

# TP : Introduction aux télécommunications optiques

Ce TP constitue une première approche des télécommunications optiques, en proposant d'étudier ses divers aspects : il propose notamment une étude de la caractéristique de LEDs, une caractérisation de plusieurs liaisons par fibres optiques. Ainsi, il permet la découverte des principales caractéristiques des systèmes de télécommunication optiques.

## INTRODUCTION

Les télécommunications ont un impact important sur la société moderne aussi bien d'un point de vue économique que d'un point de vue social et culturel. A chaque nouvelle découverte ou évolution des systèmes de transmission de données, toujours de plus en plus rapides, des bouleversements importants ont été provoqués sur notre quotidien (radio, télévision, téléphone, internet...). On s'intéresse ici à l'un des tout derniers principes de télécommunication utilisant les fibres optiques.

On étudiera ici les points clés d'une chaîne complète de système de télécommunication optique: son émission (sources modulables à LED), un moyen de transmission (fibre optique), sa réception (photodiodes) et deux systèmes différents de multiplexage et démultiplexage en longueur d'onde (avec réseaux de diffraction et filtres dichroïques).



**- Kit complet 204 633 :**

- > **Kit** de base Multiplexage optique 204 632
- > Banc magnétique NewMax™ 450x600mm
- > 8 cavaliers NewMax™ simples
- > 2 cavaliers NewMax™ à réglage latéral

**- Kit complémentaire Spectre & Fibres 202 797 :**

- > Spectromètre USB à fibre optique (logiciel d'analyse de spectres SpectrOvio II)
- > 1 source ponctuelle collimatée
- > 1 fibre plastique SMA de 10 m
- > 4 fibres plastique SMA de 2 m
- > 4 connecteurs à fibre SMA/SMA

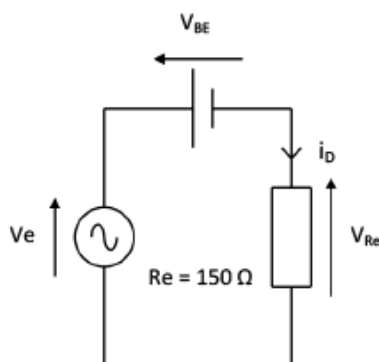
**- Kit de base Multiplexage optique 204 632**

- > - Sources :
  - . 1 laser rouge modulable
  - . 1 laser bleu modulable
- > Détecteurs :
  - . 2 phototransistors SFH-300
- > Supports et composants :
  - . 3 porte-composants simples
  - . 2 supports pour fibre (embases SMA Clix sur tige)
  - . 1 porte-lame mince sur tige
  - . 1 réseau Paton 600 traits/mm
  - . 2 lentilles convergentes,  $f = + 50 \text{ mm}$
  - . 2 filtres dichroïques : jaune et bleu
  - . 1 fibre plastique SMA – 2 m
- > Accessoires : 2 malles de rangement

- **Manipulation 1 : Etude de l'alimentation de la LED**

L'objectif de cette première manipulation est d'étudier le circuit d'alimentation des LEDs compris dans le boîtier émission, afin de déterminer la plage de tension d'alimentation optimale des LEDs.

Le boîtier d'alimentation possède un interrupteur trois positions : la position centrale permet de couper l'alimentation des LEDs, la position droite correspond à une alimentation des LEDs avec un courant constant grâce à l'alimentation de 9V du boîtier et la gauche permet de contrôler le courant circulant dans la LED (et donc sa luminance) à l'aide d'un GBF. Lorsque l'interrupteur est dans cette dernière position, le circuit électronique compris dans le boîtier peut être étudié de manière simplifiée. Le courant traversant la LED peut être évalué grâce au schéma simplifié suivant :



Le courant  $i_D$  circulant dans la résistance  $R_e$  est aussi le courant servant à alimenter la LED à laquelle le boîtier émission est connecté. Pour un fonctionnement optimal, le courant circulant dans la LED doit être compris entre 2 mA et 22 mA.

- Dans le montage précédant, exprimer la tension  $V_e$  en fonction du courant  $i_D$  traversant la résistance  $R_e$ . En sachant que la tension  $V_{BE}$  vaut 0,7V, déterminer les valeurs de tension minimale et maximale d'entrée à appliquer au montage pour que le courant circulant dans la LED corresponde aux spécifications données ci-dessus.

Pour exprimer la tension d'entrée en fonction du courant circulant dans la résistance  $R_e$ , on applique la loi des mailles puis la loi d'ohm aux bornes de  $R_e$ . On obtient alors  $V_e = V_{BE} + i_D R_e$

Pour les valeurs extrêmes de courant spécifiées, on trouve des tensions d'entrée de 1V et 4V. La tension d'alimentation des LEDs doit donc être comprise entre 1 et 4V

- On souhaite maintenant appliquer au montage une tension sinusoïdale. Quelles doivent être les valeurs de l'amplitude crête à crête du signal d'entrée et son offset pour respecter les spécifications tout en ayant un signal d'entrée d'amplitude la plus grande possible ?

La tension d'entrée du montage doit être comprise entre 1V et 4V, ce qui implique un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête maximale de 3V et un offset de 2,5V.

- **MANIPULATION A REALISER AVEC LE SPECTROVIO II DU KIT COMPLEMENTAIRE OPTIQUE**

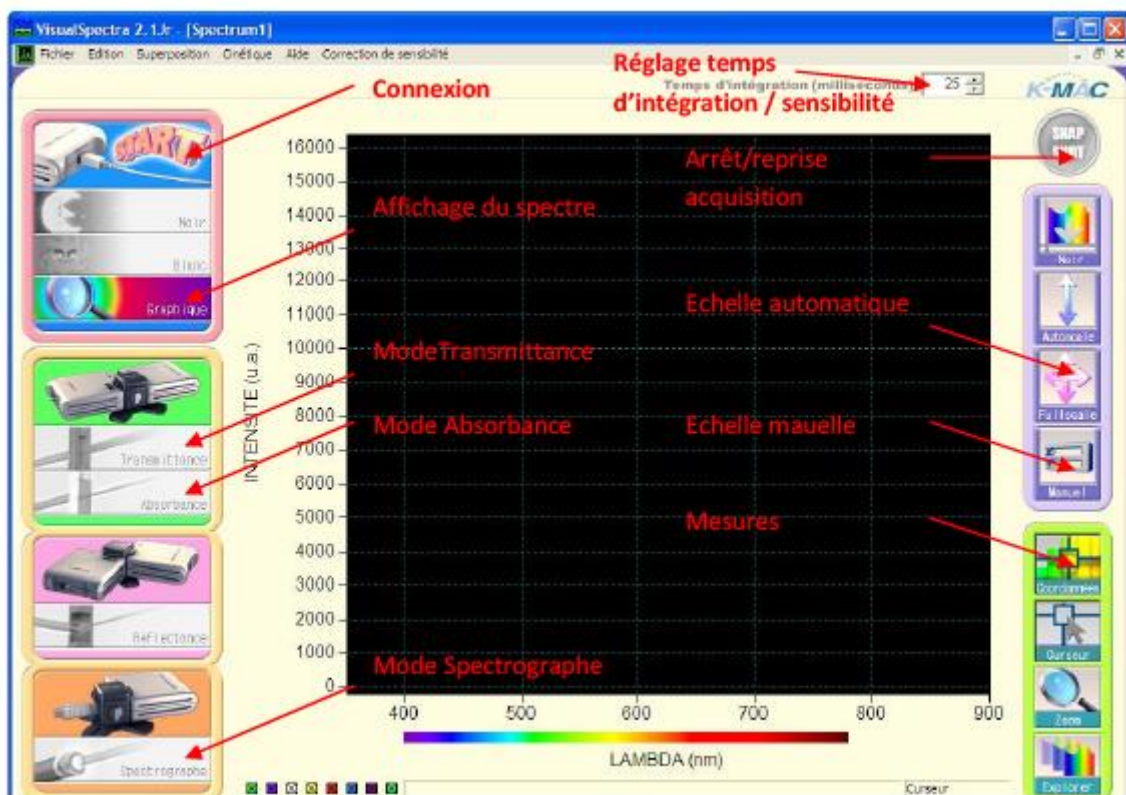
On souhaite maintenant caractériser spectralement les sources lumineuses disponibles. Pour cela, nous allons utiliser le spectromètre Spectrovio II. Celui-ci permet de visualiser le spectre d'une source lumineuse par injection dans une fibre optique reliée au Spectrovio II.

Alimenter le boîtier émission disponible à l'aide d'une des alimentations 9V proposées puis connecter les deux LEDs au boîtier. Placer les LEDS sur les deux supports en plastique proposés puis les allumer.

Le Spectrovio II étant très sensible, l'est pas possible d'observer correctement le spectre des LEDs en injectant directement le faisceau dans la fibre reliée au Spectrovio II. Pour pallier ce problème, placer le dépoli dans un des supports petit diamètre puis focaliser à l'aide d'une des lentilles le faisceau issu de la LED bleu sur le dépoli.

Visser sur le Spectrovisio la fibre fournie avec ce dernier puis fixer l'autre extrémité de la fibre sur un porte composant faible diamètre (veiller à ce que la fibre soit bien fixer afin qu'elle ne puisse pas bouger dans le support) puis placer la fibre le plus près possible du dépoli et en face de la tache lumineuse formée sur le dépoli.

