



---

# Physique

## Fibres optiques 2

---

*Auteurs :*

M. Samuel RIEDO  
M. Pascal ROULIN

*Professeur :*

Dr. Frédy BIENZ

### 1 Introduction

Les fibres optiques sont aujourd'hui largement utilisées comme conducteur de données. Ces dernières sont caractérisées par une vitesse de transmission très rapide et une atténuation faible. Ce dernier paramètre caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation, principalement selon les phénomènes de l'absorption et de la diffusion. Ce laboratoire démontre comment un signal est atténué dans une fibre en fonction de sa longueur ainsi que lorsqu'un connecteur apponte deux fibres.

## 2 Buts

### 2.1 Mesure par rétrodiffusion

Soit une ligne constituée de cinq fibres optiques monomodes. Les deux premières sont alignées grâce à une positionneuse (figure 1). De la glycérine est également ajoutée à l'intersection des deux fibres afin de réduire l'atténuation du fait que cette dernière a un indice de réfraction très proche de celui du quartz ( $n_{\text{glycerin}} = 1.473$ ,  $n_{\text{quartz}} = 1.46$ ). Les bobines suivantes sont reliées ensemble via des connecteurs. La première est reliée à un Optical Time Domain Reflectometer (OTDR), l'autre à une terminaison réfléchissant les photons dans la direction inverse.

L'OTDR va envoyer des photons avec une longueur d'onde de 1310nm et 1550 nm. Ces derniers reviendront à la source après avoir été réfléchis par la terminaison et bout de ligne. Il est alors possible de mesurer la longueur de la fibre et son atténuation par bobine.

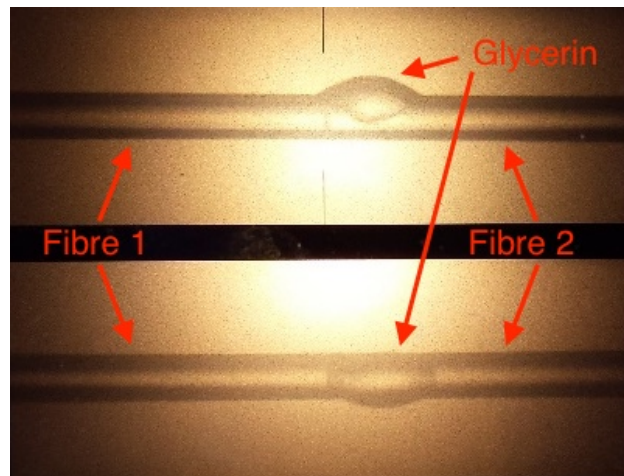


FIGURE 1 – Alignement des fibres entre les bobines 1 et 2

### 2.2 Mesure par transmission

L'atténuation d'une fibre optique peut également être mesurée en comparant la puissance d'entrée à celle à la sortie. Un émetteur optique enverra une puissance optique d'une certaine longueur d'onde dans une fibre courte (moins de deux mètres) dont l'extrémité sera reliée à un récepteur optique mesurant la puissance de sortie. Cette mesure nous donne la puissance d'entrée sur longue fibre. Il est donc ensuite possible de réaliser la même mesure sur une plus grande fibre pour mesurer la puissance à la sortie. Le différentiel des deux valeurs donnera l'atténuation totale de la fibre, ce qui, une fois divisé par sa longueur, sera égal à son atténuation par kilomètre.



FIGURE 2 – Emetteur



FIGURE 3 – Récepteur

### 3 Résultat des mesures

#### 3.1 Mesure par rétrodiffusion

##### 3.1.1 Alignement des fibres

Deux des fibres ne sont pas reliées par un connecteur, mais directement placées l'une face à l'autre au moyen d'une positionneuse trois axes (figures 1). Un alignement optimal permet de réduire au minimum l'atténuation entre le passage des photons de la première à la deuxième fibre. L'OTDR est utilisé pour visualiser cette atténuation en direct afin de régler au mieux la positionneuse.

