



BARBIER Pierre-Paul
LANGUY Fabian

Travaux pratiques de première licence
F.FRISING et P.LOUETTE

Fibre optique

- Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur -
- Année académique 2005-2006 -

1. Table des matières

1. TABLE DES MATIÈRES.....	2
2. INTRODUCTION.....	4
3. THÉORIE PRÉLIMINAIRE.....	5
3.1. RAPPELS SUR LA LUMIÈRE.....	5
3.1.1. <i>L'onde électromagnétique.....</i>	<i>5</i>
3.1.2. <i>Polarisation.....</i>	<i>5</i>
3.1.3. <i>Réfraction et réflexion.....</i>	<i>6</i>
3.2. THÉORIE SUR LA FIBRE OPTIQUE.....	7
3.2.1. <i>Fibre à saut d'indice.....</i>	<i>7</i>
3.2.2. <i>Fibre à gradient d'indice.....</i>	<i>9</i>
4. CONDITION DE GUIDAGE.....	10
4.1.1. <i>Cône d'acceptance et ouverture numérique.....</i>	<i>10</i>
4.1.2. <i>Condition d'interférence.....</i>	<i>11</i>
4.2. PROBLÉMATIQUE DE LA LONGUEUR D'ONDE.....	11
4.2.1. <i>Fibres multimodes.....</i>	<i>11</i>
4.2.2. <i>Fibres monomodes.....</i>	<i>12</i>
4.3. LES PERTES.....	12
4.3.1. <i>La diffusion.....</i>	<i>12</i>
4.3.2. <i>Absorption.....</i>	<i>12</i>
4.3.3. <i>Les raccords.....</i>	<i>12</i>
4.4. SÉPARATION DES FAISCEAUX.....	13
4.4.1. <i>Diffraction par un réseau.....</i>	<i>13</i>
5. DESCRIPTION DU MATÉRIEL ET PHILOSOPHIE DE MONTAGE.....	17
5.1. DESCRIPTION DU MATÉRIEL	17
5.1.1. <i>Fibre optique</i>	<i>17</i>
5.1.2. <i>Diode laser modulable.....</i>	<i>17</i>
5.1.3. <i>Laser He-Ne</i>	<i>18</i>
5.1.4. <i>Coupleur fibré et multiplexeur en longueur d'onde</i>	<i>18</i>
5.1.5. <i>Système de détection amplifié</i>	<i>18</i>
5.1.6. <i>Lentilles</i>	<i>19</i>
5.1.7. <i>Un réseau de diffraction</i>	<i>19</i>
5.1.8. <i>Un polariseur</i>	<i>19</i>
5.1.9. <i>Lame demi-onde :</i>	<i>19</i>
5.2. PHILOSOPHIE DE RÉGLAGE.....	21
6. MANIPULATION :	22
6.1. OUVERTURE NUMÉRIQUE :	22
6.2. PERTES :	22
6.3. DIRECTIVITÉ :	23
6.4. ÉVALUATION DE LA LONGUEUR D'ONDE DES LASERS :	23
6.5. MESURE DU CARACTÈRE DISPERSIF DE LA FIBRE :	24
7. OBSERVATION NON-ÉCLAIRCIE.....	26
8. CONCLUSION.....	26
9. SOURCES.....	27

2.Introduction

Les premières fibres optiques dignes de ce nom apparurent dans les années 1970. Cependant, déjà en 1870, John Tyndall montra lors d'une conférence destinée au grand public, que la lumière pouvait être transmise par réflexion au sein d'un milieu courbe. Il en fit la démonstration à l'aide d'un récipient percé d'un trou par lequel de l'eau pouvait passer et s'écouler dans un second récipient. Il observa que la lumière provenant du soleil se réfléchissait en zigzag :

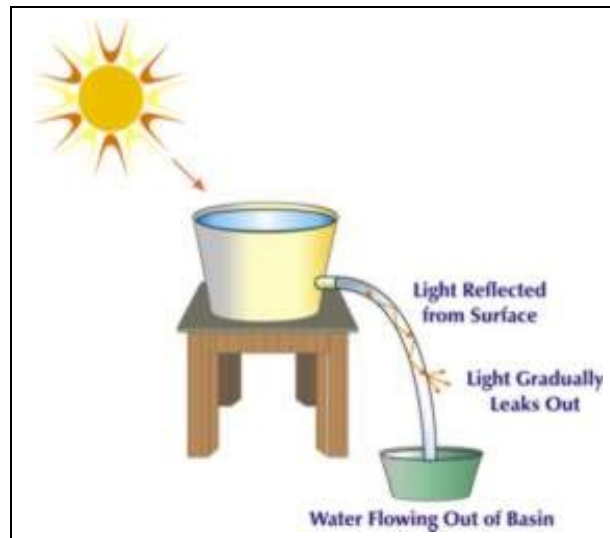


Figure 1 - Expérience de Tyndall

Il fallut ensuite attendre un siècle avant que Robert D. Maurer et l'équipe de chercheurs de la société Corning conçoivent et produisent la première fibre optique industrielle.

Aujourd'hui l'importance de la fibre optique n'est plus à démontrer, elle joue en effet un rôle crucial en communication. Au cours de cet exposé, nous étudierons différentes propriétés de la fibre optique et tenterons d'expliquer ce qui fait qu'elle est tant utilisée de nos jours. Plus particulièrement, nous verrons comment faire transmettre deux signaux différents simultanément et comment recueillir les informations séparément à la sortie de la fibre.

3. Théorie préliminaire

3.1. Rappels sur la lumière

3.1.1. L'onde électromagnétique

En combinant correctement les quatre équations de Maxwell et si on définit la direction de propagation comme étant l'axe ox (voir **Figure 1**) on trouve comme solutions des équations différentielles :

$$E_y(x, t) = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$B_z(x, t) = B_0 \sin(kx - \omega t)$$

Ces champs oscillent chacun entre un maximum et un minimum : ces maxima déterminent les amplitudes qui sont respectivement de E_0 et B_0 pour le champ électrique et magnétique ($E_0 = cB_0$). La distance entre deux maxima est la longueur d'onde (λ). Contrairement aux ondes sonores, celles-ci sont transverses. De plus, elles peuvent se propager dans le vide mais ralentissent dans les milieux où la concentration moléculaire est plus dense.

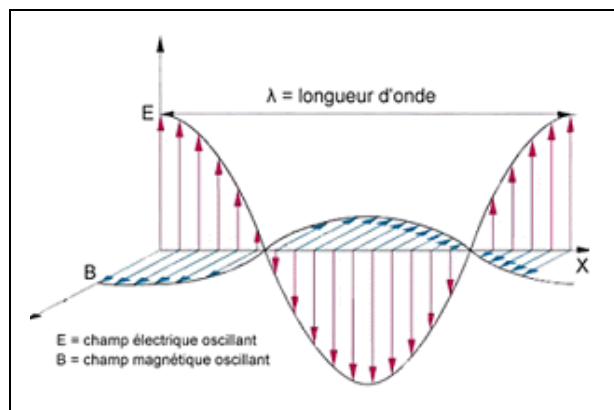


Figure 2

3.1.2. Polarisation

Le plan de polarisation de la lumière est défini par la direction dans laquelle le champ électrique de la lumière oscille. La lumière émise spontanément (autrement que par un LASER) est produite de manière aléatoire par un très grand nombre d'atomes. Le champ électrique total, perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, correspond à la somme vectorielle des champs électriques individuels. L'onde résultante possède une polarisation pour chaque instant ; mais cet état de polarisation change sans cesse. On parle alors d'une onde **non polarisée** ou **naturelle**.