Pour observer le spectre relier le Spectrovisio II au port UBS d'un PC puis lancer le logiciel VisualSpectra 2.1. La fenêtre suivante s'affiche alors

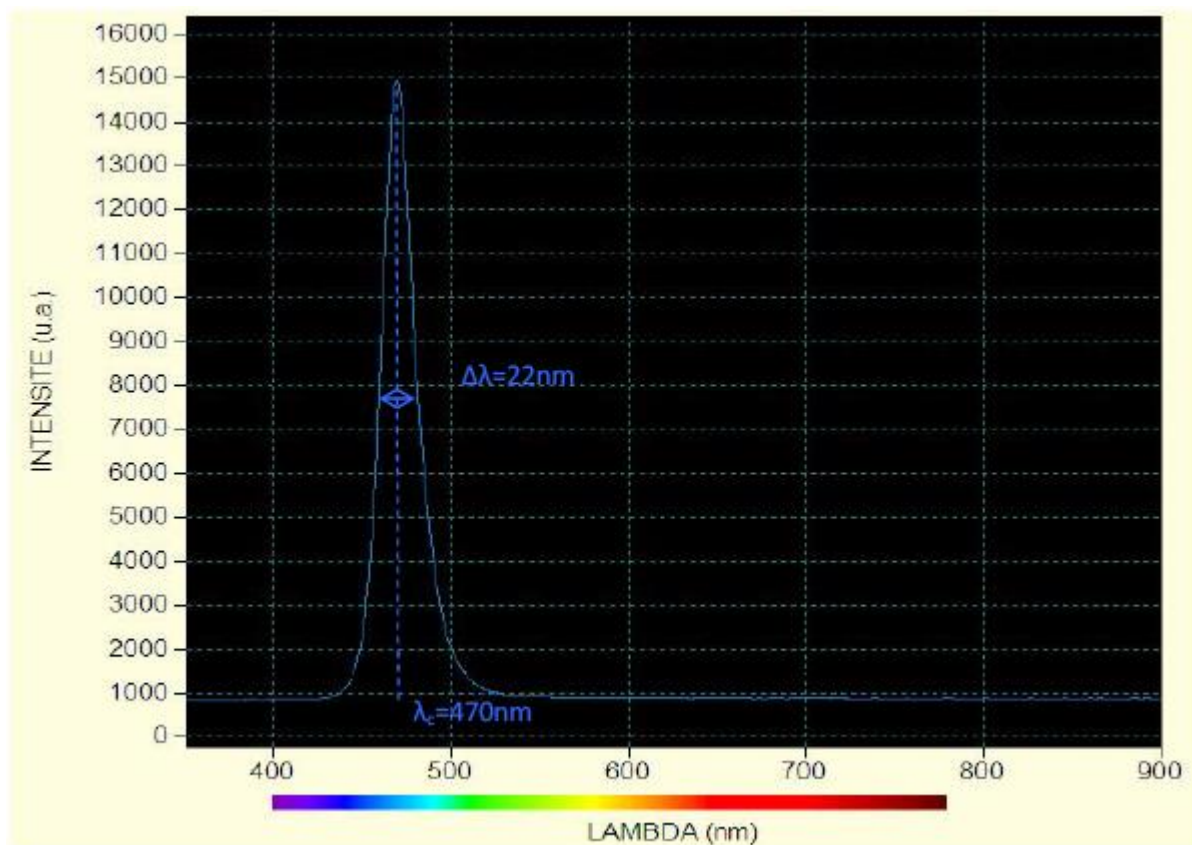


Cliquer sur l'icône connexion pour démarrer l'acquisition. Vous devez alors voir s'afficher le spectre de la LED bleue. Optimiser alors le montage (notamment la position de la tâche à l'écran) pour obtenir un spectre avec l'intensité la plus élevée possible. Régler ensuite le temps d'acquisition (réglage intensité) de manière à ce que le spectre soit entièrement visible à l'écran et que son maximum soit le plus grand possible. Une fois les réglages terminés, sauvegarder le spectre obtenu. Pour effectuer des mesures, il est possible d'afficher les coordonnées d'un des points du spectre.

Pour cela, cliquer sur l'icône coordonnées puis cliquer à l'endroit souhaité sur le spectre : les coordonnées du point sélectionné s'affichent alors en bas de la fenêtre.

- **Observer le spectre obtenu avec la LED bleue. En quelle longueur d'onde est-il centré (pour quelle longueur d'onde l'intensité mesurée est-elle maximale)? Quelle forme le spectre possède-t-il ? Mesurer la largeur à mi-hauteur de ce spectre ? La diode est-elle réellement monochromatique ?**

Le spectre obtenu avec la LED bleue est le suivant :



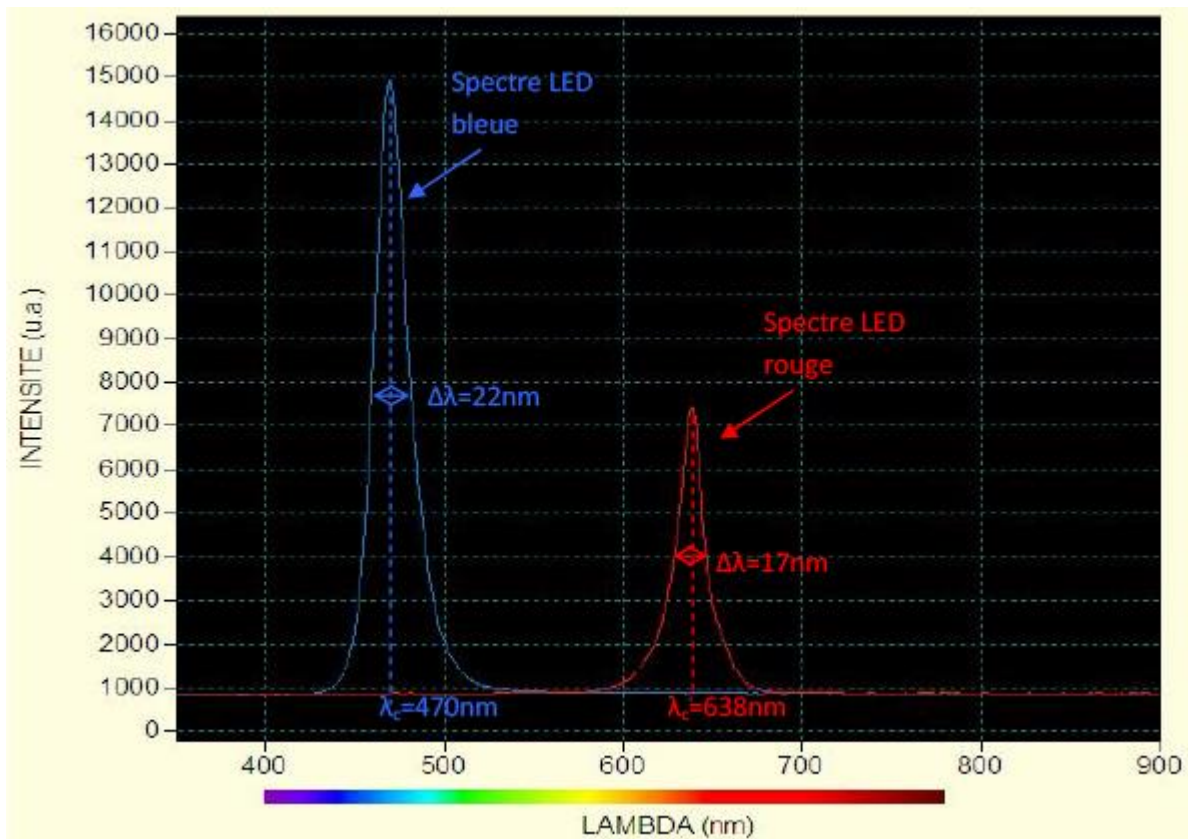
On remarque que le spectre obtenu a la forme d'une gaussienne centrée en  $\lambda_c = 470\text{nm}$ , ce qui correspond à une teinte bleue. La largeur à mi-hauteur de ce spectre est de 22nm, ce qui est bien plus élevé que dans la largeur spectrale d'une source laser, qui peut atteindre quelques millièmes de nanomètres (dans ce cas, la source peut alors être considérée comme monochromatique). Dans notre cas, la source n'est monochromatique qu'en première approximation : en regardant en détail, on s'aperçoit qu'elle ne l'est pas tout à fait.

Sans modifier les réglages, placer la LED rouge à la place de la LED bleue. Réajuster le montage de manière à ce que l'intensité du spectre alors observé soit maximale. Sauvegarder le spectre obtenu.

- **Comparer le spectre obtenu avec celui observé avec la LED bleue. Relever la longueur d'onde centrale du spectre et sa largeur à mi-hauteur.**



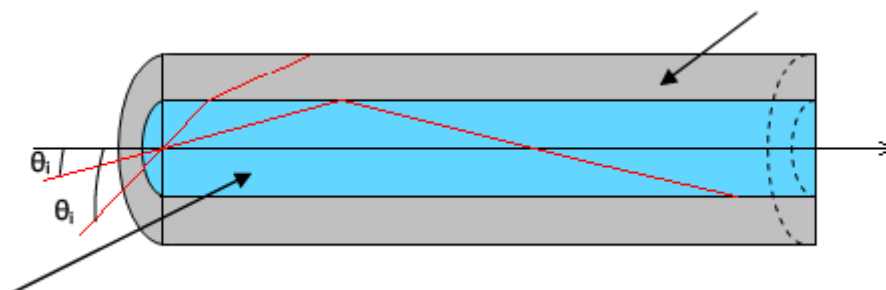
Voici la superposition des deux spectres obtenus avec la LED bleue (graphe bleu) et la LED rouge (graphe rouge) :



Le spectre de la LED rouge a également un profil gaussien. La largeur à mi hauteur du spectre est de 17nm, ce qui est du même ordre de grandeur que pour la LED bleue : la même remarque que précédemment peut donc être faite quant à la monochromaticité de la source. La longueur d'onde centrale du spectre est de 638nm, ce qui correspond à une teinte rouge.

### - Manipulation 2 : Etude des fibres optiques

Nous nous intéresserons ici aux fibres optiques à saut d'indice, utilisées dans le présent TP. Il s'agit de fibres composées d'un cœur de faible diamètre et d'une gaine en plastique. Le cœur et la gaine sont composés d'un matériau d'indice  $n_c$  et  $n_g$  différents et tels que  $n_g < n_c$ . Dans cette configuration, la lumière incidente peut se propager dans la fibre par réflexion totale sur l'interface cœur/gaine à condition que l'angle d'incidence des rayons ne soit pas trop élevé : dans ce dernier cas, les rayons sont réfractés puis se propagent dans la gaine où ils sont alors diffusés ou absorbés.