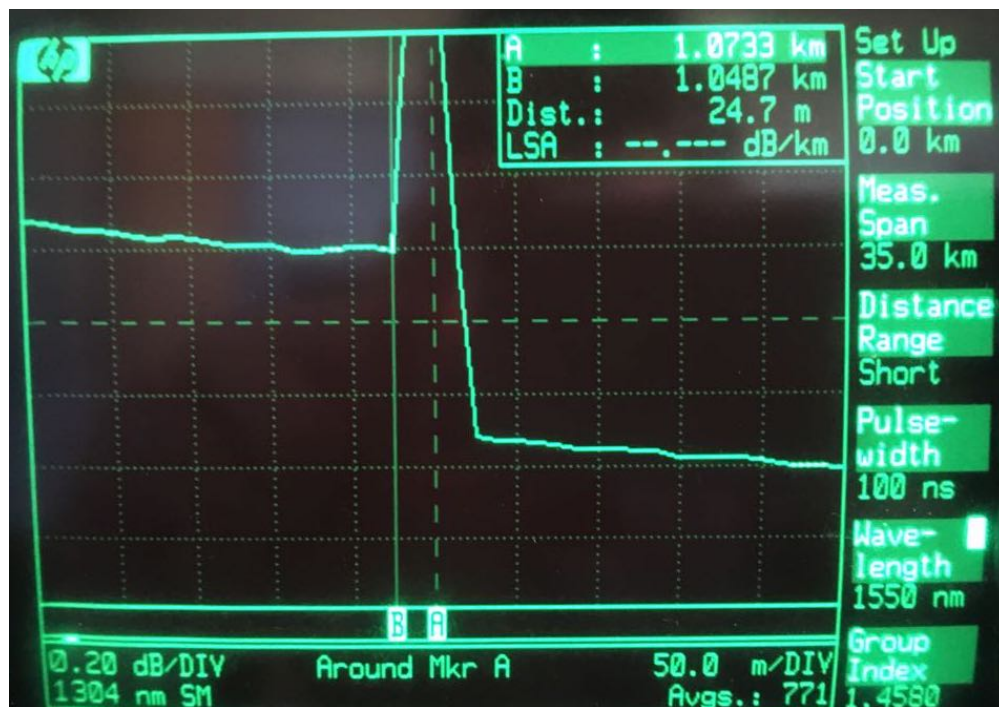


FIGURE 4 – Atténuation entre les deux fibres

La mesure ci-dessus (figure 4) indique une atténuation d'environ  $2,6 \text{ DIV} \cdot 0,2 \text{ dB/DIV} = 0,52 \text{ dB}$ , soit une perte d'environ 12%. De la glycérine a été introduite entre les deux fibres pour réduire l'atténuation du changement d'indice. Cette dernière ayant un indice de réfraction presque identique à celui du quartz, contrairement à l'air.

Le pic entre les deux pentes est lié à la réflexion des rayons lors du changement d'indice. Le positionnement des fibres sera conservé pour toutes les mesures par rétrodiffusion (3.1).

### 3.1.2 Mesures à 1310nm

Soit la figure 5 la moyenne de 771 mesures de l'atténuation sur l'ensemble de la ligne. Plusieurs "sauts" de puissance sont distinguables. Chacun d'entre eux correspond au passage d'une fibre à une autre, et donc au passage au travers d'un connecteur à l'exception du premier "saut" correspondant au passage entre les deux fibres étant alignées l'une en face de l'autre au moyen de la positionneuse (3.1.1).

**Remarque :** Le "bruit" observable sur la deuxième moitié de la mesure 5 est dû à un ordre de connexion des fibres incorrect. Étant donné le montage déjà réalisé lorsque nous sommes arrivés et la consigne de ne pas le modifier, nous n'avons pas été en mesure d'évaluer la longueur et l'atténuation des fibres contenues dans les bobines 3 et 4.

Il est dès lors possible, grâce à des marqueurs, de trouver la longueur et l'atténuation de chaque fibre constituant la ligne. Le premier marqueur, "A", sera placé juste après un pic. Le marqueur "B" sera lui placé juste avant le pic suivant. L'appareil sera alors en mesure de nous donner la distance et l'atténuation entre les deux marqueurs, ce qui correspondra aux caractéristiques de la bobine.