3.1.3. Réfraction et réflexion

Soit un rayon incident (voir **Figure 3**) se propageant à une vitesse v_1 dans un milieu N_1 (d'indice de réfraction n_1) vers un second milieu N_2 (d'indice de réfraction n_2). Au moment où le rayon lumineux atteint le dioptre, il peut subir deux phénomènes : la réflexion telle que l'angle L_1 soit égale à i_1 et la réfraction qui est régie par la loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

Équation 1

Les indices de réfraction étant définis par le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide par la vitesse de la lumière dans le milieu considéré.

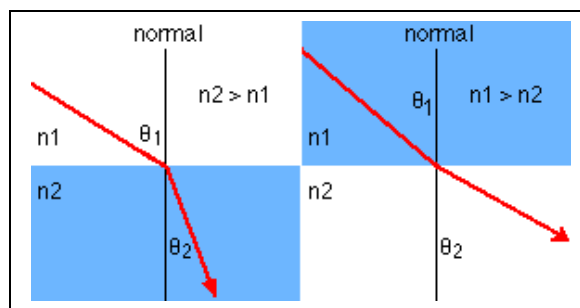


Figure 3

Toujours par la loi de Snell-Descartes, dans le cas où $n_2 > n_1$, on peut trouver l'angle d'incidence maximal (le sinus étant toujours inférieur à 1) au delà duquel il n'y a plus de réfraction :

$$\theta_{\max} = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right) \quad \text{avec } n_2 > n_1$$

Équation 2

Notons que l'angle θ_{\max} pour la réfraction équivaut à l'angle minimum pour qu'il y ait réflexion totale puisqu'il faut qu'il n'y ait plus de réfraction pour avoir réflexion totale.

3.2. Théorie sur la fibre optique

La fibre optique est un guide d'ondes optiques constituée d'une gaine diélectrique homogène et d'un cœur qui n'est pas forcément homogène comparé à la gaine :

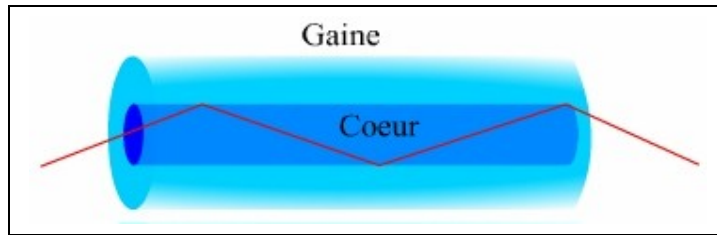


Figure 4

Le principe de fonctionnement de la fibre optique est basé sur la réflexion totale, l'indice de réfraction du cœur (n_c) étant supérieur à celui de la gaine (n_g).

Il existe deux types de fibres ayant des caractéristiques et applications différentes : la fibre à gradient d'indice et celle à saut d'indice.

3.2.1. Fibre à saut d'indice

Il s'agit de la fibre classique dont la gaine et le cœur sont homogènes. L'indice de réfraction varie de manière discontinue à l'interface entre le cœur et la gaine :

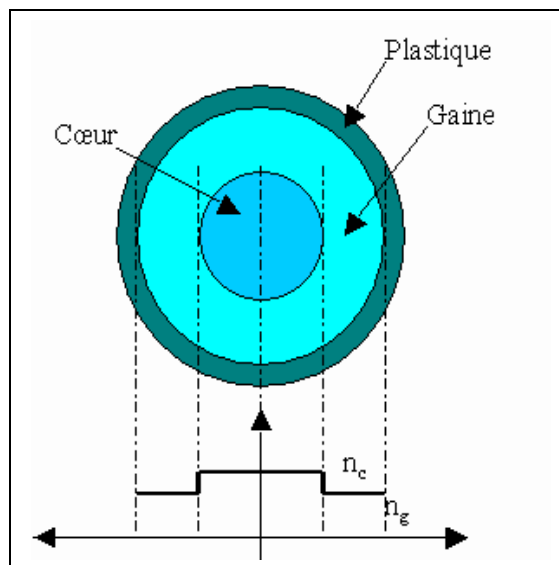


Figure 5

Les rayons subissent une réflexion à l'interface :

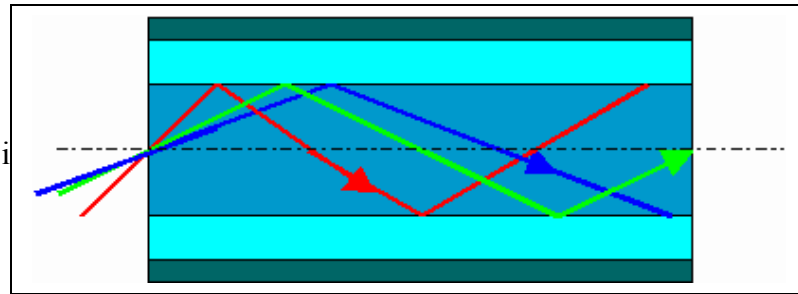


Figure 6

Suivant l'angle d'entrée, les rayons parcourront des chemins différents et auront donc un temps de parcours qui diffère ce qui entraîne un étalement du signal d'entrée au cours du temps : on parle de dispersion modale¹.

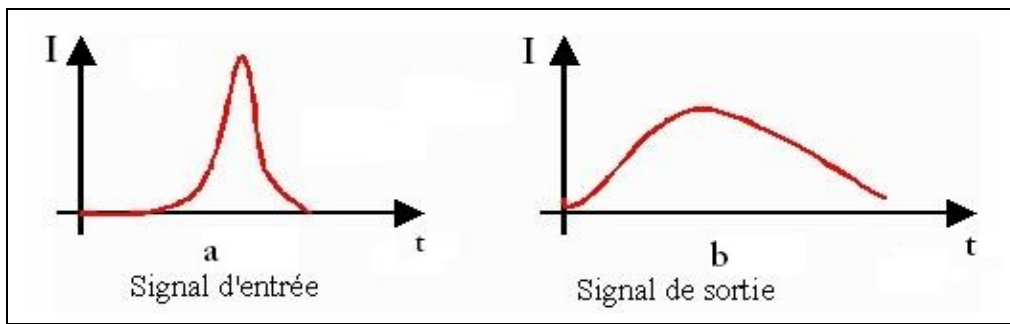


Figure 7

Concrètement, si on se place à l'entrée (en $x = 0$) et que j'observe l'intensité en fonction du temps j'obtiendrai le signal 7a tandis que plus loin ($x > 0$) j'obtiendrai le signal 7b.

L'étalement dépend donc de l'angle d'incidence mais aussi du diamètre du cœur qui est généralement de l'ordre de $200\mu\text{m}$.