En utilisant la loi de Snell-Descartes sur la face d'entrée de la fibre puis au niveau de l'interface cœur/gaine, on peut montrer qu'un rayon lumineux incident ne peut se propager dans la fibre que si son angle d'incidence  $\theta_i$  satisfait à la condition  $|\sin \theta_i| = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$

Si cette condition n'est pas remplie, il n'y a pas de réflexion totale à l'interface cœur/gaine et il n'y a donc plus de propagation dans le cœur de la fibre. L'angle d'incidence maximal  $\alpha$  pour lequel le rayonnement se propage dans le cœur de la fibre est appelé angle d'acceptance, la grandeur  $\sqrt{n_c^2 - n_g^2}$  est appelée ouverture numérique.

Il peut être observé, lors de la transmission d'un signal lumineux dans une fibre optique, des pertes d'intensité de ce signal.

On peut différencier deux principaux types de pertes :

- *Les pertes par injection* : ces pertes sont dues au fait que tout le faisceau lumineux incident n'est pas injecté dans le cœur de la fibre, soit parce que le faisceau a un diamètre plus grand que le cœur de la fibre (tout le faisceau ne peut donc pas être injecté), soit parce que l'angle d'incidence de certains rayons du faisceau incident est supérieur à l'angle d'acceptance de la fibre et ne peuvent donc pas se propager dans le cœur de la fibre.
- *Les pertes par absorption* : ces pertes se produisent lors de la propagation du signal lumineux dans le cœur de la fibre. Elles ont plusieurs causes, dont les principales sont l'absorption par le matériau constituant le cœur de la fibre, les défauts de fabrication qui perturbent la propagation ou encore la diffusion par les impuretés présentes dans le cœur de la fibre.

Pour quantifier ces pertes, on utilise généralement le décibel. Soient  $P_s$  la puissance lumineuse d'une source,  $P_i$  la puissance lumineuse injectée dans la fibre à partir de la source et  $P_f$  la puissance à la sortie de la fibre : les pertes par injection sont alors données par  $A_i = 10 \log\left(\frac{P_s}{P_i}\right)$  et les pertes par atténuation sont données par le terme

$A_t = 10 \log\left(\frac{P_i}{P_f}\right)$  (exprimé en dB). Il peut être commode, pour l'étude d'une liaison par fibre optique, de connaître l'atténuation linéique (exprimée en dB/m) : celle-ci est l'atténuation par unité de longueur de la fibre, donnée par la relation  $A_l = A_t/l$  où ' $l$ ' est la longueur de la fibre.

L'objectif est maintenant de caractériser la fibre optique de 2m à votre disposition : celle-ci servira de canal de transmission dans le système de télécommunications qu'on se proposera mettre en place dans la suite du TP. Vous disposez d'une fibre à saut d'indice avec une gaine en plastique de longueur 2m dont on souhaite connaître les caractéristiques, notamment identifier et quantifier les pertes lors de la transmission d'un signal optique.

Le premier type de pertes qu'il faut prendre en compte est la perte par injection : en effet, le faisceau à injecter a un diamètre plus élevé que celui du cœur de la fibre et on ne peut donc pas injecter la totalité du faisceau. Une première estimation de ces pertes peut être faite

Alimenter le boîtier puis connecter à ce dernier les deux LEDs proposées. Basculer l'interrupteur en position alimentation continue, de manière à ce que le courant circulant dans les LEDs soit constant (la luminosité des LEDs est ainsi constante au cours du temps). Insérer les extrémités d'une fibre de 2m sur les supports magnétiques prévus à cet effet. Positionner sur le banc la LED bleue puis une des deux lentilles proposées (qui sont même distance focale) à quelques centimètres de la lentille. À l'aide de l'écran, localiser alors le plan de focalisation du faisceau émis par la LED (vous devez alors observer à l'écran une tache lumineuse nette et de faible diamètre). Placer ensuite une des extrémités de la fibre au lieu de focalisation du faisceau (de manière à injecter le faisceau dans la fibre) puis observer à l'aide de l'écran le faisceau à la sortie de la fibre (pour la manipulation suivante, il est commode de placer la sortie de la fibre à une des extrémités du banc magnétique).

- **Quelles observations pouvez-vous faire sur ce faisceau ? Est-il directement observable à l'aide d'un phototransistor ou du spectrophotomètre ? Conclure sur la nécessité de focaliser le faisceau à la sortie de la fibre.**

On remarque que le faisceau en sortie de la fibre est très divergent, ce qui rend l'observation de ce faisceau très peu commode : en effet, pour une observation correcte, il est nécessaire que le diamètre du faisceau observé soit de l'ordre de grandeur du phototransistor et de la fibre d'entrée du spectrophotomètre, ce qui n'est absolument pas le cas ici. Il est donc nécessaire de placer une lentille à la sortie de la fibre pour focaliser le faisceau et ainsi réduire son diamètre. On positionnera l'instrument de détection (phototransistor ou fibre d'entrée du spectrophotomètre) dans le plan de focalisation du faisceau.

La seconde lentille peut être utilisée pour focaliser le faisceau à la sortie de la fibre. L'objectif est maintenant de déterminer la distance focale des lentilles et le diamètre du cœur de la fibre. Reprendre le montage précédent. Placer l'écran à l'extrémité du banc opposée à celle où est située l'extrémité de sortie de la fibre optique. Positionner la lentille sur le banc de manière à former sur l'écran une image nette de l'extrémité de la fibre (la lentille doit alors être approximativement placée à quelques centimètres de la fibre).

Fixer ensuite une règle transparente sur le porte réseau. Positionner ensuite la règle juste devant l'extrémité de la fibre et parallèle à la lentille. Eclairer la règle à l'aide de la LED rouge : vous devez alors observer à l'écran quelques graduations de la règle de manière nette.

**Mesurer à l'écran la distance entre deux graduations de la règle convenablement choisies et donner une estimation du grandissement du montage. Mesurer ensuite le diamètre de l'image de la section du cœur de la fibre et en déduire une estimation de du diamètre du cœur de la fibre. Donner une estimation de l'incertitude sur la mesure du diamètre du cœur de la fibre.**

Une distance sur la règle de  $l=4\text{mm}$  correspond sur l'écran à une distance  $L=2,95\text{cm}$  : le grandissement vaut donc - 7,38. Le diamètre de la tache lumineuse due à l'image de l'extrémité de la fibre est  $D=7\text{mm}$ , ce qui donne un diamètre de cœur de fibre de  $d=0,95\text{mm}$ .

L'incertitude sur  $y$  est donnée par la relation  $\Delta y = \frac{\Delta L}{L}$  (on néglige l'incertitude sur  $l$ ) et l'incertitude sur  $d$  est donnée

par la relation  $\Delta d = \frac{D}{y^2} \Delta y + \frac{\Delta D}{y}$ . On obtient  $\Delta y \approx 0,1$ , d'où  $y = -7,4 \pm 0,1$ .

De même, on a  $\Delta d \approx 0,08\text{mm}$  d'où  $d = 0,95 \pm 0,08\text{mm}$ .

**Mesurer le diamètre de la section du faisceau incident dans le plan de focalisation de la première lentille. Sachant l'éclairement est une puissance par unité de surface et en supposant cet éclairement constant, donner une estimation de la valeur des pertes par injection (en dB). Quelle hypothèse est faite lors de cette estimation ? Est-elle vraiment vérifiée ? Conclure sur la validité de l'estimation effectuée.**

Le diamètre du faisceau émis par la LED dans le plan de focalisation de la lentille est de 6mm. Soit  $E_0$  l'éclairement de la source. La puissance du faisceau incident est alors  $P_s = E_0 * \pi * r_1^2$  où  $r_1$  est le rayon de la section du faisceau. La puissance lumineuse  $P_i$  injectée dans la fibre vaut  $E_0 * \pi * r_c^2$ .

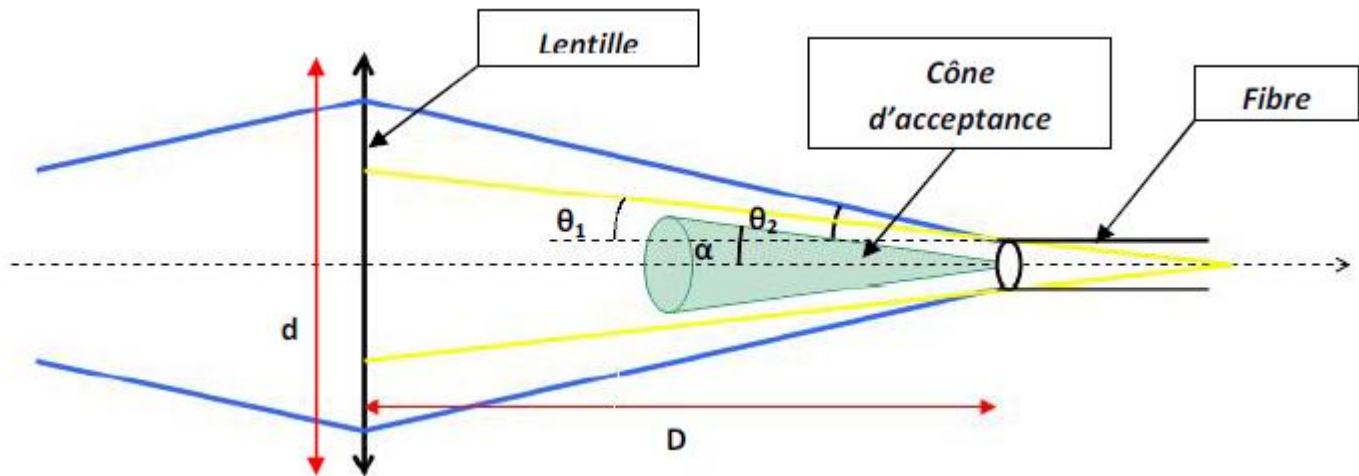
On peut donc évaluer les pertes dues au fait que la section du cœur de la fibre soit plus faible que la section

$$A_1 = 10 \log \left( \frac{P_i}{P_s} \right) = 10 \log \left( \frac{r_c^2}{r_1^2} \right) \approx 10\text{dB}$$

Lorsqu'on injecte de la lumière dans une fibre, il existe un autre paramètre à prendre en compte et qui est lui aussi source de pertes : l'angle d'incidence des rayons du faisceau incident. En effet, la fibre possède un cône d'acceptance,



C'est-à-dire, un angle d'incidence à partir duquel les rayons incidents ne se propagent pas dans la fibre. Or, les rayons d'un faisceau focalisé par une lentille possèdent un angle d'incidence maximal plus élevé que dans le cas d'un faisceau non focalisé. De ce fait, des pertes supplémentaires peuvent apparaître à l'injection d'un faisceau incident à l'aide d'une lentille.