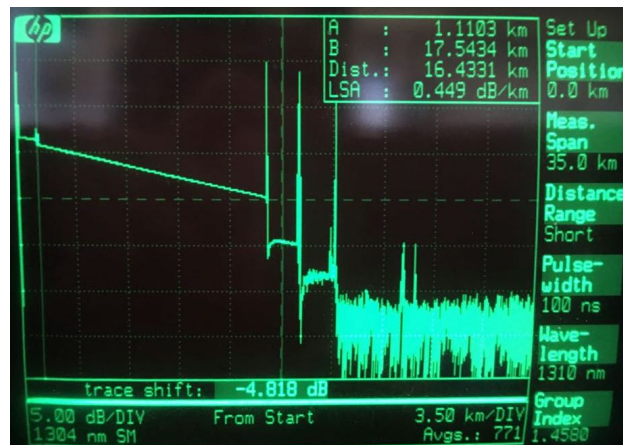


FIGURE 5 – Mesures sur l'ensemble de la ligne



FIGURE 6 – Longueur & atténuation de la première bobine

**Bobine 1 :** Le graphique ci-contre (figure 6) indique une distance de 974,6 mètres entre les deux marqueurs "A" et "B". L'atténuation est elle de 0,332dB/km. Ces chiffres correspondent à ceux inscrits sur la bobine, à savoir une distance de 1080m et une atténuation de 0,34dB/km avec une différence de 10% sur la longueur. Cet écart s'explique par la précision de la mesure (où sont placés les marqueurs), la précision de l'OTDR et la distance réelle de la fibre qui est sans doute inférieure à 1080m du fait qu'elle a déjà été coupée.

**Remarque :** La bobine 1 est la première depuis l'OTDR, la bobine 2 la seconde, etc.



**Bobine 2 :** De la même manière que pour la mesure de la première bobine, des marqueurs ont été placés entre deux pics (figure 7). Selon nos mesures, la fibre serait longue de 15'125m avec une atténuation de 0,355dB/km, soit 5,37dB en tout. Les informations du fournisseur sont très proches, à savoir 15'302m et 0,37dB/km.

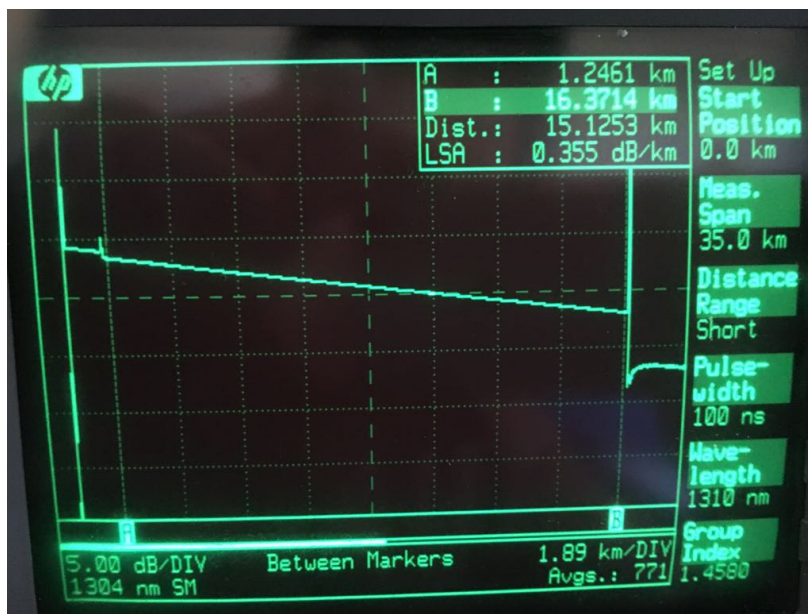


FIGURE 7 – Longueur & atténuation de la seconde bobine

**Bobine 3 :** Cette mesure présente un cas particulier. L'atténuation est négative sur l'ensemble de la bobine à cause du connecteur. Il est donc nécessaire de placer le marqueur "A" à deux endroits différents pour mesurer l'atténuation la longueur.