¹ La notion de mode sera approfondie au point 4

3.2.2.Fibre à gradient d'indice

Plus on s'éloigne de manière radiale du centre, plus l'indice de réfraction est faible (variation de type parabolique) :

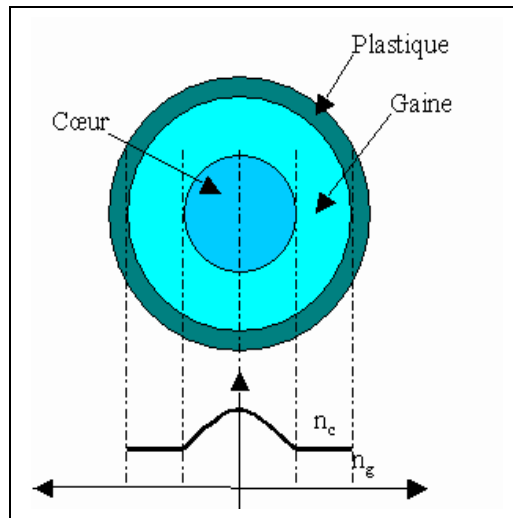


Figure 8

Le chemin parcouru par les rayons sont alors différents du premier cas :

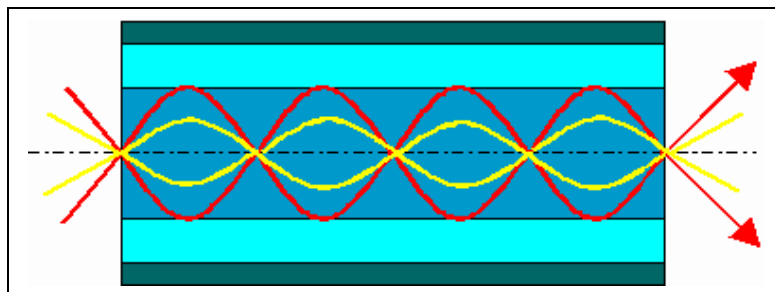


Figure 9

Ce type de fibre permet de diminuer l'étalement du signal de sortie car premièrement : le diamètre du cœur (environ 50-100 μm) est inférieur à celui de la fibre à saut d'indice et deuxièmement, même si les modes supérieurs (c'est-à-dire ceux qui s'éloignent fort de l'axe, comme par exemple le rayon rouge sur la Figure 9) ont un chemin plus long à parcourir, la différence de parcours avec les ordres faibles (rayon jaune) est compensée par une vitesse moyenne plus grande pour les modes supérieurs étant donné la diminution de l'indice de réfraction (et donc l'augmentation de la vitesse de propagation selon $v = \frac{c}{n}$) vers les bords.

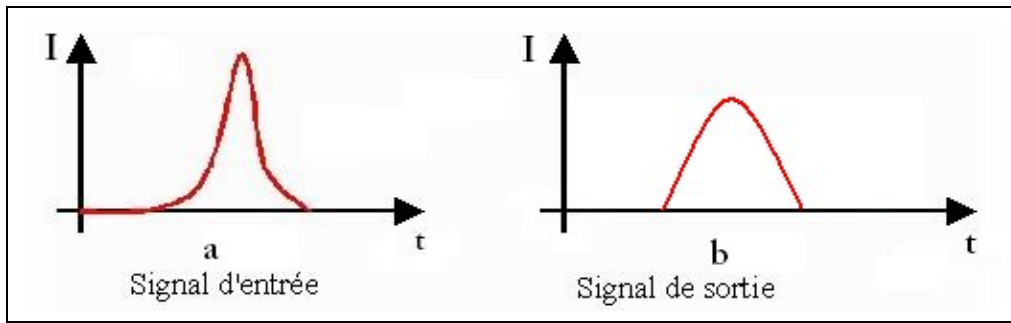


Figure 10

L'étalement est donc plus faible qu'à la Figure 7.

4. Condition de guidage

4.1.1. Cône d'acceptance et ouverture numérique

Bien sur, le rayon incident doit satisfaire certaines conditions pour pouvoir être guidé par la fibre. Il faut, premièrement, que la longueur d'onde du rayon soit inférieure au diamètre de la fibre et deuxièmement, il faut que le rayon soit dans des conditions de réflexion totale. Pour satisfaire à cette dernière exigence, il faut tenir compte de l'indice de réfraction de l'air (n_a)

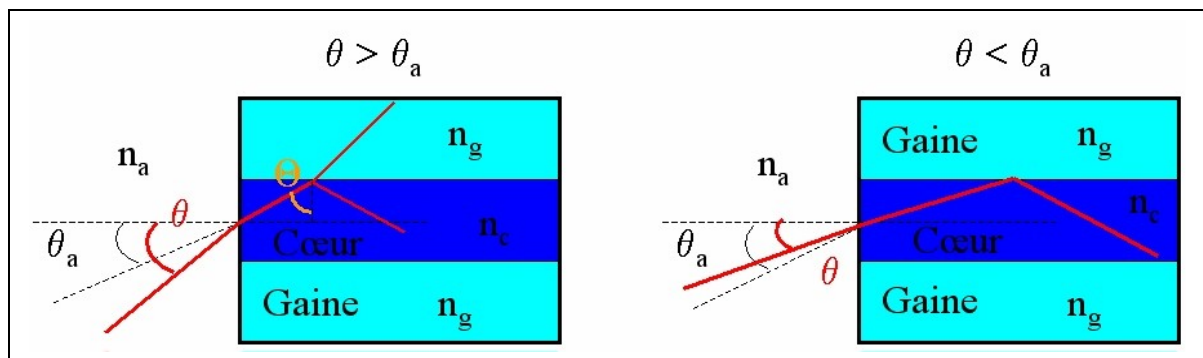


Figure 11

On a :

$$\begin{aligned}
 n_a \sin(\theta) &= n_c \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \\
 &= n_c \cos(\theta) \\
 &= n_c \sqrt{1 - \sin^2(\theta)}
 \end{aligned}$$

Or,

$$\theta_{\min} = \arcsin\left(\frac{n_g}{n_c}\right)$$

D'où

$$\sin(\theta_{\max}) = \frac{n_c}{n_a} \sqrt{1 - \left(\frac{n_g}{n_c}\right)^2}$$

Que l'on réécrit comme suit :

$$\sin(\theta_{\max}) = \left(\frac{n_c^2 - n_g^2}{n_a^2}\right)^{1/2}$$

Équation 3

Cet angle (θ_{\max}) définit le **cône d'acceptance** (θ_a):

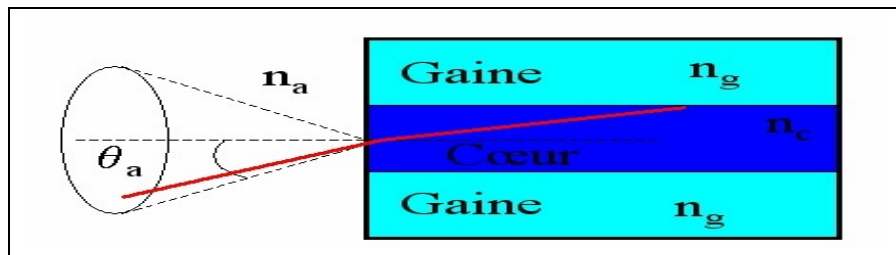


Figure 12

L'angle d'acceptance permet de définir ce qu'on appelle l'ouverture numérique de la fibre, ouverture qui dépend bien évidemment des indices respectifs des deux couches optiques :

$$\text{Ouverture numérique} = \sin \theta_a = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

4.1.2. Condition d'interférence

hrh

4.2. Problématique de la longueur d'onde

Pour diminuer l'étalement du signal de sortie, on pourrait diminuer le diamètre du cœur. Tant que la longueur d'onde (λ) du signal d'entrée est inférieure au diamètre de la fibre, aucun problème n'apparaît et on peut appliquer les lois de l'optique géométrique. Par contre, si la longueur d'onde est proche du diamètre de la fibre, la propagation de l'onde est régie par la théorie des guides d'ondes. Les guides d'ondes dépendent du spectre que l'on veut observer, les fibres optiques (fabriquées à partir de silice avec du germanium pour augmenter l'indice de réfraction) ne trouvent donc leur application que dans le spectre visible.