Sur le schéma suivant, les rayons incidents avec un angle  $\theta_1$  inférieur à  $\alpha$  (demi-angle du cône d'acceptance de la fibre) se propagent dans le cœur de la fibre et sont réémis en faisant un angle  $\theta_1$  avec l'axe optique du système. Les rayons faisant un angle avec la normal  $\theta_2$  supérieur à  $\alpha$ , quant à eux, ne se propagent pas dans la fibre.

Afin de donner un ordre de grandeur de ces pertes, il est nécessaire de déterminer l'ouverture numérique de la fibre que nous possédons afin d'estimer les pertes dues à la focalisation du faisceau incident. Pour cela, retirer la lentille à la sortie de la fibre et placer un écran à quelques centimètres de l'extrémité de sortie de la fibre pour observer le faisceau de sortie.

La fibre réémet l'ensemble des rayons incidents dans un cône dont le demi-angle est égal à l'angle d'acceptance de la fibre.

- **Compte tenu du montage et en supposant que les rayons incidents sont parallèles à l'axe optique, donner une estimation de l'angle d'incidence maximale des rayons lumineux.**

Compte tenu des hypothèses effectuées, les rayons ayant l'angle d'incidence le plus élevé sont ceux passant par les bords de la lentille. Ceux-ci forment alors un angle avec l'axe optique qui peut être estimé en calculant sa tangente :

$$\tan\theta = \frac{d}{2f'} = 0,4 \Rightarrow \theta \approx 21,8^\circ$$

- **En mesurant à l'écran le diamètre du faisceau de sortie de la fibre et la distance entre l'extrémité de cette dernière et l'écran, donner une estimation de l'angle d'acceptance de la fibre puis de l'ouverture numérique de la fibre. Que valent alors des pertes dues à l'ouverture numérique ?**

Pour une distance lentille/écran 'D' de 6,6cm, on mesure à l'écran un diamètre de section du faisceau 'd' de 5,3cm. Comme les rayons émis par la fibre forment avec l'axe optique un angle maximal égal au demi-angle du cône d'acceptance de la fibre, cet angle est donné par la relation  $\theta_{1/2} = \arctan(d/2D) \approx 21,9^\circ$ .

L'ouverture numérique de la fibre 'ON' et le demi angle du cône d'acceptance de la fibre sont liés par la relation  $ON = \sin_{1/2} \approx 0.37$

L'angle d'acceptance de la fibre mesuré ici est légèrement supérieur à l'angle d'incidence maximal des rayons du faisceau incident : les pertes dues à l'ouverture numérique peuvent donc être négligées ici.

#### - **MANIPULATIONS A REALISER AVEC LE SPECTROVIO DU KIT COMPLEMENTAIRE OPTIQUE** -

On souhaite dans cette partie procéder à la caractérisation des pertes par absorption de la fibre. Ces pertes se produisent lors de la propagation de la lumière dans la fibre et ont des origines diverses dont les principales l'absorption intrinsèque du matériau constituant le cœur de la fibre, les défauts de fabrication de la fibre.

Pour cela, nous allons utiliser le Spectrovio et la source blanche proposée. Positionner la source blanche sur le support prévu à cet effet puis la brancher à l'aide d'une alimentation de 9V. Placer l'extrémité de la fibre connectée au Spectrovio devant la source. Régler le temps d'intégration de manière à ce que le spectre occupe la plus grande partie possible de la fenêtre d'observation sans déformer le spectre par saturation.

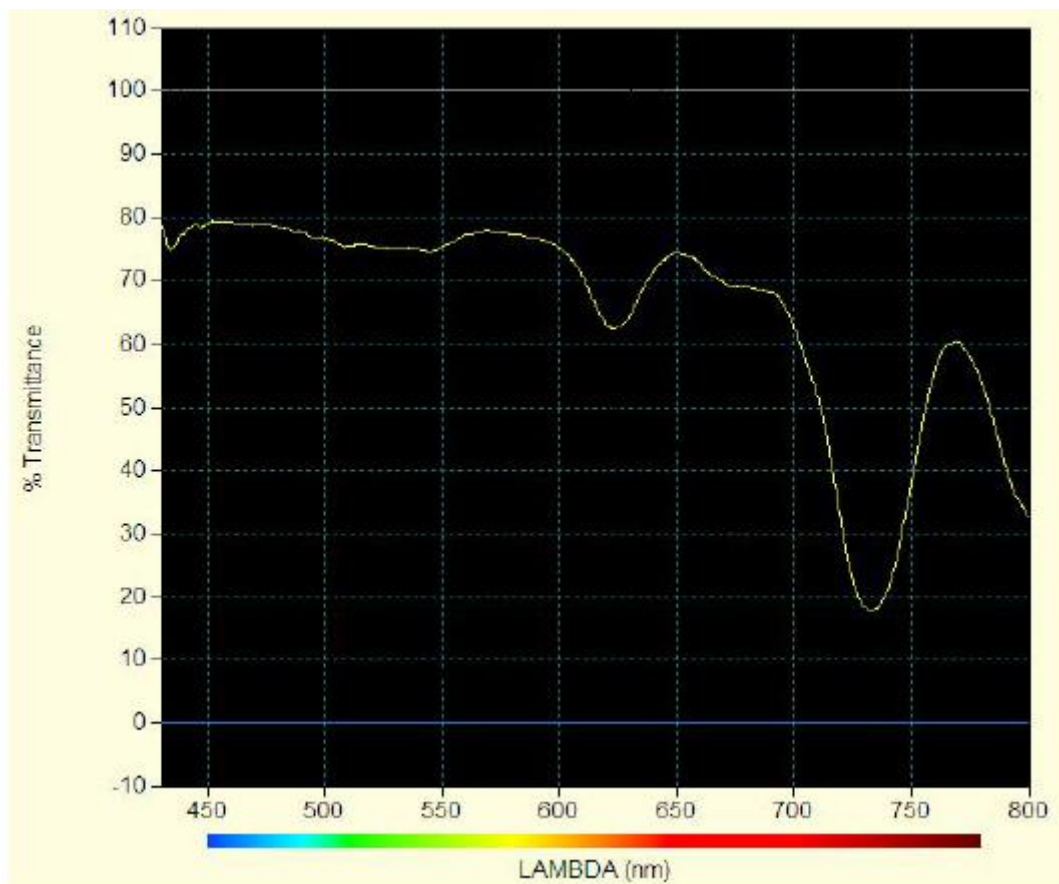
ATTENTION : une fois le temps d'intégration fixé, ne plus le modifier pour les mesures suivantes qui seraient alors faussées.

Cliquer ensuite sur l'icône niveau de blanc. L'intensité alors injectée dans la fibre devient la référence. SANS MODIFIER LE MONTAGE, débrancher la source puis cliquer sur l'icône noir puis sur l'icône « soustraire noir ». Cela permet de prendre en compte la luminosité ambiante dans les mesures qui seront faites par la suite

Déconnecter la fibre du Spectrovio SANS MODIFIER LA POSITION DE L'AUTRE EXTREMITÉ. Visser à la fibre un connecteur SMA puis, de l'autre côté du connecteur, visser une seconde fibre de 2m. Connecter l'autre extrémité de cette fibre au Spectrovio : le spectre de la lumière reçue s'affiche alors. Pour étudier le l'atténuation en fonction de la longueur d'onde, il est plus commode d'observer le pourcentage de lumière transmis (par la seconde fibre de 2m) par rapport à la source de référence (sortie de la première fibre de 2m). Cliquer sur l'icône transmittance : cela permet d'afficher le pourcentage de lumière transmis par la fibre de 2m en fonction de la longueur d'onde. Sauvegarder alors l'acquisition obtenue.

**Commenter l'allure du graphe de la transmittance de la fibre : en particulier, l'atténuation affecte-t-elle de la même manière toutes les longueurs d'onde ? A quoi cela peut-il être dû ? Quelle importance cela peut-il avoir sur la chaîne de communication optique à créer ?**

La transmittance de la fibre de 2m est représentée sur le graphe suivant :



On remarque que le pourcentage de puissance transmise par la fibre dépend grandement de la longueur d'onde : sur la plage 450-600nm il est en moyenne de 75%. On observe à environ 650nm un minimum local de transmittance (ce qui correspond à un minimum local de pertes par atténuation) d'environ 63% puis un second minimum plus marqué à 730 nm (où seulement 18% du rayonnement incident est transmis). Ces deux pics d'absorption peuvent correspondre à l'absorption par un matériau particulier dans la fibre (chaque atome ou molécule absorbe préférentiellement des rayonnements à des longueurs d'onde particulières).

Pour cette raison, il faut éviter de transmettre un signal lumineux aux longueurs d'onde où la transmittance est faible : il est donc nécessaire de caractériser la/les fibre(s) optique utilisée(s) dans la chaîne de transmission de manière à dimensionner correctement (entre autres) les sources lumineuses à utiliser.

