
T.P. Physique L2S3

September 9, 2010

Table des matières

1	Oscillateurs mécaniques couplés	1
1.1	Préparation	1
1.2	Mesures	3
2	Fibre optique à gradient d'indice	7
2.1	Matériel nécessaire au TP	7
2.2	Introduction	8
2.3	Mesure de l'ouverture numérique	8
2.4	Détermination du profil d'indice	10
2.5	Evaluation des pertes	10
2.6	Mesure du rayon du cœur	11
3	Interférences	13
3.1	Introduction	13
3.2	Matériel associé au TP	13
3.3	Informations : Classes et dangers des Lasers	13
3.4	Montage et réglages	14
3.5	Diffraction par une fente simple	14
3.6	Diffraction par une fente double	15
3.7	Diffraction par N fentes	15
4	Polarization	17
4.1	Preparation	17
4.2	Measures	17
5	Measurement of a magnetic field	21
5.1	Preparation	21
5.2	Measurements	22
6	Ondes centimétriques	25
6.1	Appareillage	26
6.2	Mesures	28
7	Ultrasound	33
7.1	Preparation	33
7.2	Experimental part	34

Chapitre 1

Oscillateurs mécaniques couplés

Le but de ce TP est d'étudier les régimes d'oscillation les plus simples de deux oscillateurs couplés. Ceux-ci se composent de deux pendules de torsion identiques, couplés par un fil de torsion. Ce système est l'analogie mécanique de circuits électriques oscillants couplés capacitivement.

1.1 Préparation

1.1.1 Appareillage

Oscillateurs

Deux tiges montées sur un socle forment le bâti de l'appareil figure 1.1.

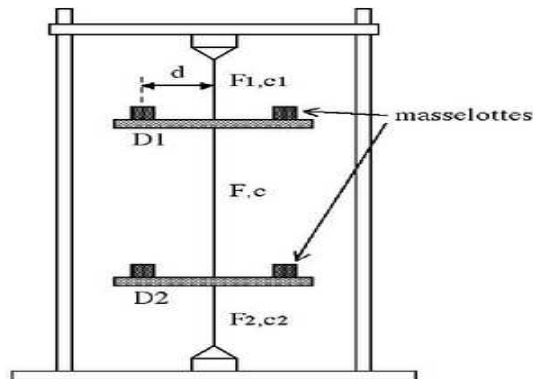


Figure 1.1: Pendules de torsion couplés.

Deux disques gradués D1 et D2 (identiques) forment l'équipage mobile du pendule. Ils sont fixés au bâti par des fils de torsion F1 et F2, de constante de torsion $c1$ et $c2$ (égales). Un troisième fil de torsion F de constante de torsion c les relie entre eux. Des trous pratiqués dans ces disques permettent d'y fixer des masselottes. Un petit levier articulé (en fer) monté sur chaque disque peut être soulevé et bloqué contre un électroaimant solidaire du bâti. Ce dispositif permet de conditionner la position angulaire initiale de chaque oscillateur. En coupant le courant dans l'électroaimant, le levier libéré retombe sur le disque dont la vitesse initiale est nulle. Un support de forme circulaire coulissant le long des colonnes du bâti permet de bloquer l'équipage mobile du pendule. On donne :

- masse d'une masselotte : $m = 179,4 \text{ g}$
- distance de l'axe de rotation du même trou de fixation des masselottes :

$$d_2 = 38 \text{ mm}, d_3 = 53 \text{ mm}, d_4 = 68 \text{ mm}, d_5 = 83 \text{ mm}, d_6 = 98 \text{ mm}, d_7 = 113 \text{ mm}$$

Systeme d'acquisition

Des capteurs de mouvement ont été fixés sous chaque plateau. Les signaux de sortie de chaque capteur sont proportionnels à la vitesse angulaire $\dot{\Theta}$ des disques. Ces tensions sont enregistrées (Cassy) puis transférées au logiciel Regressi. Branchement du capteur : sur un petit boîtier noir d'où partent les câbles vers les capteurs, on trouve :

- les bornes d'alimentation (rouge et noire) des deux capteurs en parallèles, $V_{cc} = 5 \text{ V}$. Le pôle positif est la borne rouge.
- les bornes de sortie des deux capteurs (bornes verte : signal de sortie, borne noire : masse). Elles sont à raccorder aux calibres adéquats du module Cassy.
- Vous trouverez des informations supplémentaires sur la table de TP.

L'utilisation du logiciel Regressi permet d'étudier la forme des oscillations. Il permet, en outre, une analyse de Fourier des signaux enregistrés. Cette approche est particulièrement intéressante dans le cas des battements.

1.1.2 Détermination des paramètres de chaque oscillateur

Mouvement sans masselotte

On s'intéresse tout d'abord aux propriétés de chacun des deux oscillateurs. Ceux-ci peuvent être étudiés séparément grâce au support circulaire coulissant bloquant. Il suffit de bloquer mécaniquement un des deux oscillateurs tandis que l'autre est laissé libre.