On va alors distinguer les fibres monomodes et multimodes dont la différence se situe au niveau du diamètre du cœur.

4.2.1. Fibres multimodes

Les fibres multimodes sont caractérisées par un cœur de diamètre assez important de l'ordre de 100µm ce qui engendrera une forte dispersion du signal. Donc, bien que faciles à connecter, on utilisera ce type de fibre uniquement pour des petits réseaux.

4.2.2.Fibres monomodes

Les fibres monomodes ont un cœur de diamètre nettement plus faible, de l'ordre de 10µm. Dès lors, les angles d'incidence sont également petits, on obtient donc une dispersion presque nulle.

Introduisons la fréquence normalisée (V), nombre sans dimension, qui devra bien évidemment tenir compte du rayon du cœur (r_c) :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} r_c \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

La littérature nous apprend qu'on peut considérer une fibre comme multimodale si $V > 2,405$.

4.3.Les pertes

Si tout se passait dans des conditions de réflexion totale, il ne devrait pas y avoir de pertes or ce n'est pas le cas.

Les pertes sont dues à plusieurs phénomènes

4.3.1.La diffusion

Les fibres ne sont pas parfaitement régulières, leur géométrie varie toujours selon x, y ou z . Soit z , l'axe de la fibre. Si une irrégularité subvient en z_0 , les conditions de raccord des guides d'onde imposant que E_x, E_y, H_x, H_y doivent être continus, un mode guidé avant z_0 ne peut pas se changer en un mode guidé après z_0 , il doit donc exister un champ qui empêchera cette discontinuité. Ce champ est un champ rayonnant qui a la propriété de rayonner dans toutes les directions, d'où pertes.

De plus une telle discontinuité peut également entraîner une réflexion partielle.

4.3.2.Absorption

Réellement, les matériaux ne sont pas parfaitement transparents mais sont toujours plus ou moins absorbants. L'énergie électrique est alors partiellement convertie en chaleur.

4.3.3.Les raccords

Les pertes par absorption et diffusion sont bien présentes mais la principale source de perte n'est pas inhérente à la fibre optique mais se situe aux différents raccords nécessaires pour conduire l'information.

4.4.Séparation des faisceaux

4.4.1.Diffraction par un réseau

Par transmission

L'intensité lumineuse étant définie par la puissance de l'onde par unité de surface se caractérise par

$$I = \left| \vec{E} \right|^2 \cdot \epsilon_0 \cdot c$$

E étant l'amplitude du champ électrique, en se plaçant dans les hypothèses d'une onde sphérique

$$E = \frac{A}{r} \cos(kr - \omega t) = \frac{A}{r} \Re \left[e^{i(kr - \omega t)} \right]$$

Pour des raisons de facilité, nous omettrons volontairement de spécifier qu'il faut prendre la partie réelle.

Pour un réseau de N fentes équidistantes,

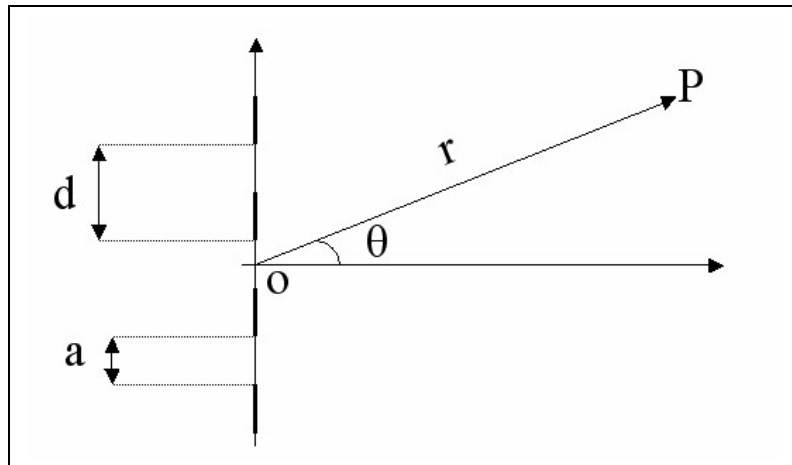


Figure 13

nous obtenons au point P

$$E_{tot}(P) = \sum_{n=0}^{n=N-1} E_n(P)$$

avec

$$E_n(P) = \frac{A}{a \cdot r} e^{i(kr - \omega t)} \int_{nd - a/2}^{nd + a/2} e^{-iky \cdot \sin \theta} dy$$

a = largeur de la fente

d = distance centre à centre entre de deux fentes

r = distance de l'origine au point P, l'origine étant placée de manière à ce que le réseau soit symétrique (voir Figure 15)

Ce qui nous donne après quelques calculs effectués dans l'approximation de Fraunhofer² :

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \left(\frac{\sin N\alpha}{\sin \alpha} \right)^2$$

Équation 1 : Calcul de l'intensité

I_0 étant une constante, le second terme est dû à la diffraction et le troisième à l'interférence où

$$\alpha = \frac{kd \cdot \sin \vartheta}{2}$$

$$\beta = \frac{ak \cdot \sin \vartheta}{2}$$

Remarquons que la fréquence des interférences est plus élevée.

Recherchons les maxima :

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\left(\frac{\sin N\alpha}{\sin \alpha} \right)^2 \right] = 0$$

C'est-à-dire si

$$\frac{\sin N\alpha}{\sin \alpha} = N$$

Ce qui est le cas quand

$$\alpha = 0, \pm\pi, \pm2\pi, \dots$$

ou encore :

$$\frac{\pi d \cdot \sin \vartheta_m}{\lambda} = m\pi \quad m \in \mathbb{Z}$$

Si l'on exprime le résultat en fonction de θ on obtient :

$$\sin \vartheta_m = \frac{m\lambda}{d}$$

Équation 4 : Formule des réseaux

Par réflexion

De loin les plus utilisés de nos jours, les réseaux par réflexion sont des surfaces de verres gravées (quelques centaines de traits par millimètre pour des réseaux fonctionnant dans le visible) puis aluminées ou argentées. Ces réseaux se comportent comme des miroirs et présentent l'avantage d'éviter la traversée du verre et d'altérer l'onde par les éventuels défauts du matériau. Ces réseaux sont aussi plus faciles à fabriquer. Un autre avantage de ce procédé

² C'est-à-dire lorsque $a \ll r$

se situe au niveau de la détection des ordres : en effet, il suffit de placer les réseaux sur un support tournant et de laisser fixes les détecteurs par capter les différents ordres de diffraction ; le principe de diffraction reste identique à celui des réseaux par transmission. Cependant la formule des réseaux (Équation 4) ne tient pas compte de l'angle d'incidence car on supposait le vecteur d'onde normal au réseau.