- **Donner un encadrement des pertes par atténuation dans la fibre : pour cela, déterminer la transmittance minimale puis maximale à l'aide du curseur du logiciel. On donnera cet encadrement en dB.**

On suppose qu'à l'entrée de la fibre, on injecte une certaine puissance lumineuse  $P_i$ . A la sortie de la fibre, la puissance lumineuse est  $P_f = T(\lambda) \times P_i$  où  $T(\lambda)$  est la transmittance de la fibre. Les pertes par atténuation sont donc :

$$A_t = 10 \log \left( \frac{P_i}{P_f} \right) = 10 \log \left( \frac{1}{T(\lambda)} \right)$$

A 733nm:  $T(\lambda) = 18\%$ ,  $A_t = 7,45$  dB ;

A 454nm:  $T(\lambda) = 79,3\%$ ,  $A_t = 1,01$  dB ;

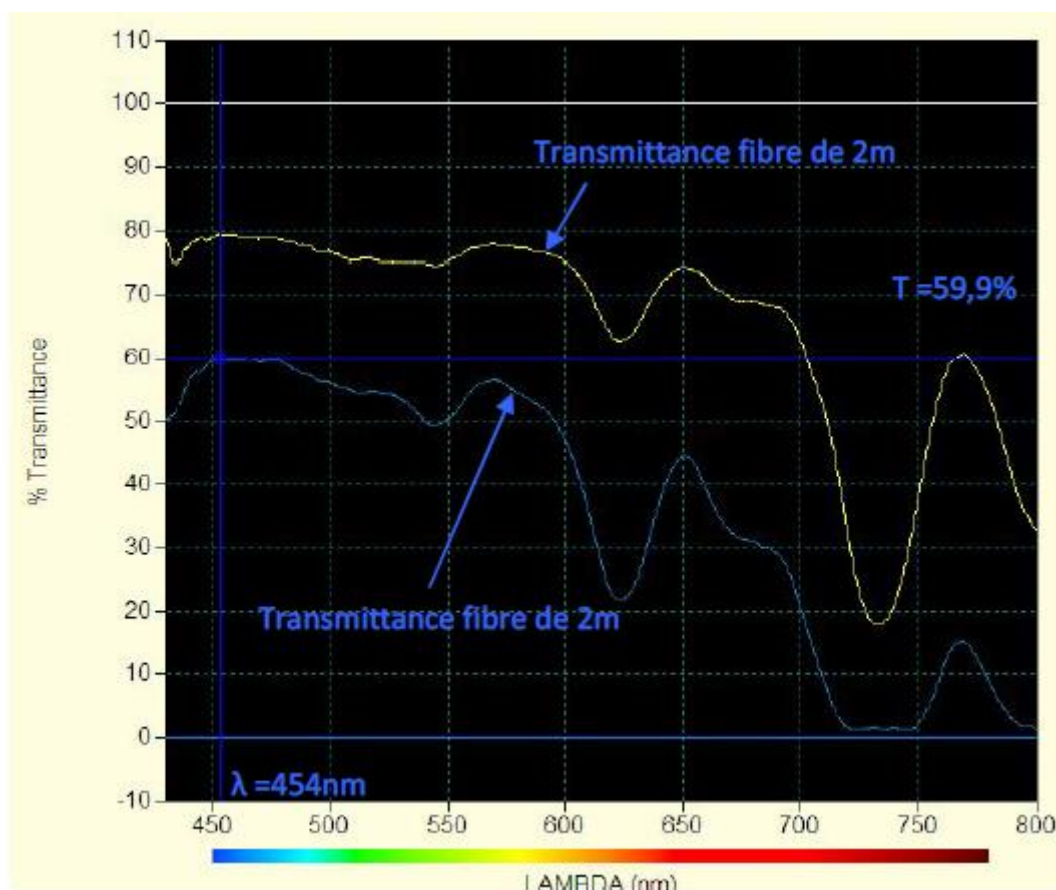
Les pertes par atténuation dans la fibre de 2m sont donc comprises (selon la longueur d'onde de la source) entre 1,01dB et 7,45dB.

Remplacer dans le montage précédent la fibre de 2m reliée au Spectrovio par la fibre de 10m. La transmittance de la fibre de 10 m s'affiche alors à l'écran. Pour pouvoir comparer cette dernière à celle de la fibre de 2m, le logiciel permet d'afficher simultanément plusieurs courbes de transmittance précédemment sauvegarder : pour cela, cliquer sur l'onglet superposition de la barre des tâches, puis cliquer sur spectre 3 (le slot spectre 1 est réservé pour le 'blanc' et le slot 2 est réservé pour le 'noir') et charger le spectre obtenu avec la fibre de 2m.

- **Comparer la transmittance de la fibre de 10m avec celle de 2m : quelles remarques pouvez-vous faire ?**

La courbe de transmittance obtenue avec la fibre de 10m a une forme similaire à celle obtenue avec la fibre de 2m : les minima sont obtenus pour les mêmes longueurs d'onde, ce qui laisse supposer une constitution identique des deux fibres (le comportement de la fibre selon la longueur d'onde incidente semble être identique). On peut cependant remarquer que le minimum le plus marqué est écrêté du fait de l'atténuation trop importante de la fibre.

La transmittance de la fibre de 10m est plus faible que celle de 2m, ce qui paraît logique compte tenu de la distance parcourue plus élevée et donc d'une atténuation plus grande à la fin de la propagation au sein de la fibre.



Dans l'estimation de l'atténuation de la fibre de 2m faite précédemment, les pertes dues au connecteur entre la fibre de 2m et la fibre d'acquisition ont été prises en compte. Pour s'affranchir de ces pertes et ainsi obtenir une estimation de l'atténuation linéique de la fibre (pertes dues à la seule propagation de la lumière dans la fibre), on se propose d'utiliser la méthode suivante : mesurer la transmittance maximale de la fibre de 10m et du connecteur et en déduire les pertes dues à ces derniers. Soustraire à celles-ci les pertes minimales mesurées pour la fibre de 2m. Les pertes alors obtenues représentent les pertes provenant uniquement de l'atténuation due à la propagation dans 8m de fibre.

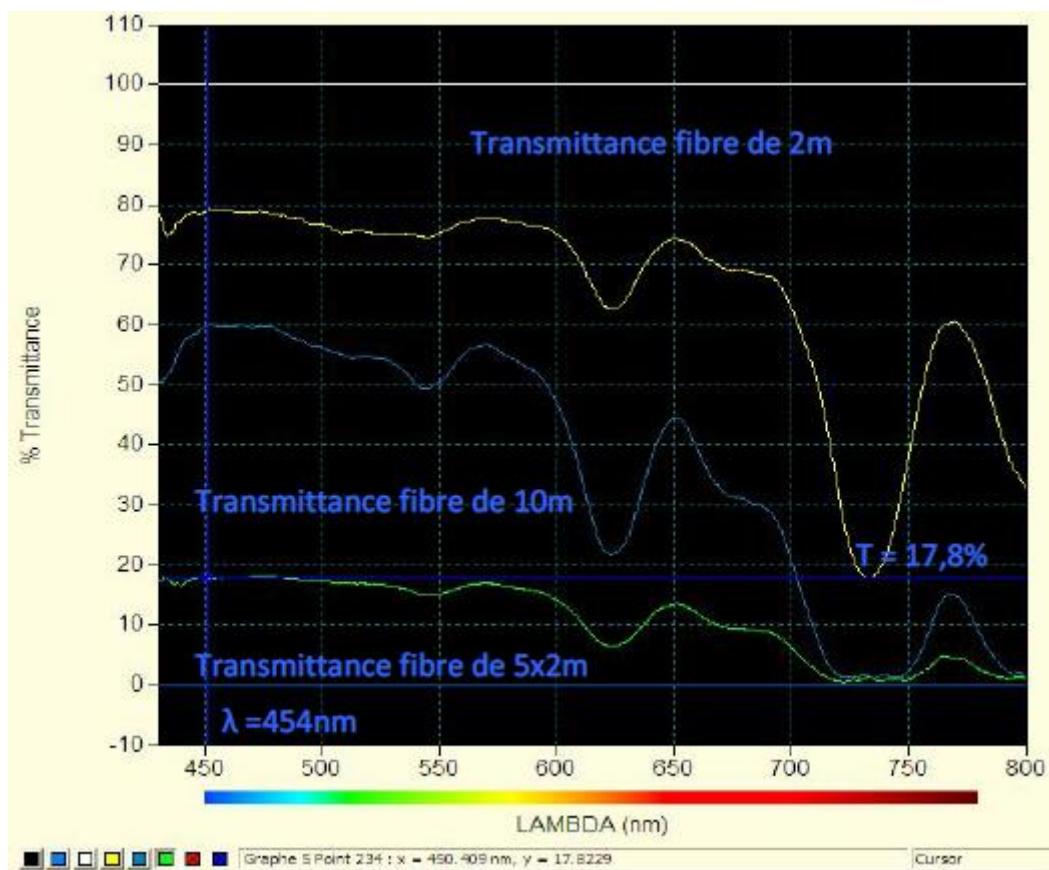
Le maximum de transmittance vaut 59,9% et est atteint pour  $\lambda=454\text{nm}$ . Cela nous donne une atténuation de 2,23dB pour 10m de fibre optique. Compte tenu de la transmittance mesurée dans le cas de la fibre de 2m, l'atténuation pour 8m de fibre vaut  $2,23-1,01=1,22\text{dB}$ .

- Dédire de la question précédente l'atténuation linéique minimale de cette fibre en (en dB/km). Pour avoir un signal exploitable, on souhaite que les pertes par atténuation à la sortie de la fibre ne dépassent pas 70dB. Sur quelle distance maximale est-il possible de propager le signal dans la fibre dans le meilleur des cas (à la longueur d'onde la plus favorable). Conclure sur la possibilité d'utiliser cette fibre pour des transmissions longues distances (distances supérieures au km).

Le minimum des pertes par atténuation lors de la propagation dans 8m de fibre vaut 1,22dB. L'atténuation linéique, donnée par la relation  $A_l = A/l$ , est donc supérieur à 153dB/km. Dans le meilleur des cas (pour une source à  $\lambda=454\text{nm}$ ), on peut transmettre le signal sur environ 458m. Cette fibre possède des pertes trop importantes pour pouvoir être utilisée sur de longues distances, même avec une source à la bonne longueur d'onde.