- A $t = 0$, on lâche l'oscillateur sans vitesse initiale d'un angle Θ_0 . Ecrire l'équation différentielle du mouvement pour le disque mobile (sans masselotte). On négligera les frottements. On notera I le moment d'inertie du disque et K la constante de torsion. On remarquera que K est la somme des deux constantes de torsion des fils situés de part et d'autre du disque : $K = c_1 + c_2$ (ou $K = c_2 + c_1$).
- Montrer que la solution est de la forme : $\Theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t)$
- Exprimer la pulsation propre ω_0 et la période T_0 en fonction de I et de K .

Mouvement avec masselotte

On cherche à déterminer expérimentalement le moment d'inertie I et la constante de torsion K (remarque : I ne peut pas être calculé directement car la géométrie des oscillateurs est plus compliquée que celle d'un simple disque). Pour cela on va modifier le moment d'inertie des disques mobiles de façon contrôlée en leur rajoutant des petites masselottes cylindriques (de moment d'inertie connu). Le moment d'inertie i_m d'une masselotte cylindrique, de rayon R et de masse m , est donné par rapport à son axe de symétrie par la relation : $i_m = \frac{mR^2}{2}$

- Dédurre que le moment d'inertie I_m des deux masselottes se trouvant à une distance d de l'axe de rotation (l'axe de rotation étant parallèle à leur axe de symétrie) s'exprime sous la forme : $I_m = 2m(d^2 + \frac{R^2}{2})$, on notera le moment d'inertie total de l'oscillateur $I_t = I + I_m$
- Donner pour l'oscillateur avec masselottes, l'expression de la pulsation ω_t et la période T_t en fonction de I_t et K , puis en fonction de I , I_m et K .

Détermination de I et de K

- Etablir le rapport T_t/T_0 et en déduire I en fonction de I_m , T_t et T_0 .
Montrer que le moment d'inertie I est donné par la relation : $I = \frac{I_m T_0^2}{T_t^2 - T_0^2}$
- Montrer que l'expression de K est alors égale à : $K = 4\pi^2 \frac{I_m}{T_t^2 - T_0^2}$

On considérera dans cette étude que les deux oscillateurs sont identiques. Ceci sera vérifié dans la partie expérimentale.

1.1.3 Paramètres du système couplé

On rappelle que les deux oscillateurs sont supposés identiques :

$c_1 = c_2$, $K_1 = c_1 + c = c_2 + c = K_2 = K$. On considérera des oscillateurs sans masselottes.

Equations du mouvement

- Ecrire l'équation différentielle du mouvement pour chacun des deux disques en introduisant les angles de rotation Θ_1 et Θ_2 de D1 et D2 par rapport à leur position d'équilibre, la pulsation propre ω_0 de chacun des deux oscillateurs (lorsqu'ils oscillent seuls, l'autre étant maintenu immobile dans sa position d'équilibre), et le coefficient de couplage $k = c/K$. Vérifier que les équations du mouvement sont données par : $\ddot{\Theta}_1 = -\omega_0^2 \Theta_1 + k\omega_0^2 \Theta_2$ et $\ddot{\Theta}_2 = -\omega_0^2 \Theta_2 + k\omega_0^2 \Theta_1$. Le coefficient de couplage k est relié aux propriétés du fil F (de constance de torsion c) qui relie les deux oscillateurs. En l'absence de couplage (sans fil F), k est égal à 0. Au contraire, si F est extrêmement rigide (fort diamètre, faible longueur), les deux disques sont fortement couplés, k devient proche de 1 : leurs mouvements sont quasiment identiques. Nous nous intéresserons dans ce TP à un cas intermédiaire.
- Résoudre les équations différentielles précédentes, en travaillant sur la somme et la différence de celles-ci. Déterminer la forme générale de $\Theta_1(t) + \Theta_2(t)$, puis la forme générale de $\Theta_1(t) - \Theta_2(t)$. Montrer qu'elles mettent en jeu deux pulsations particulières ω' et ω'' données par les relations : $\omega' = \omega_0 \sqrt{1 - k}$ et $\omega'' = \omega_0 \sqrt{1 + k}$
- En combinant les résultats précédents, déduire la forme générale de $\Theta_1(t)$ et de $\Theta_2(t)$.
- A partir des expressions de $\Theta_1(t)$ et de $\Theta_2(t)$, trouver les solutions purement sinusoidales (mode propres), et montrer qu'elles correspondent l'une à un régime d'oscillations symétriques de pulsation ω' , et l'autre à un régime d'oscillations antisymétriques de pulsation ω'' . On notera T' et T'' les périodes associées.
- Montrer que $\omega'^2 + \omega''^2 = 2\frac{K}{I}$ et $\omega'^2 - \omega''^2 = 2\frac{c}{I}$
- Montrer que la constante de couplage k est égale à $\frac{\omega''^2 - \omega'^2}{\omega''^2 + \omega'^2}$

Ces relations seront à utiliser dans la partie mesure.

