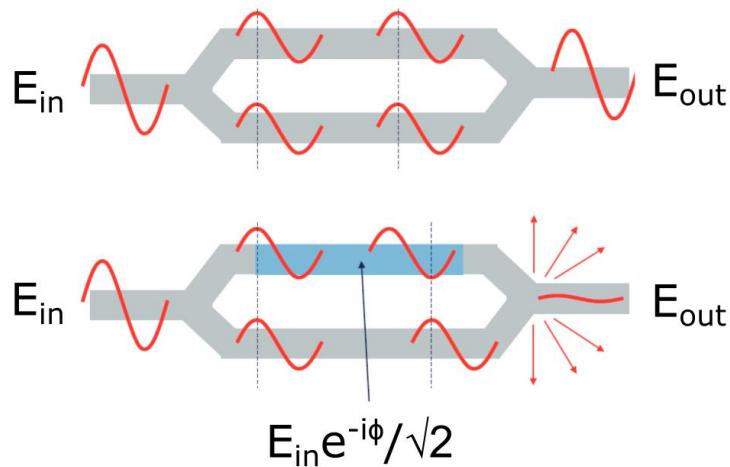


Figure 10

$$E_{out} = \frac{E_{in}}{2} (1 + e^{-i\phi})$$

$$I_{out} = |E_{out}|^2$$

Quelle est la variation d'amplitude attendue pour une tension appliquée de V_π sur le bras supérieur ? Écrivez les calculs.

Caractériser la distorsion du signal haute fréquence transmis par la fibre au moyen d'un diagramme de l'œil

Dans un canal de télécommunications, les données échangées sont codées en valeurs 0 ou 1, obtenus par une modulation du signal. Si nous additionnons N traces temporelles idéales (les valeurs autorisées sont 0 ou 1), nous obtenons le modèle illustré au bas de la figure (a). Dans un canal de transmission réel, les distorsions induites par le canal font que la superposition des motifs est une concaténation de diagrammes de l'œil comme celui présenté en bas de la figure (b). Un diagramme de l'œil est un outil de visualisation utilisé dans les télécommunications pour évaluer la qualité d'un signal numérique transmis sur un canal de communication. Chaque œil est caractérisé par son ouverture et sa largeur (voir figure (c)), qui sont affectées par les distorsions comme le montre la figure (d). En bref, le diagramme de l'œil fournit des informations cruciales sur la qualité du signal, y compris des paramètres tels que la gigue, l'atténuation et la distorsion. Un diagramme de l'œil bien défini et symétrique indique une bonne qualité du signal, tandis qu'un diagramme déformé ou mal défini peut indiquer des problèmes dans le transport du signal.

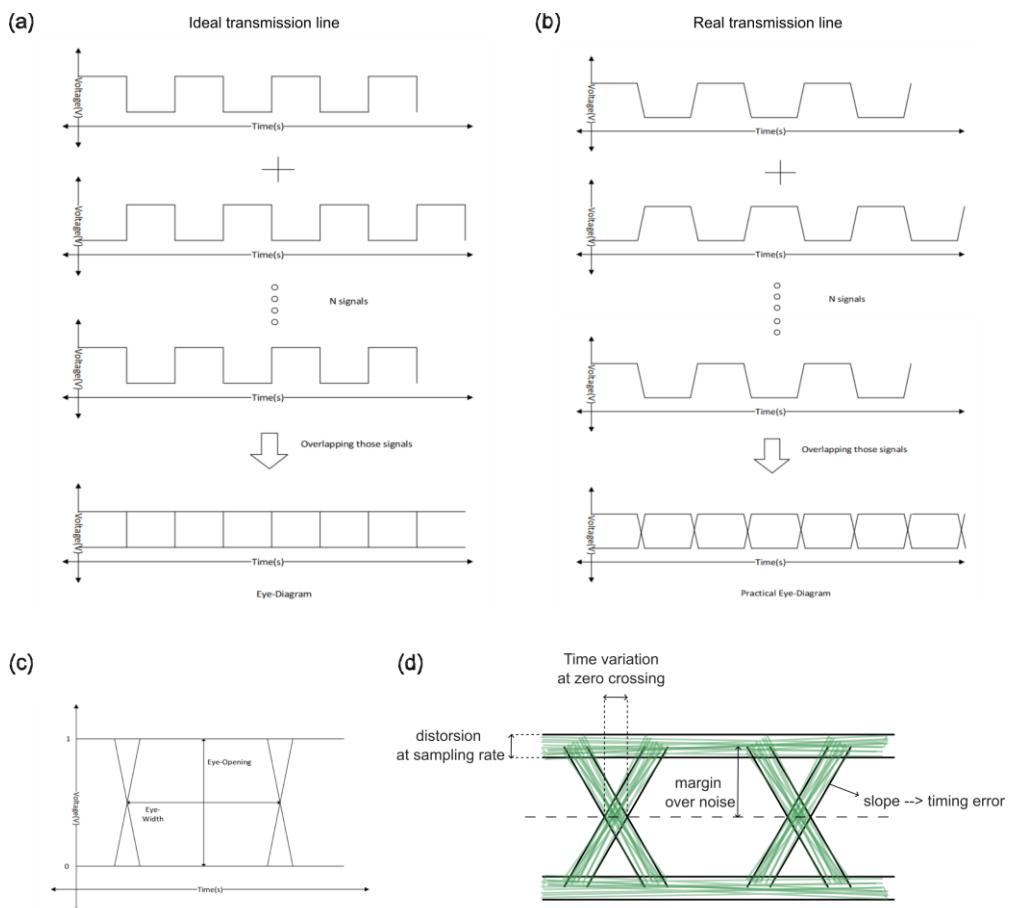


Figure 11 : canal de transmission idéal (a) et canal de transmission non idéal (b). Diagramme de l'œil (c) et distorsions relatives (d).