On souhaite maintenant quantifier les pertes dues au connecteur. A l'aide des connecteurs disponibles, relier entre elles 5 fibres de 2m. Relier le tout à la fibre d'acquisition du Spectrovio. Eclairer l'une des extrémités du dispositif à l'aide de la source blanche et observer le spectre obtenu. Afficher ensuite la transmittance du système.

- Comparer la courbe de transmittance obtenue avec celle de la fibre de 10m. L'atténuation due au connecteur semble-t-elle dépendre de la longueur d'onde ?



- Mesurer le maximum de la transmittance puis en déduire les pertes minimales des 5 fibres de 2m. Grâce à la mesure des pertes dans le cas d'une fibre de 10m, donner une estimation des pertes lors de la propagation de la lumière dans un connecteur.

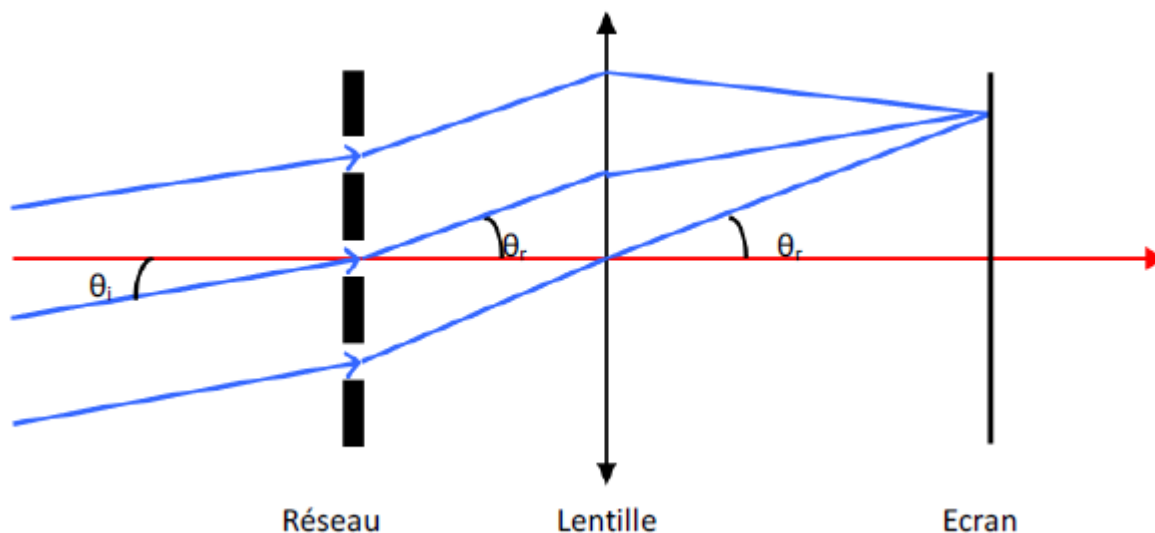
Le maximum de transmittance, toujours à  $\lambda = 454\text{nm}$ , vaut 17,8% dans le cas des 5 fibres de 2m : les pertes pour ce montage valent donc 7,5dB. Ces pertes regroupent l'atténuation due à la propagation dans 10m de fibre, les pertes dues aux 4 connecteurs SMA reliant les 5 fibres et les pertes dues au connecteur reliant les 5 fibres à la fibre de mesure du Spectrovisio. La mesure des pertes dans le cas de la fibre de 10m effectuée précédemment regroupe quant à elle l'atténuation due à la propagation dans 10m de fibre et les pertes dues au connecteur reliant la fibre de 10m à la fibre de mesure du Spectrovisio. La soustraction de ces deux atténuations nous donne les pertes dues à 4 connecteurs, qui valent donc 5,27dB. Les pertes dues à un connecteur s'élèvent donc à 1,3dB.

### Manipulation 3 : Etude du réseau de diffraction et multiplexage optique

#### - Etude du réseau de diffraction

Un réseau de diffraction en transmission est un dispositif optique constitué d'un ensemble de fentes fines parallèles et régulièrement espacées. Chacune des fentes du réseau, compte tenu de leur faible dimension, diffracte tout faisceau lumineux incident. Les fentes constituent alors des sources secondaires cohérentes entre elles (les sources sont de même fréquence et le déphasage entre les différents champs électriques émis est constant au cours du temps car les fentes sont éclairées par une source unique). Les différents faisceaux, issus de chacune des diffractions, interfèrent donc entre eux.

La figure d'interférence donnée par le réseau peut être observée dans le plan focal d'une lentille placée derrière le réseau. Si on suppose le réseau éclairé par un faisceau incident monochromatique, on observe alors dans le plan focal de la lentille une succession de taches lumineuses (qui correspondent aux pics principaux du profil d'intensité). Ces taches correspondent à une direction  $\theta$  donnée pour laquelle les ondes émises par les fentes interfèrent constructivement.



La condition pour qu'il y ait interférences constructives, il faut que la différence de marche entre les faisceaux émis par chacune des fentes du réseau soit proportionnelle à la longueur d'onde ' $\lambda$ ' du faisceau incident. On obtient la relation

suivante (relation fondamentale des réseaux) :  $e(\sin \theta_i - \sin \theta_r) = k\lambda$  où ' $e$ ' est le pas du réseau (distance entre deux fentes successives du réseau) et ' $k$ ' est un nombre entier relatif désignant le rang de la tache de la figure observée ( $k=0$  correspondant à la tache centrale de la figure, c'est-à-dire, la tache qui est dans l'alignement du faisceau incident).

Pour un réseau classique, l'ordre 0 est le plus lumineux et plus on s'éloigne de l'ordre 0, moins les taches sont lumineuses. Cependant, certains réseaux, dits blazés, possèdent pour une certaine longueur d'onde, un ordre le plus lumineux différent de l'ordre 0. Cela est dû au fait que l'on peut modifier la position du maximum d'intensité du profil observé en fonction de la longueur d'onde de l'onde incidente.



Vous disposez d'un réseau de diffraction dont nous allons étudier les caractéristiques. Eclairer le réseau avec la LED rouge de manière à ce que le faisceau émis par la LED soit normal au plan du réseau. Placer une des lentilles disponibles juste derrière le réseau puis placer un écran dans le plan focal image de la lentille (on veillera à placer la lentille le plus près possible du réseau de manière à pouvoir observer sur l'écran le plus grand nombre d'ordres possible). Observer la partie du faisceau transmise par le réseau.

- **Décrire la figure observée sur l'écran. Déterminer l'angle  $\theta_r$  (cf. schéma de la partie théorique sur les réseaux) que fait l'axe de propagation du faisceau avec la direction de l'ordre le plus élevé visible à l'écran. A partir de la relation fondamentale des réseaux, en déduire une estimation de la longueur d'onde d'émission de la LED rouge.**

Remplacer maintenant la LED rouge par la LED bleue et observer la figure d'interférence obtenue avec le réseau.

- **De la même manière que précédemment, déterminer la longueur d'onde d'émission de la LED bleue.**

**Quelle remarque pouvez-vous faire quant aux taches d'ordre  $k \neq 0$  ? Que pouvez-vous en déduire quant la largeur spectrale de la source ?**

- **Quel est l'ordre du réseau qui semble le plus intense ? Est-ce ce que vous observiez avec la LED rouge ? A quoi cela est-il dû ?**

- **Mise en place du multiplexage optique**

On souhaite maintenant réaliser un multiplexage optique à l'aide des deux sources disponibles. Pour cela, on souhaite injecter simultanément les faisceaux émis par chacune des deux LEDs dans la fibre optique. Or, il est impossible d'effectuer de manière directe l'injection simultanée des deux faisceaux à l'aide d'une simple lentille.

Nous allons donc utiliser le réseau comme dispositif permettant le multiplexage en longueur d'onde. Pour cela, il suffit d'orienter correctement les sources de manière à ce que deux ordres différents de chacune des figures se superposent dans le plan focal d'une lentille située juste derrière le réseau.

- **D'après les manipulations effectuées sur le réseau, quels sont les ordres qui vont être injectés dans la fibre (pour chaque LED, on injectera l'ordre le plus lumineux) ? En déduire la configuration optimale pour pouvoir injecter simultanément dans la fibre une partie du faisceau issu de la LED bleue et une partie de celui de la LED rouge (on pourra s'aider de la relation des réseaux pour déterminer approximativement l'angle d'incidence des faisceaux).**

Appliquer la configuration que vous venez de déterminer. Pour cela, placer l'écran dans le plan focal de la lentille située après le réseau. Placer alors les LEDs dans un des coins du banc magnétique et placer près du bord le plus long du banc magnétique.

### **Manipulation 5 : Etude des filtres dichroïques et démultiplexage optique**

Nous allons maintenant nous intéresser à la caractérisation des deux filtres dichroïques disponibles dans ce TP. Les filtres dichroïques sont conçus de manière à ce que le rayonnement incident soit réfléchi sur une certaine plage de longueur d'onde et transmis sur le reste du spectre. Cela permet de scinder un faisceau incident polychromatique en deux parties, en fonction des longueurs d'onde incidentes. Cette propriété provient du fait que le coefficient de réflexion du filtre dichroïque dépend de la longueur d'onde de l'onde incidente.

Placer le filtre jaune dans le support de 40mm de diamètre prévu à cet effet et l'éclairer avec la LED rouge de manière à ce que la direction de propagation du faisceau soit normale au plan du filtre. Observer le faisceau réfléchi par le filtre, puis celui transmis. Faire de même avec le filtre bleu.