La formule généralisée des réseaux doit tenir compte cet angle d'incidence θ_i :

$$\sin \theta_m - \sin \theta_i = \frac{m\lambda}{d}$$

Équation 5 : formule des réseaux généralisée

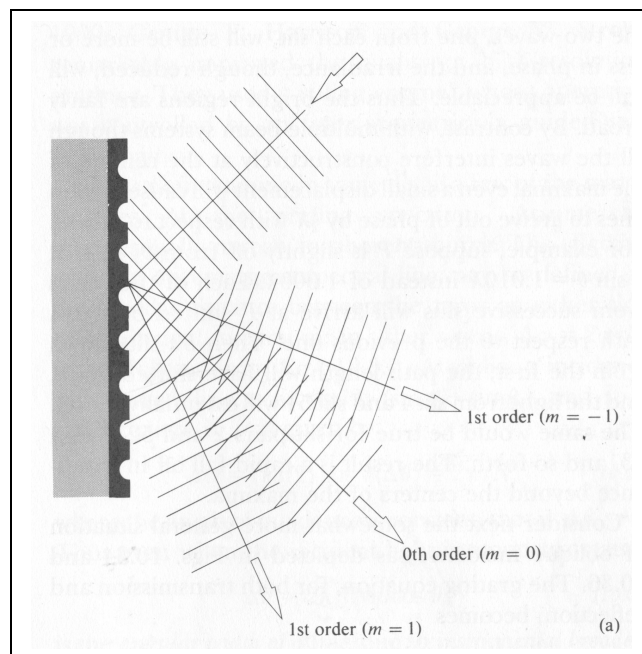


Figure 14 : diffraction par réflexion

5. Description du matériel et philosophie de montage

5.1. Description du matériel

5.1.1. Fibre optique

La fibre que nous possédons est une fibre multimode à saut d'indice. La longueur de la fibre est de l'ordre du mètre ce qui empêche les pertes dues aux longueurs mais les pertes dues aux raccords subsistent toujours.

5.1.2. Diode laser modulable

Ayant une longueur d'onde de 670 nm. Elle permet d'envoyer des fréquences sinusoïdales allant de 100 Hz à 7Mhz. On peut aussi utiliser la diode laser modulable en output c'est-à-dire envoyer un signal d'amplitude voulue et de fréquences désirés.

Principe de la diode laser :

Il existe théoriquement 3 types d'interactions entre photon et électron :

_ *L'absorption* : Un photon d'énergie $h\nu = E_2 - E_1$ entre en collision avec un électron au niveau d'énergie E_1 . Le photon est absorbé par l'électron qui passe, grâce à cette augmentation d'énergie, au niveau E_2 .

_ *L'émission spontanée* : Un électron d'énergie E_2 perd spontanément un photon d'énergie $h\nu = E_2 - E_1$ pour revenir au niveau fondamental.

_ *L'émission stimulée* : Le cas le plus intéressant : Un photon d'énergie ($h\nu = E_2 - E_1$) force un électron du niveau E_2 à retomber sur le fondamental en émettant un autre photon de même énergie dans la même direction.

C'est cette dernière interaction qui est à la base de l'effet LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Un laser comporte essentiellement trois éléments :

_ Un *milieu actif* capable d'amplifier l'intensité de la lumière incidente par émission stimulée.

_ Un *dispositif de pompage* qui permet de reproduire l'inversion de population dans le milieu actif (c'est-à-dire plus d'atomes dans le niveau excité).

_ Un *résonateur optique* dans lequel on place le milieu actif. Il augmente l'amplification et effectue une sélection dans les fréquences émises.

Dans un semi-conducteur, il y a quelques électrons dans la bande de conduction et quelques trous dans la bande de valence. Lorsqu'un électron transite de la bande de conduction dans la bande de valence, il y a recombinaison d'une paire électron - trou. Cette transition peut donner lieu à une émission de lumière. L'inversion de population se produit grâce à la circulation d'un courant dans le semi-conducteur. Ce qui va produire au niveau de la jonction une augmentation des électrons dans la bande de conduction et une augmentation des trous dans la bande de valence. Le résonateur optique est constitué des faces parallèles de la jonction ; elles sont polies de façon à se comporter comme des faces semi réfléchissantes et produire un effet laser.

5.1.3.Laser He-Ne

Ce LASER possède une longueur d'onde de 632,8 nm. Il est utilisé avec une cellule de Pockels pour permettre la modulation du signal, à l'aide d'un générateur amplificateur.

Principe du laser He-Ne :

Dans un laser à gaz, le milieu amplificateur est à l'état gazeux. Les lasers à gaz atomique utilisent une transition entre deux niveaux d'un atome neutre. Les lasers à gaz ionique utilisent les transitions entre deux niveaux d'un atome ionisé. Le pompage est généralement produit par une décharge électrique continue. Un laser à gaz est constitué d'un tube dans lequel se produit la décharge entre deux miroirs dont un possède un coefficient de réflexion de plus ou moins 98 %.

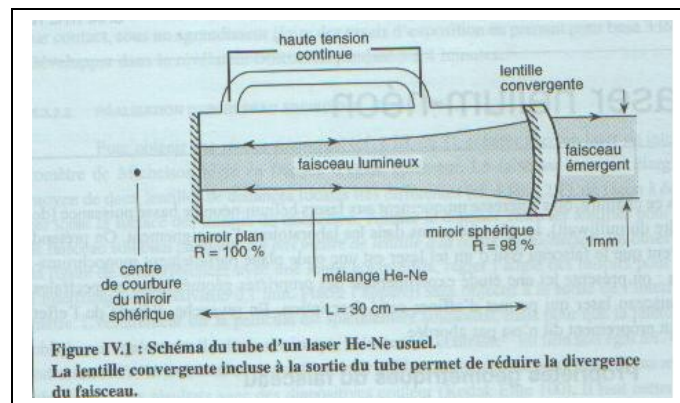


Figure 15

5.1.4.Coupleur fibré et multiplexeur en longueur d'onde

Le coupleur multimodes que nous employons peut être utilisé comme séparateur ou concentrateur. Dans un système à fibre optique, il joue un rôle semblable à un séparateur de faisceaux en optique conventionnelle ou un connecteur en T en électronique. La réalisation d'un coupleur fibré en Y est réalisable par microforgeage des fibres.

5.1.5.Système de détection amplifié

Il s'agit d'une photodiode, elle permet de mesurer l'intensité et la forme d'un signal.

Principe d'une photodiode :

La photodiode possède beaucoup d'avantage ; c'est un détecteur rapide, linéaire et peu onéreux. La relation courant -tension d'une diode est donnée par : $I_d = I_s [\exp(V / k_b T) - 1]$

Où I_s est le courant inverse d'obscurité, k_b est la constante de Boltzmann et T est la température. Dans une photodiode, chaque photon absorbé crée une paire électron - trou. Le champ électrique qui règne dans la zone de déplétion sépare les deux porteurs s'ils sont créés à son voisinage. L'électron photocréé se déplace de la zone P vers la zone N à l'intérieur du semi conducteur. On a donc une photocourant inverse : $I_{ph} = \eta q \phi \lambda / hc$

Le générateur de courant I_{ph} est en parallèle avec une diode. Le courant dans le circuit extérieur s'écrit donc $I = I_d - I_{ph}$. Les caractéristiques sous éclairage s'obtiennent en fonction des caractéristiques de $I = f(V)$ dans l'obscurité et on observe un décalage en fonction du flux de lumière reçu.