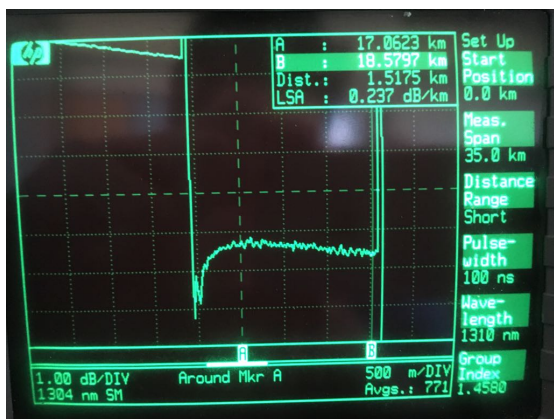


FIGURE 8 – Atténuation de la troisième bobine

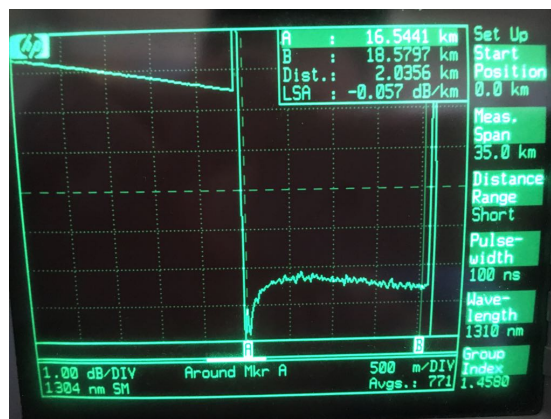


FIGURE 9 – Longueur de la troisième bobine

Nous trouvons dès lors une longueur de 2'035m et une atténuation de 0,23dB/km, soit 0,46dB/km sur l'ensemble de la fibre. Ses résultats ne correspondent pas à la mesure numérotée 3 dans le laboratoire (5408m pour 0,34dB/km). Celle qui s'en rapproche le plus est la 5 (2225m pour 0,33dB/km), mais l'écart entre l'atténuation mesurée et celle du fournisseur est significatif. Nous pensons que l'écart vient principalement du connecteur et de l'erreur de montage qui ne nous ont pas permis d'effectuer ces mesures convenablement. Les deux bobines suivantes ne sont d'ailleurs pas mesurables pour ces mêmes raisons (voir figure 4).

### 3.1.3 Mesures à 1550nm

L'ordre des dernières bobines de notre ligne fut modifié par M. Bienz avant cette mesure pour nous permettre de toutes les mesurer. Malheureusement, suite à cette modification, nous n'avons toujours pas été en mesure de mesurer la dernière bobine.

Pour ce qui est des quatre premières bobines, la procédure suivie fut la même que précédemment (3.1.2) à la différence de la longueur d'onde de l'OTDR, qui était de 1550nm.

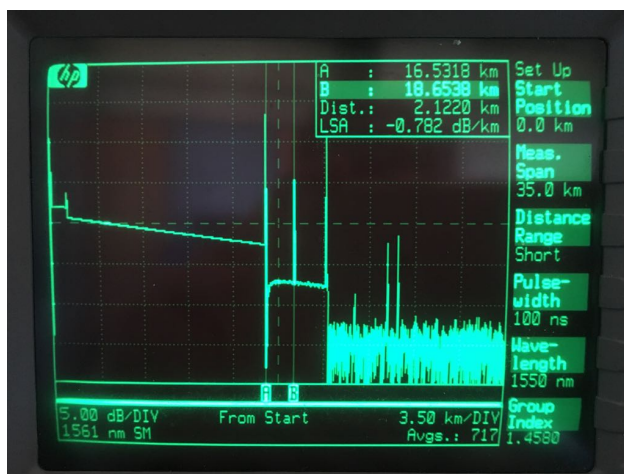


FIGURE 10 – Mesures sur l'ensemble de la ligne

**Bobine 1 :** La longueur mesurée vaut 962m pour une atténuation de 0,19dB/km, ce qui correspond avec les 0,21dB/km donnés par le fabricant. Il a noté que l'atténuation a changé entre la mesure à 1310nm puisque celle-ci dépend entre autres de la longueur d'onde.