- **Quel est le comportement des filtres vis-à-vis des deux faisceaux émis par chacune des LEDs ? Quelle peut être alors l'utilité de ces filtres dans un montage de télécommunications optique ? Lequel des deux filtres choisiriez-vous pour cette application ?**

Le faisceau lumineux émis par la LED rouge est en grande partie transmise par le filtre jaune et une petite partie est réfléchi. Le faisceau de la LED bleue, quant à lui, est en grande partie réfléchi. La fraction transmise à une teinte bleu/vert qui diffère de la teinte bleu foncé du faisceau complet perçue par l'œil.

Cela confirme que la lumière émise par la LED n'est pas monochromatique et que le coefficient de transmission du filtre varie assez rapidement sur la plage spectrale d'émission de la LED bleue (la teinte bleu-vert du faisceau transmis laisse supposer un coefficient de transmission plus élevé pour les longueurs d'onde les plus grande du spectre d'émission de la LED bleue.

En ce qui concerne le filtre bleu, ce dernier réfléchit totalement le faisceau émis par la LED rouge. Par contre, le faisceau émis par la LED bleue est en grande partie transmis et en partie réfléchi.

On remarque que pour les deux filtres, la majeure partie du faisceau émis par une des deux LEDs est réfléchi, et le faisceau émis par l'autre LED est transmis. Cela peut avoir son utilité si on souhaite séparer les faisceaux émis par les deux LEDs et ainsi réaliser un démultiplexage optique.

#### **- MANIPULATION A REALISER AVEC LE KIT COMPLEMENTAIRE OPTIQUE -**

Pour caractériser de manière plus précise de comportement des filtres en fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident, nous allons utiliser le Spectrovis pour observer la variation du coefficient de transmission des filtres en fonction de la longueur d'onde.

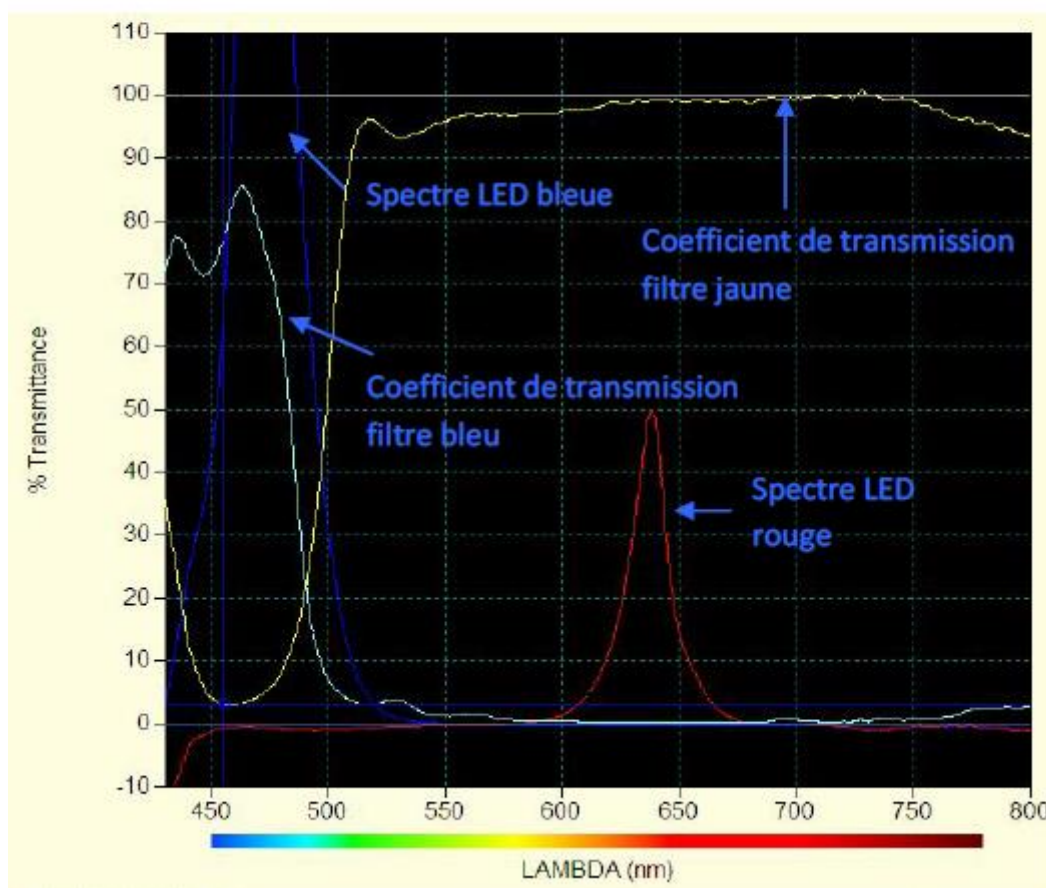
Connecter à la source de lumière blanche une des extrémités d'une fibre de 2m et fixer l'autre extrémité sur un support petit diamètre. Focaliser le faisceau de sortie à l'aide d'une des lentilles disponibles. Placer l'extrémité de la fibre de détection du Spectrovis sur un support, puis placer le tout de manière à ce que l'extrémité de la fibre soit dans le plan de focalisation du faisceau.

Le rayonnement alors détecté par le Spectrovis sera la référence : cliquer l'icône blanc du logiciel VisualSpectra. Pour observer la valeur du coefficient de transmission d'un des filtres en fonction de la longueur d'onde, il suffit de placer le filtre entre la lentille et l'extrémité de la fibre puis de cliquer sur l'icône transmittance.

- **Mesurer le coefficient de transmission des filtres aux longueurs d'onde centrales d'émission des LEDs. Celui-ci est-il constant sur la plage de longueur d'onde des LEDs ? Conclure sur le comportement des filtres vis-à-vis des faisceaux lumineux émis par chacune des LEDs. Superposer aux transmittances des filtres le spectre d'émission des LEDs. Conclure sur l'utilisation possible des filtres pour réaliser un démultiplexage optique.**

Les coefficients de transmission mesurés sont les suivants :

	$\lambda = 470 \text{ nm}$ (LED bleue)	$\lambda = 638 \text{ nm}$ (LED rouge)
Filtre jaune	3%	99%
Filtre bleu	79%	0%



On peut remarquer que les deux filtres ont un effet opposé vis-à-vis du rayonnement émis par la LED rouge et de celui émis par la LED bleue. En effet, le rayonnement bleu sera en grande partie réfléchi par le filtre jaune et en grande partie transmis par le filtre bleu et inversement pour le rayonnement émis par la LED rouge. On remarque de plus que les filtres ont un comportement opposé pour chacun des deux rayonnements émis par les LEDs. Ceci est en accord avec les premières observations.

Cependant, le rayonnement émis par la LED possède une largeur spectrale d'émission non nulle. Sur cette bande spectrale, le coefficient de transmission du filtre n'est pas constant sur la bande spectrale d'émission de la LED bleue (cependant, il peut être considéré comme constant sur la plage d'émission de la LED rouge).

### Manipulation 6 : Réalisation d'une chaîne de télécommunications optique

#### - MULTIPLEXAGE OPTIQUE A DEUX LONGUEURS D'ONDE

A l'aide de tous les éléments que nous avons étudiés précédemment, nous allons mettre en place une chaîne de télécommunications optique, que nous caractérisons ensuite. Le but de ce canal sera de transmettre simultanément deux signaux sinusoïdaux de fréquence différente.

Dans un premier temps, nous allons moduler la lumière émise par les LED : connecter les deux voies du générateur au boîtier émission. Régler le générateur pour qu'il délivre une tension sinusoïdale de fréquence 500Hz pour alimenter la LED rouge et de 4KHz pour alimenter la LED bleue. Appliquer à ces signaux l'amplitude et l'offset idéaux déterminés dans la première partie du TP. Le but de la chaîne de transmission sera de récupérer ces signaux à l'aide des deux phototransistors.

Connecter un phototransistor au boîtier réception puis connecter la voie correspondante à l'oscilloscope. Eclairer le phototransistor avec une des deux LEDs et observer le signal détecté : vérifier qu'il correspond bien au signal attendu. Nous allons maintenant mettre en place le multiplexage optique : placer la LED rouge en C9, la LED bleue en C8, puis le réseau en G9 et enfin la lentille entre H9 et I9. Placer l'écran dans le plan de focalisation des faisceaux incidents (ceux – ci doivent normalement être focalisés dans le même plan. Si ce n'est pas le cas, modifier légèrement la position d'une des deux LEDs). Régler ensuite la hauteur des LEDs pour que celles-ci soient identique puis ajuster la hauteur du réseau et de la lentille de manière à qu'ils interceptent tous les deux la totalité des faisceaux incidents. Modifier légèrement la position LEDs, ainsi que leur orientation, de manière à ce que l'ordre 0 du faisceau de la LED rouge se superpose avec l'ordre -1 du faisceau bleu. Lorsque c'est le cas, retirer l'écran et positionner l'extrémité de la fibre de 2m dans à l'endroit où les faisceaux se superposent

Placer la seconde extrémité de la fibre en L3 puis la seconde lentille en J3. Ajuster la hauteur de la lentille de manière à ce qu'elle intercepte la plus grande partie possible du faisceau de sortie de la fibre. Placer un écran derrière la lentille et rechercher le plan de focalisation du faisceau (tache nette et de diamètre minimal).