5.1.6. Lentilles

Elles permettent de concentrer le faisceau lumineux de telle sorte qu'il puisse entrer dans la fibre optique.

5.1.7. Un réseau de diffraction

Utilisé pour séparer les faisceaux lumineux des différentes sources. Il est employé pour retrouver les différents signaux envoyés du fait de leurs longueurs d'onde différentes.

5.1.8. Un polariseur

On utilise un polariseur à la sortie du laser He-Ne.

Principe du polariseur :

Une onde lumineuse est une onde électromagnétique, elle est donc caractérisée par un champ électrique et un champ magnétique et une direction de propagation. Un plan de polarisation est défini par le champ E et la propagation de l'onde. La polarisation de l'onde correspond au champ E. Lorsque une lumière est émise, elle n'est pas polarisée. La polarisation se fait à l'aide d'un polariseur. Lorsqu'on place un polariseur dans la direction du laser, seule la composante suivant la direction du polariseur est transmise. L'intensité de l'onde transmise est égale au carré de son amplitude.

5.1.9. lame demi-onde :

La lame demi-onde ou $\lambda/2$ sert lors de manipulations pour trouver les maximums et minimums lors de manipulations.

Qu'est ce qu'une lame demi-onde :

Les interactions de la lumière avec les atomes ou les molécules d'un matériau sont fonctions de la longueur d'onde. Les conséquences de ces interactions sont une dispersion de la lumière dans le matériau et la biréfringence (changement de l'indice de réfraction avec la polarisation de la lumière). La biréfringence peut être utilisée afin de modifier l'état de polarisation de la lumière. Une onde traversant un matériau biréfringent va subir un déphasage ϕ tel que : $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} nL$.

Où λ est la longueur d'onde, n et L sont l'indice de réfraction et l'épaisseur du milieu traversé. La polarisation du faisceau incident peut se décomposer en deux composantes se propageant chacune suivant un des axes du matériau. La vitesse de propagation dépend de

l'indice de réfraction (n_c/n), l'axe lent sera donc celui pour lequel l'indice de réfraction est le plus élevé. Le retard Γ entre les deux ondes se propageant dans le matériau est donc :

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} (n_{\text{lent}} - n_{\text{rapide}}) L$$

Équation 6

Pour $\Gamma = \pi$, on a une lame demi onde. Une lame demi-onde est constituée d'une lame à faces parallèles taillée dans un cristal anisotrope uni axiale. Lorsque l'onde traverse cette lame, les deux composantes (E_x et E_y) du champ électrique sont déphasées de π l'une par rapport à l'autre. On peut alors montrer que pour une onde incidente faisant un angle α avec un des axes de la lame, l'onde résultante aura tourné d'un angle 2α par rapport à l'axe.

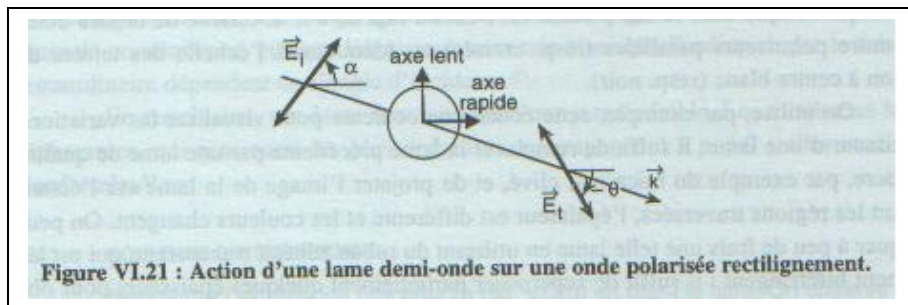


Figure 16

Les lentilles, fixations de fibres optiques sont montées sur des platines de translation X Y Z. Un réglage fin est important pour avoir une intensité lumineuse importante dans les fibres optiques. Un faible désaxement de la lentille par rapport au faisceau lumineux peut faire diminuer le gain de manière importante. C'est pour cette raison qu'il faut une philosophie de réglage minutieuse.

5.2.Philosophie de réglage

Une grande partie de notre temps de travail a servi à trouver le moyen d'obtenir une intensité importante qui circule dans la fibre. C'est-à-dire une perte de plus ou moins 50% par rapport à l'intensité initiale comme nous le prévoyait les datas cheets.

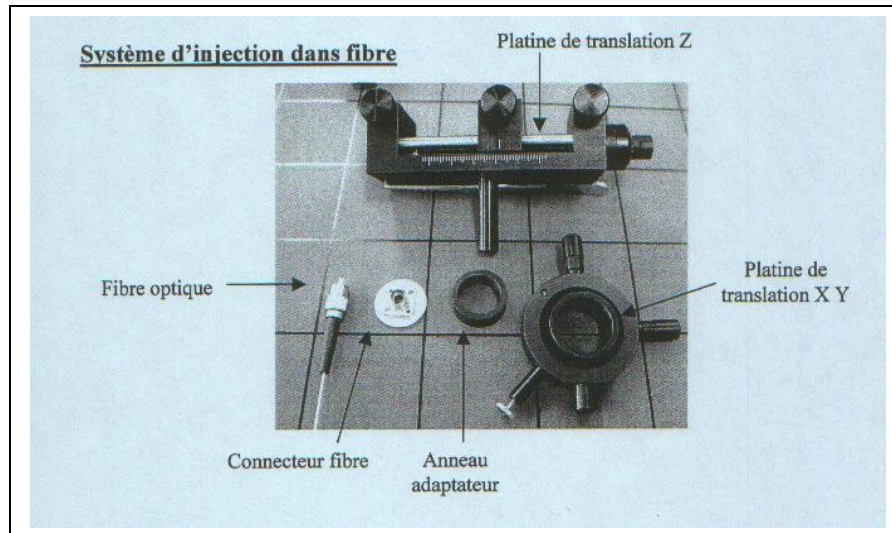


Figure 17

Sont montées sur la platine de translation Z, deux platines de translation XY ; une pour la fibre et l'autre pour la lentille. La platine Z est placée face au laser. On place au centre de l'anneau adaptateur un disque percé au centre qui est à notre disposition. L'anneau adaptateur est placé au centre de la platine de translation XY.

L'horizontalité du faisceau et sa direction sont très importants. Une manière d'avoir une direction stable est de s'aider des carrés présents sur la table magnétique. Pour obtenir une horizontalité du faisceau plus ou moins correcte avant de placer les platines, nous avons mesuré la hauteur du faisceau à différentes distances du laser. C'est-à-dire que la hauteur du faisceau doit être constante par rapport au plan de travail. Ensuite nous avons inséré les platines que nous avons réglées avec une certaine philosophie.

Voici la philosophie de réglage que nous avons utilisé :

- Horizontalité du réseau à l'aide des disques troués ; précision très importante..
- Vérification que le laser passe bien par les deux trous au centre des disques percés.
- On remplace le disque percé par la lentille et on vérifie que le laser circule toujours bien par le centre du second anneau adaptateur.
- On remplace le deuxième disque par la fibre de détection.
- Ensuite on joue sur les vis de réglages (x,y,z).
- Pour terminer, on place un détecteur relié à un oscilloscope à l'autre extrémité de la fibre pour un réglage plus fin des vis dans l'axe (x,y,z).