Partie expérimentale

Sur la table optique, nous trouverons les instruments et dispositifs suivants :

- Un laser accordable
- Un contrôleur de polarisation (PC)
- Un modulateur électro-optique (EOM)
- Un photodétecteur (PD)
- Un oscilloscope
- Une source de tension continue (DC)
- Un générateur de signal RF

1. Effectuez les connexions suivantes en utilisant les connecteurs à fibre disponibles (assurez-vous qu'ils sont propres) :

- Connecter le laser au PC
- Connecter le PC au PD
- Connecter le PD à l'oscilloscope (ch1)

2. Mettez sous tension le laser et l'oscilloscope.

- Réglez la puissance optique à 1 mW et la longueur d'onde à 1550 nm.
- Vérifiez la valeur de la tension du PD sur l'oscilloscope ch1.

3. Ajoutez le modulateur électro-optique (EOM) entre le PC et le PD (Faites attention aux ports d'entrée et de sortie de l'EOM !)

- Connecter le générateur de signal RF à la fois à l'entrée RF de l'EOM et à l'oscilloscope (ch2)
- Connecter la source de tension continue à l'entrée DC de l'EOM

4. Vérifiez la tension du PD sur l'oscilloscope ch1 dans cette configuration et optimisez la transmission en ajustant la polarisation.

5. Allumez la source de tension continue et notez la tension du PD pour les valeurs de tension continue suivantes :

DC voltage	Ch1 (V)
-8	
-6	
-4	
-2	
0	

2	
4	
6	
8	

Quelle est la valeur de V_π pour ce modèle d'EOM ?

Quelles sont les pertes d'insertion de ce dispositif ?

6. Expérience avec le générateur de signal RF

- Réglez la tension continue (DC) à la valeur $V_{\pi/2}$
- Allumez le générateur de signal RF et configurez les paramètres suivants :
 - $V_{pk}=1V$
 - Fréquence = 10 kHz
 - Signal sinusoïdal
- Observation sur l'oscilloscope :
 - Que voyez-vous sur ch1 ?
 - Comment cela se compare-t-il à ch2 ?

7. Expérimentations supplémentaires :

- Modifiez la fréquence et la forme du signal pour observer la réponse de l'EOM.

8. Tests à haute fréquence :

- Augmentez la fréquence à 1 MHz.
- Modifiez la tension DC et RF pour tester différentes configurations (voir Fig.12).

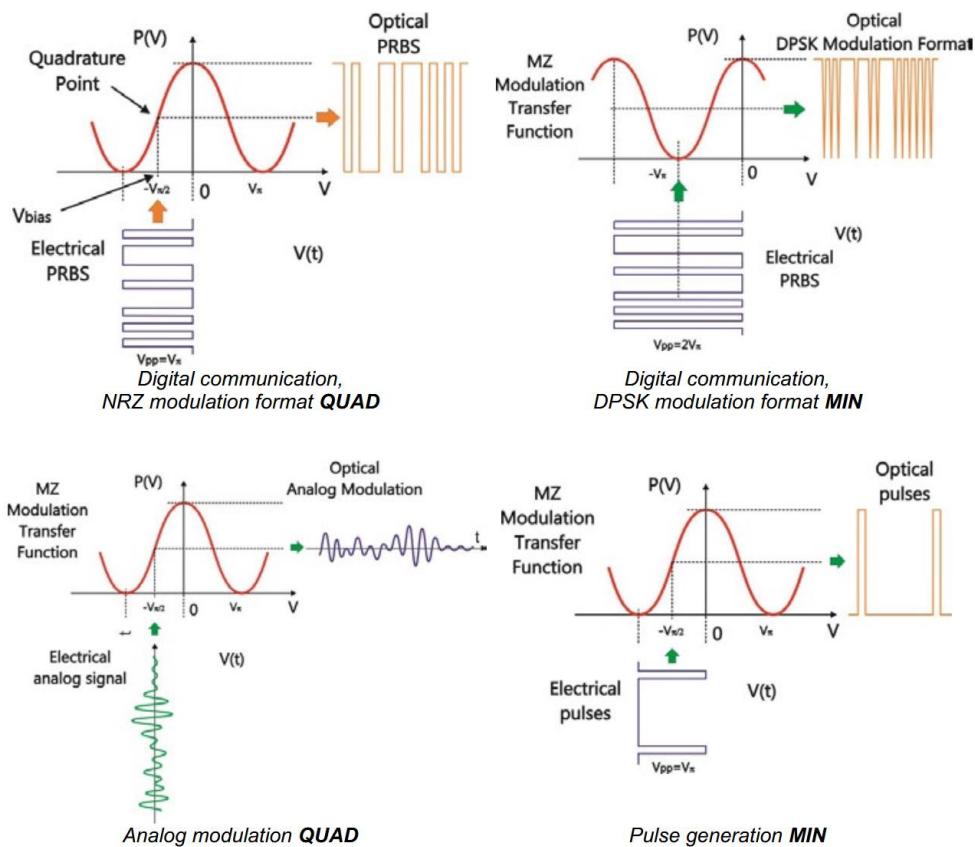


Figure 12 (Introduction-to-modulator-bias-controllers, Laser Components Germany GmbH)

9. Remplacez le générateur de signal RF par un PRBG (pseudo-random bit generator)
 - Réglez un signal en onde carrée avec la fréquence maximale compatible avec l'EOM, le PRBG et l'oscilloscope.
 - Sur l'oscilloscope, superposez plusieurs traces temporelles provenant de ch1.
 - Pouvez-vous observer le diagramme de l'œil ?