- **Observer l'aspect de la tache observée à l'écran. En quoi peut-on déjà dire qu'il y a bien eu multiplexage optique ?**

Retirer l'écran et placer un phototransistor à l'endroit où le faisceau est le plus fin (c'est-à-dire, dans le plan de focalisation du faisceau. Observer alors le signal à l'oscilloscope et optimiser la position et l'orientation du phototransistor de manière à avoir à l'écran un signal d'amplitude la plus élevée possible. Modifier ensuite la position de la fibre d'entrée pour obtenir un signal d'amplitude maximale

- **Observer et décrire le signal détecté par le phototransistor. Comment s'explique ce signal ? En quoi permet-il d'affirmer qu'il y a bien multiplexage optique ?**
- **Pour observer le spectre du signal détecté par le phototransistor (c'est-à-dire, les fréquences des sinusoïdes contenues dans le signal détecté), il est possible d'utiliser l'outil FFT du menu MATH de l'oscilloscope.**  
**Observer le spectre : quelles fréquences le signal contient-il ? Conclure.**
- **On souhaite transmettre simultanément par l'intermédiaire de la fibre optique un plus grand nombre de signaux en utilisant uniquement de la lumière visible. Comment procéder ? On suppose que la largeur spectrale des LEDs est égale à 20nm et qu'on utilise la bande spectrale 440nm-800nm. De plus, on souhaite que l'écart entre les longueurs d'onde centrales d'émission de deux LEDs successives soit au moins égal à deux fois la largeur spectrale des LEDs (on justifiera cette précaution). Combien peut-on alors transmettre au maximum de signaux en utilisant des LEDs émettant dans le visible ?**

Pour la suite du TP, il est préférable que l'amplitude du signal détecté par le transistor soit identique pour la LED rouge et la LED bleue. Stopper l'alimentation de la LED bleue puis mesurer l'amplitude du signal détecté par le phototransistor. Alimenter ensuite la LED bleue seule et régler l'amplitude de la tension d'alimentation de la LED de manière à ce que l'amplitude de la tension détectée par le phototransistor soit identique à celle mesurée pour la LED rouge.

#### - DEMULTIPLEXAGE OPTIQUE

L'objectif est maintenant de récupérer, au bout de la chaîne de transmission, les signaux initiaux envoyés. Pour cela, il faut parvenir à séparer de la manière la plus efficace possible les faisceaux lumineux portant chacun une des informations à récupérer, c'est-à-dire démultiplexer le signal à la sortie de la fibre. Pour cela, nous allons utiliser les filtres dichroïques.

- **En vous appuyant sur la partie étude des filtres dichroïques, expliquer en quoi un filtre dichroïque peut permettre de réaliser le démultiplexage souhaité? Si on souhaite transmettre par multiplexage plus de deux signaux, est-il aussi simple de réaliser un démultiplexage optique à l'aide de filtre(s) dichroïque(s)? Expliquer pour quelle(s) raison(s). Dans ce cas, par quel dispositif optique simple peut-on remplacer les filtres dichroïques pour réaliser le démultiplexage de manière plus aisée?**

Pour réaliser le démultiplexage, placer le filtre dichroïque jaune entre la lentille de sortie du montage et le phototransistor déjà mis en place.

- **Observer et décrire le signal alors détecté par le phototransistor. Cela correspond t'il à ce qui était attendu?**
- **Stopper maintenant l'alimentation de la LED rouge, tout en continuant d'alimenter la LED bleue. Qu'observez-vous avec le phototransistor ? D'où provient ce signal ? A quoi cela est-il dû ? En quoi cela constitue-t-il un défaut ?**

Ce que vous venez d'observer est la diaphonie : il s'agit du mélange des signaux transmis entre les différentes voies de sortie. Dans le cas qui nous intéresse ici, une partie du signal transmis par la LED rouge est détecté sur la voie de sortie de la LED bleue.

Avant de quantifier cette diaphonie nous allons observer le signal obtenu sur la seconde voie, c'est-à-dire, avec le second transistor. Rétablir l'alimentation de la LED rouge. Le signal à observer avec le phototransistor est celui réfléchi par le filtre dichroïque. Repérer le faisceau réfléchi par le filtre puis l'endroit où ce dernier est focalisé. Placer alors le phototransistor et ajuster sa position et son orientation de manière à obtenir à l'oscilloscope un signal avec une amplitude maximale.

- **Comparer les caractéristiques du signal obtenu à celles attendues en théorie. Que dire de la diaphonie sur cette voie ?**

Il est possible de quantifier la diaphonie observée sur les deux voies (diaphonie du signal bleu sur la voie rouge et celle du signal rouge sur la voie bleue). Pour cela, on définit la grandeur  $D$  telle que  $D = 10 \log\left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{bruit}}}\right)$  où  $P_{\text{signal}}$  est la puissance du signal correspondant à la voie d'observation étudiée et  $P_{\text{bruit}}$  la puissance du signal bruyant la voie d'observation. Nous supposons ici que la tension mesurée à l'oscilloscope est proportionnelle à la puissance lumineuse reçue\*. Dans ce cas, on peut écrire  $D = 10 \log\left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{bruit}}}\right)$  où  $A_{\text{signal}}$  est l'amplitude du signal utile détecté et  $A_{\text{bruit}}$  l'amplitude du signal dû à la diaphonie.

Plus la grandeur  $D$  est élevée, plus le rapport  $\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{bruit}}}$  est élevé et par conséquent, plus la diaphonie est faible.

- **A l'aide du premier phototransistor, observer le signal provenant uniquement de la LED bleue (couper l'alimentation de la LED rouge) et mesurer son amplitude puis faire de même avec la LED rouge. En déduire une estimation de la diaphonie sur la voie rouge. Répéter l'opération pour le second photodétecteur de manière à obtenir une estimation de la diaphonie sur la voie bleue.**

On souhaite maintenant comparer les performances des deux filtres proposés pour le démultiplexage. Remplacer le filtre bleu par le filtre jaune.

- **Quelle première remarque peut-on faire quant au signal transmis et à celui réfléchi par le filtre ? Comparer avec le filtre bleu ? En utilisant les courbes de transmittance des filtres, expliquer cette différence ?**
- **Mesurer la diaphonie sur chacune des canaux de réception de la même manière qu'avec le filtre bleu.**

**Comparer les résultats obtenus avec ceux du filtre bleu : quel est selon vous le filtre le adapté pour réaliser le démultiplexage ?**

Jusqu'à présent, nous avons effectué la transmission de signaux analogiques. Or, les signaux transmis sont fréquemment de nature numérique, c'est-à-dire, constitué de 0 (niveau de tension bas) et de 1 (niveau de tension haut). Nous allons simuler un signal numérique à l'aide du GBF : pour cela, modifier la forme des signaux générés par le GBF de manière à alimenter les LEDs avec un signal créneau (cela permet de simuler une succession de 0 et de 1 périodique).

- **Alimenter chacune des deux LEDs séparément. Observer et commenter les signaux obtenus : en particulier la forme des signaux est-elle celle attendue ? Que se passe-t-il si on augmente la fréquence de la tension d'alimentation des LEDs ?**
- **Alimenter simultanément les deux LEDs. Comment le signal est-il modifié sur chacune des deux voies ? A quoi cela est-il dû ? En quoi cela peut-il affecter le contenu de l'information à transmettre ?**
- **QUESTION SUPPLEMENTAIRE :**

Le phénomène que vous venez d'observer est dû à la bande passante du système de transmission mis en place : en effet, dans la chaîne de transmission, les signaux de haute fréquence (qui ont donc des variations rapide d'amplitude) sont plus atténués que ceux de fréquence moins élevée. L'origine de ce phénomène est l'effet capacitif induit par certains composants électroniques. Pour vérifier que les signaux de haute fréquence sont atténués, on peut alimenter la LED avec un signal sinusoïdal dont on fait varier la fréquence.

- **Alimenter une des deux LEDs avec un signal sinusoïdal de fréquence 100Hz et couper l'alimentation de la seconde. Observer les variations d'amplitude du signal détecté par le phototransistor lorsque la fréquence du signal sinusoïdal augmente. Mesurer la fréquence de coupure du système de transmission, c'est-à-dire, la fréquence à laquelle l'amplitude du signal reçu est divisée par  $\sqrt{2}$  par rapport à celle mesurée à 100Hz.**
- **QUESTION SUPPLEMENTAIRE : Tracer le diagramme de Bode du système et en déduire une estimation de la fréquence de coupure à -3dB. A quel dispositif électronique ce diagramme vous fait-il penser ?**
- **On souhaite transmettre une information numérique à l'aide de notre système de transmission. La fréquence maximale du signal à transmettre ne doit pas excéder la fréquence de coupure du système. Quel est le débit maximal (en bits/s) du système de transmission ?**

#### - MANIPULATION A REALISER AVEC LE KIT COMPLEMENTAIRE OPTIQUE -

On souhaite maintenant transmettre l'information sur une distance plus grande distance : pour cela, nous allons utiliser la fibre de 10m.

- **Compte tenu de l'étude des fibres effectuée précédemment, quelle sera l'influence de cette modification sur les signaux détectés par les phototransistors ?**

Remplacer la fibre de 2m par la fibre de 10m. Ajuster la position des extrémités de la fibre (sans modifier le reste du montage) de manière à ce que l'amplitude du signal détecté par les phototransistors soit maximale.

- **Retirer le filtre dichroïque. Alimenter la LED bleue tout en stoppant l'alimentation de la LED rouge puis mesurer l'amplitude du signal détecté par le phototransistor. Faire de même avec la LED bleue. Comparer ces amplitudes à celles obtenues avec la fibre de 2m. Quelles remarques pouvez-vous faire ? Est-ce bien ce qui était attendu ?**



## Des services au quotidien

### Obtenir des conseils, un devis, une demande de démo



#### > Service technico-commercial

Pour la Métropole

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : [optique@ovio-instruments.com](mailto:optique@ovio-instruments.com)

Web : [www.ovio-optics.com](http://www.ovio-optics.com)

Pour l'International

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : [export@ovio-instruments.com](mailto:export@ovio-instruments.com)

### Commander, suivre une commande

#### > Administration des ventes

Passer une commande

Fax : +33 (0)1 30 44 25 40

E-mail : [optique@ovio-instruments.com](mailto:optique@ovio-instruments.com)

Courrier : OVIO Instruments - Service Clients

468, rue Jacques-Monod

CS 21900, 27019 Evreux CEDEX France

Suivre une commande

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : [optique@ovio-instruments.com](mailto:optique@ovio-instruments.com)



### Obtenir des conseils, un devis, une demande de démo



#### > Support technique, SAV

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : [SAV@ovio-instruments.com](mailto:SAV@ovio-instruments.com)

Web : [www.ovio-optics.com](http://www.ovio-optics.com)

Pour l'International

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

Attention : pour tout retour de matériel en SAV, merci de nous appeler au préalable.