6.Manipulation :

6.1.Ouverture numérique :

L'ouverture numérique correspond à la quantité de lumière pouvant être collectée par la fibre optique. Dans la plupart des cas, la lumière vient de l'air donc $n_i=1$. La formule de l'ouverture numérique est alors donnée par : $ON = \sqrt{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2} = n_i \sin(\theta_{max})$

Méthode expérimentale pour calculer l'ouverture numérique :

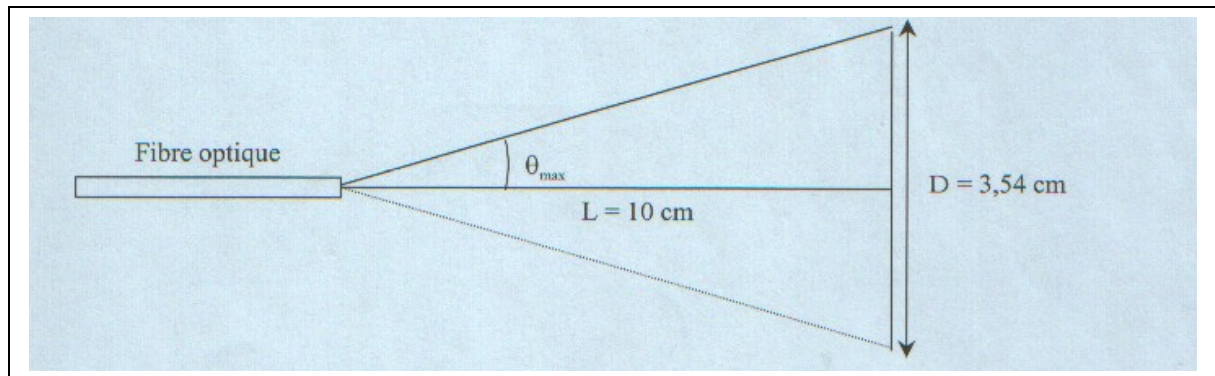


Figure 18

Dans notre cas, $L=16\text{cm}$, $D=7\text{cm}$.

Donc,

$$\theta_{max} \approx \arctg\left(\frac{D/2}{L}\right) = \arctg\left(\frac{3.5}{16}\right) = 12^\circ$$
$$ON = n_i \sin(\theta_{max}) = 1 * \sin 12^\circ = 0.20$$

Équation 7

Le fournisseur donne une ouverture numérique de la fibre de 0.20 ± 0.015 .

6.2.Pertes :

On définit la perte comme la puissance de sortie divisée par la puissance d'entrée.

$$L = \frac{P_{out}}{\sum P_{in}}$$

Sachant que les puissances d'entrée sont :

- Pour la diode laser 5 V
- Pour le laser He-Ne 4V

La valeur de P_{in} vaut : 9V

Les tensions à la sortie de la fibre optique sont :

- Pour la diode laser 3.1 V

- Pour le laser He-Ne 0.75 il y a une perte importante due à l'insertion de la cellule de Pockel sur le passage du laser.

La valeur de P_{out} vaut: $3.1+0.75=3.85V$

Le calcul de la perte est donc :

$$L = \frac{P_{out}}{\sum P_{in}} = \frac{3.75}{9} = 0.41$$

Ce qui nous donne en (db) :

$$L(db) = 10 \log(L) = 10 \log(0.41) = -3.87$$

Soit une perte d'environ 55% et le constructeur prévoit une perte de l'ordre de 50%.

6.3.Directivité :

La directivité est définie comme la puissance revenant dans l'entrée de la seconde fibre divisée par la puissance d'entrée.

$$D = -10 \log \left(\frac{0.0235 - 0.008}{2.6} \right) = 22db$$

6.4. Évaluation de la longueur d'onde des lasers :

Grâce au réseau, il est possible de retrouver lors de la démodulation, les longueurs d'onde des deux faisceaux. Le faisceau sortant de la fibre est envoyé sur le réseau de diffraction. En mesurant les angles de réfraction et en connaissant le pas du réseau, on peut déterminer la longueur d'onde. la formule permettant de trouvé la longueur d'onde est donné par :

$$p = \frac{\lambda}{\sin \theta_d}$$

Où p est le pas du réseau soit le nombre de traits par millimètre, et θ_d est l'angle entre le rayon et le réseau.

Pour la diode laser, l'angle est de 56° . La longueur d'onde vaut :

$$\lambda = 833 * 10^{-9} * \sin 56^\circ = 691 * 10^{-9}$$

Le fournisseur donne une longueur d'onde pour la diode laser de 670 nm.

Erreur relative :

$$E_{rel} = \left(\frac{691 - 670}{670} \right) * 100 = 3\%$$

L'angle de réfraction pour le laser He-Ne est de 48° .

La longueur d'onde vaut donc :

$$\lambda = 833 * 10^{-9} * \sin 48^\circ = 619 * 10^{-9}$$

Le constructeur donne un longueur d'onde pour le laser He-Ne de 627 nm

L'erreur relative vaut alors :

$$E_{rel} = \left(\frac{627 - 619}{627} \right) * 100 = 1\%$$

Remarque : le réseau a du être incliné pour obtenir la réfraction du signal dans le plan horizontale de la table. Ce qui signifie que les fentes du réseau ne sont pas verticales.

6.5. Mesure du caractère dispersif de la fibre :

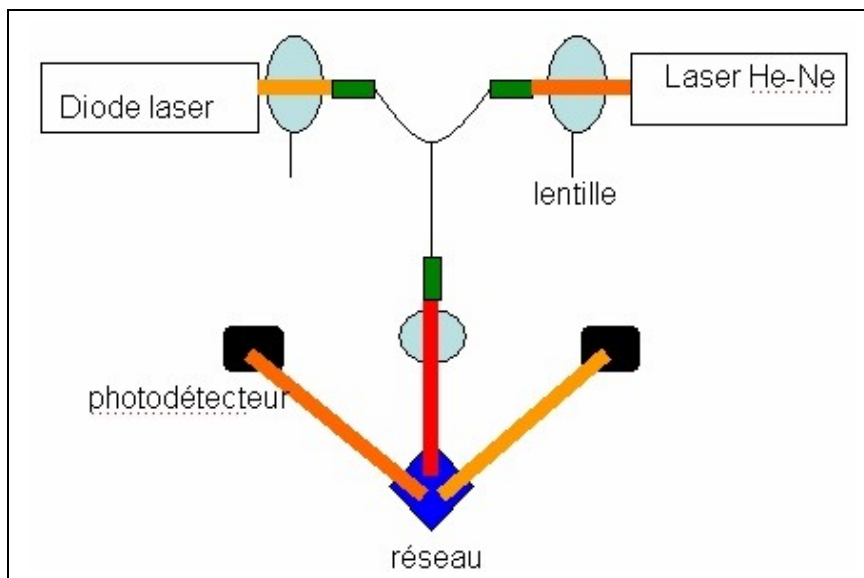


Figure 19

On module des signaux et on observe se que détecte les photodétecteurs. On remarque lors de l'envoi de signaux de basses fréquences $f \sim 350$ KHz que le signal est bien reproduit comme le montre l'acquisition.