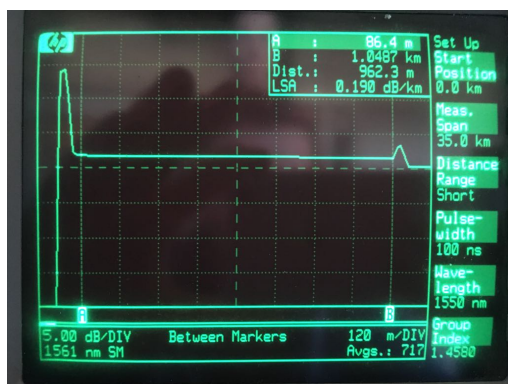


FIGURE 11 – Longueur & atténuation de la première bobine

**Bobine 2 :** La longueur mesurée vaut 15'981m pour une atténuation de 0,207dB/km (0,22dB/km fabricant). L'atténuation totale de cette fibre vaut donc 3.3dB. Une fois encore, l'atténuation à changer entre la mesure à 1310nm pour la même raison.

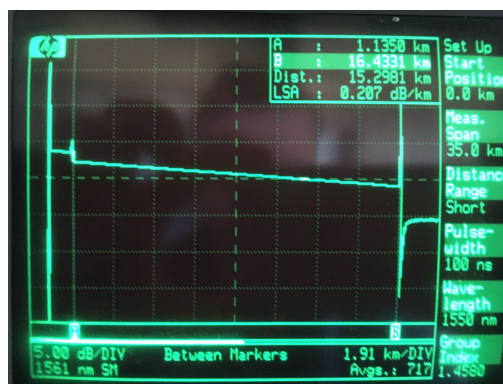


FIGURE 12 – Longueur & atténuation de la deuxième bobine

Les mesures sur la troisième bobine relèveront une longueur de 2'120m avec une atténuation de 0,104dB/km. Celle de la quatrième bobine respectivement 2'356m et 0,197dB/km.

Les valeurs de la bobine 3 correspondent avec celle numérotée 5 en laboratoire. La bobine 4 est elle juste. Nous constatons donc que le montage n'était cette fois encore pas encore totalement juste.

## 3.2 Mesures par transmission

### 3.2.1 Puissance d'entrée

Le principe de la mesure par transmission consiste à mesurer la différence de puissance entre l'entrée et la sortie d'une fibre. Il est donc nécessaire de connaître la puissance d'émission à l'entrée et à la sortie. S'il est simple de mesurer la puissance de sortie, celle d'entrée est plus difficile. Les faisceaux subissent une atténuation lorsqu'il passe de l'émetteur à la fibre, ce qui induit que la puissance de l'émetteur n'est pas celle d'entrée de la ligne. Afin d'obtenir des valeurs proches, une fibre courte (environ deux mètres) sera utilisée pour mesurer à sa sortie la puissance que nous utiliserons comme valeur de puissance en entrée sur des fibres plus longue lorsque nous mesurerons leur atténuation.

De plus, les mesures par transmission ont été réalisées avec trois différentes longueurs d'onde afin d'observer l'impact de ce paramètre sur l'atténuation du signal.

Ci-contre (figure 13) les résultats de nos mesures. Le constat est que sur la même fibre, la longueur d'onde du laser influence la puissance mesurée de façon significative.

Fibre ~ 2m multimodes					
850 nm		1310 nm		1550 nm	
μW	dBm	μW	dBm	μW	dBm
24 71	-16.1	340	-4.6	460	-4.4

FIGURE 13 – Puissance en entrée des fibres

### 3.2.2 Mesures

Une fois la puissance d'entrée des fibres mesurées, le même procédé a été effectué sur deux fibres de longueurs et d'atténuation par longueur d'onde différente. Une atténuation par fibre a ensuite été calculée par fibre et par longueur d'onde.

Bobine 1								
850 nm			1310 nm			1550 nm		
μW	dBm	Atténuation	μW	dBm	Atténuation	μW	dBm	Atténuation
2.1	-26.6	-10.6 dB	266	-5.8	-1.1 dB	330	-4.8	-0.4 dB

Bobine 2								
850 nm			1310 nm			1550 nm		
nW	dBm	Atténuation	μW	dBm	Atténuation	μW	dBm	Atténuation
197	-37.1	-20.9 dB	160	-8	-3.3 dB	255	-6	-1.6 dB

Les microwatts et déciBell milliwatt mesurés correspondent à la puissance de sortie exprimée dans ces deux unités. En effet, nous pouvons convertir des Watts en dBm suivant cette formule :

$$\begin{aligned}
 P(dBm) &= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1000 \cdot P(W)}{1W} \right) \\
 &= 10 \cdot \log_{10} (P(W)) + 30
 \end{aligned}$$

Ce qui est plus intéressant ici est de vérifier l'exactitude de cette conversion avec les valeurs mesurées.