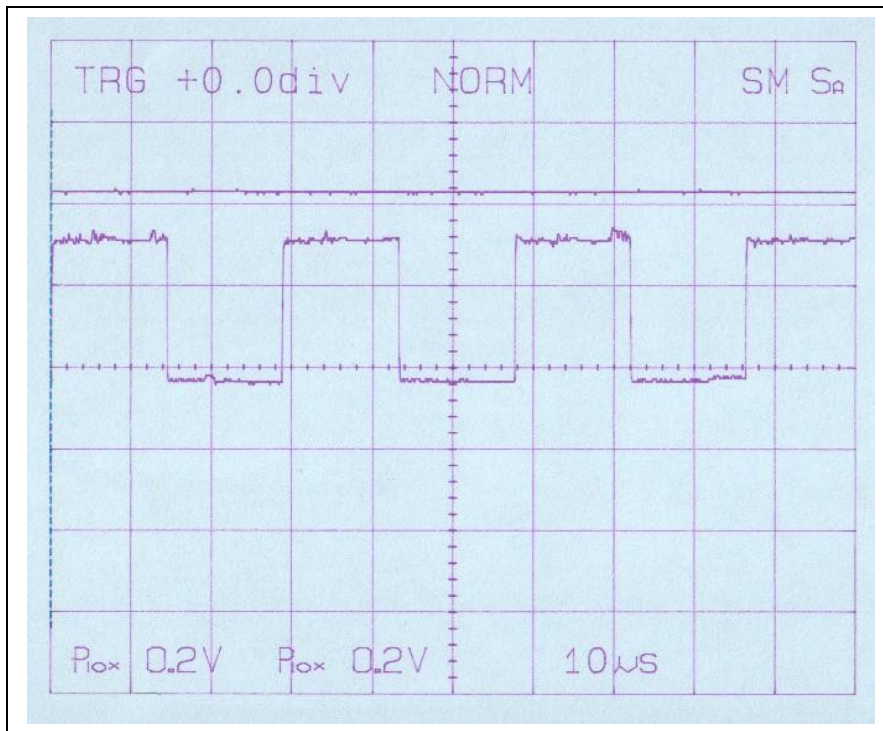


Figure 20

Lorsqu'on envoie un signal de fréquences plus élevé, de l'ordre du MHz, le signal est intégré. L'intégration peut résulter soit :

- Du fait que la fibre est dispersive
- Ou bien alors, du fait que la photodiode ne sait pas suivre les variations.

Voici le signal observé avec une fréquence de 3.8 MHz.

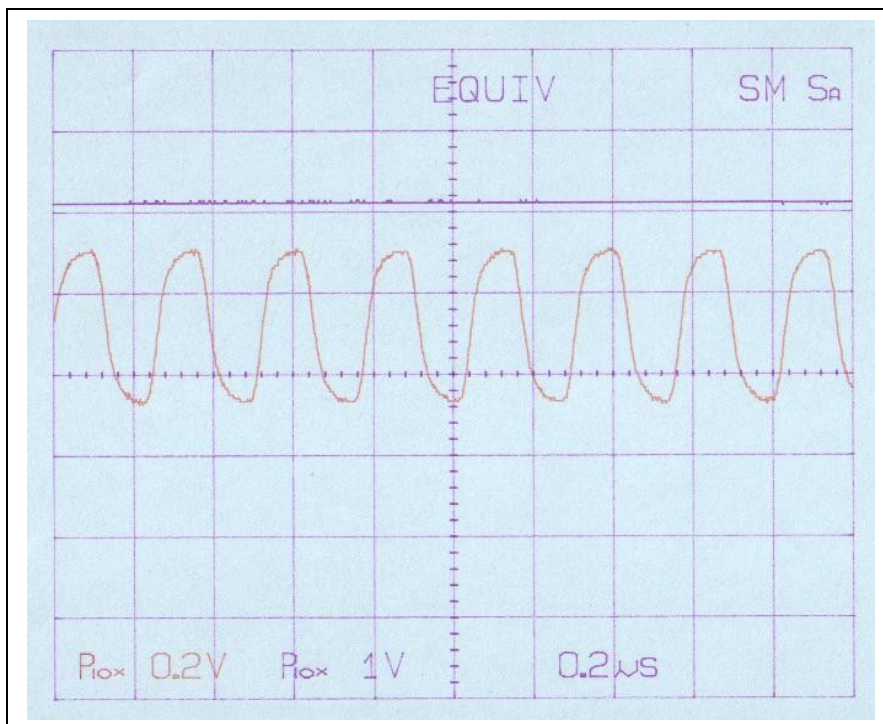


Figure 21

Pour savoir si c'est la photodiode ou bien si c'est la fibre qui disperse le signal on a placé la photodiode directement à la sortie du faisceau laser. Et on a observé que c'était la photodiode qui était incapable de suivre le signal de fréquence élevé et qui donc intégrait le signal. Il nous est donc impossible, avec notre matériel, de trouver la bande passante de la fibre optique.

7.Observation non-éclaircie

Au cours de ce TP, nous avons remarqué que si l'on regardait à l'intérieur de la fibre optique, à l'œil nu, on pouvait observer une très grande quantité de taches de diffraction circulaires. Cette observation pourrait peut-être être un moyen de réglage pour une meilleure entrée du faisceau dans la fibre mais nous n'avons malheureusement pas eu l'opportunité d'explorer cette hypothèse.

8.Conclusion

La fibre optique constitue véritablement un moyen de transport de l'information exceptionnel. En effet, les informations y voyagent à la vitesse de la lumière, les pertes liées à la fibre elle-même sont faibles, surtout s'il s'agit de monomodes, de plus les fibres optiques sont bidirectionnelles. Les fibres optiques peuvent également, comme vu au cours de ce TP, contenir plusieurs informations à la fois et ce pour une large gamme de fréquence : la bande passante des fibres optiques est énorme, il nous a d'ailleurs été impossible de la mesurer. Enfin, la fibre optique est un matériau souple et peu cher. Dès lors on comprend mieux pourquoi ce moyen est de plus en plus utilisé de nos jours.

9.Sources

9.1.Bibliographiques

- *Les télécommunications par fibres optiques*, Irène et Michel JOINDOT, DUNOD, 1996
- *Hecht Optics*, 2nd édition, E. HCHT, Addison-Wesley Publishing Company, 1990
- *Fiber Optic Communication*, 4ème édition, J. C. PALAIS, Prentice Hall, 1998
- *Optique expérimentale*, Sextant, collection enseignement des sciences, Hermann éditeur des sciences et des arts, Paris, 1997.
- *L'optique moderne et ses développements depuis l'apparition du laser*, M. Françon, Liaisons scientifiques, Hachette, Paris, 1986.
- *S.A.R.L DIDA CONCEPT*, Metz
- *Télécommunication & Réseaux*, CHAPITRE 2 Les canaux de transmissions et la couche physique, diaporama, IESN.

9.2.Internet

- <http://www.telcite.fr/fibre.htm>
- <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/blanquet/synophys/351fiapt/351fiapt.htm>
- http://ofl.phys.polymtl.ca/fibres_html/node12.html
- http://christian.caleca.free.fr/fibroptique/fibre_optique.htm
- http://www.unice.fr/dess_ntic/Intro_Telecom/print.htm
- <http://www.urec.cnrs.fr/cours/Physique/Infrastr2/tsld020.htm>
- http://perso.wanadoo.fr/michel.hubin/physique/fibre/chap_fo1.htm
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/>
- <http://www.unice.fr/DeptPhys/optique/diff/node42.html>

9.3.Fundp

- Physique générale, Optique géométrique, Guy Terwagne, 2003
- Cours de physique théorique, J.-P. Vigneron