**Exemple :** Que vaut 266μW en dBm ? Selon nos mesures sur la bobine 1 à 1310nm, cela devrait donner -5.8dBm.

$$\begin{aligned}
 P(dBm) &= 10 \cdot \log_{10} (266\mu W) + 30 \\
 &= -5.75dBm
 \end{aligned}$$

Nous disposons également des références fabricants concernant l'atténuation sur ces bobines de fibres, dont voici les informations :

Bobine 1	
850 nm	1300 nm
2.25 dB/km	0.62 dB/km
Longueur : 4.4km	

Bobine 2	
850 nm	1300 nm
2.23 dB/km	0.56 dB/km
Longueur : 8.9km	

Puisque les informations fournies par le fabricant sont exprimées en dB/km, il est nécessaire de multiplier ces atténuations par la distance respective des fibres. Nous pouvons ainsi nous rendre compte que nos mesures sont correctes, tout en admettant une marge d'erreur, pour la longueur d'onde 850 nm. Le fabricant ne fournit pas de références pour les deux autres longueurs d'onde.

## 4 Différences entre rétrodiffusion et transmission

Comme nous avons réalisé des mesures selon ces deux modes, nous avons pu nous rendre compte de certaines différences non négligeables. Dont la plus importante selon nous est la capacité d'obtenir une information précise en cas de problème sur une fibre en utilisant la mode de rétrodiffusion. En effet, avec la méthode par rétrodiffusion, il est possible de savoir exactement à quelle distance, et donc endroit, il y a un problème sur la fibre. Nous avons pu le constater puisque nous avons certains problèmes sur l'enchaînement des 5 bobines.

Si nous avons utilisé la méthode par transmission, la seule information que nous aurions eu est qu'il y aurait effectivement un problème puisque nous n'aurions aucun signal en sortie de la fibre.

La précision qu'apporte la méthode par rétrodiffusion a cependant un coût et un encombrement non négligeables comparés à la méthode par transmission. En effet, l'OTDR est plus encombrant que l'émetteur et récepteur. Nous y voyons ici un avantage pour la méthode par transmission puisque celle-ci pourrait se réaliser aisément sur des installations existantes de fibre optique.

Un autre point relevable est la facilité avec laquelle il est possible de faire des mesures par transmission. Alors qu'avec la méthode par rétrodiffusion, il est nécessaire de savoir se servir et paramétrer l'OTDR.



## 5 Conclusion

L'atténuation du signal transmis dans une fibre optique est mesurable selon deux méthodes, par rétrodiffusion et transmission. Ces deux méthodes permettent de connaître l'atténuation que subit le signal sur une certaine distance. La méthode par rétrodiffusion a le grand avantage de fournir une information plus précise en cas de panne ou problème, puisqu'elle permet de savoir exactement où se situe le saut d'atténuation.

Ce travail pratique nous a permis de tester ces deux méthodes sur des bobines de fibres monomodes ou multimodes. Nous avons ainsi découvert de nouveaux équipements et la procédure à suivre afin de remettre en état l'extrémité d'une fibre optique.

Malgré un soucis de montage pour les mesures avec l'OTDR, il a été intéressant de pouvoir observer les informations fournies par cet appareil en cas de problème et de traiter celles-ci afin d'isoler le problème plus précisément qu'un simple dysfonctionnement.

## 6 Bibliographie

Indice de réfraction: [Wikipedia.org](https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice_de_r%C3%A9fraction)

Decibel-milliwatts: [Wikipedia.org](https://fr.wikipedia.org/wiki/Decibel-milliwatts)

Fribourg, le 19 septembre 2017

---

Samuel Riedo

---

Pascal Roulin