1.2 Mesures

Les capteurs installés sous chacun des disques donnent un signal directement proportionnel à la vitesse angulaire $\dot{\Theta}$. Nous considérons dans ce TP que le signal mesuré correspond en fait au déplacement angulaire Θ .

1.2.1 Détermination des paramètres I_1 , I_2 , K_1 et K_2 de chaque oscillateur sans masselotte.

On souhaite déterminer les moments d'inertie I_1 et I_2 ainsi que les constantes de torsion K_1 et K_2 de chaque oscillateur (sans masselotte) en utilisant la méthode décrite dans la préparation. Les masselottes devront être positionnées à une distance $d = 53$ mm de l'axe de rotation (3^{ème} trou). On rappelle que la masse des masselottes est $m = 179,4$ g.

Mesurer au pied à coulisse, le rayon R des masselottes.

Calculer le moment d'inertie théorique I_m des deux masselottes.

Maintenir le disque D_2 (non utilisé) dans sa position d'équilibre en faisant coulisser le support circulaire vers le haut jusqu'au blocage mécanique. Mesurer les périodes d'oscillation (à l'aide d'un chronomètre) du disque D_1 avec et sans masselotte (T_t et T_0). Indiquer clairement la méthode de mesure.

En déduire le moment d'inertie I_1 et la constante de torsion K_1 . Recommencer en invertissant les deux disques, et déterminer I_2 et K_2 .

Présenter les résultats sous forme de tableau.

Comparer les résultats obtenus.

Par la suite, on considérera les deux oscillateurs comme identiques (dans le cas d'une nette asymétrie, le signaler), avec un moment d'inertie $I = \frac{1}{2} (I_1 + I_2)$ et une constante de torsion également prise comme moyenne de K_1 et K_2 .

Donner les valeurs de I et K .

Remarque : ces mesures pourront également être réalisées à l'aide de l'ordinateur en enregistrant les signaux et en extrayant les périodes. Au choix des étudiants.

1.2.2 Paramètres du système couplé

La suite des mesures est à effectuer sans masselotte.

Enregistrer les signaux de sortie pour chacun des deux disques dans chacune des situations suivantes :

1. oscillations symétriques (T', ω') : en donnant aux deux disques des amplitudes initiales égales (environ 40°) à l'aide de l'électroaimant.
2. oscillations antisymétriques (T'', ω'') : en donnant aux deux disques des amplitudes initiales opposées (environ 30°).

Imprimer les courbes. Déterminer la période des oscillations à l'aide de la fonction réticule (détailler la procédure, et faites apparaître les points utilisés sur votre courbe).

Faire une analyse de Fourier du signal temporel (d'un des deux disques).

Commentaires.

Imprimer l'analyse de Fourier.

Déduire ω' et ω'' des mesures des périodes ou de l'analyse de Fourier. Déterminer la constante de couplage k à partir des valeurs de ω' et ω'' . Déduire la constante de torsion c du fil F à partir des valeurs de ω' et ω'' .

Déduire enfin la constante de torsion K de chacun des deux oscillateurs à partir des valeurs de ω' et ω'' . Comparer avec la valeur de K obtenue dans la partie précédente.

1.2.3 Oscillations modulées, battements

Réaliser, grâce aux électroaimants, l'expérience suivante avec pour conditions initiales (sans masselottes) :

1. le disque D2 est au repos dans sa position d'équilibre, le disque D1 est écarté d'un angle Θ_0 (environ 40°).
2. le système est ensuite abandonné sans vitesse initiale.

Décrire qualitativement les mouvements respectifs des deux oscillateurs.

Enregistrer les signaux de sortie pour chacun des deux disques.

Imprimer la courbe pour un des deux disques. Tracer sur celle-ci la ligne de base ainsi que l'enveloppe des oscillations (de façon à mettre en évidence les battements).

Déterminer les périodes T_i et T_m à l'aide de la fonction réticule. Faire apparaître les points utilisés sur la courbe imprimée. En déduire les valeurs de ω_i et ω_m .

Réaliser une analyse de Fourier du signal d'un des deux disques. Imprimer les courbes. Quelles fréquences caractéristiques apparaissent ? Comparer à l'analyse des modes propres. Commentaires. Déduire de l'analyse de Fourier, les valeurs de ω_i et ω_m . Comparer à la mesure directe.

Chapitre 2

Fibre optique à gradient d'indice



Figure 2.1: Photo du montage.

2.1 Matériel nécessaire au TP

INFORMATIONS * : CLASSES ET DANGERS DES LASERS (A LIRE) Depuis son invention en 1960, le laser n'a cessé de se développer et de rencontrer de nouvelles applications (laboratoire, industrie, militaire,...). En conséquence, le nombre d'accidents dus au rayonnement laser a aussi augmenté. Dans la plupart des accidents laser, c'est l'œil qui est atteint...

Classe 1 : lasers non dangereux pour l'œil quelles que soient les conditions d'observation.

Classe 2 (lumière Laser visible de moins d'1 mW) : lasers émettant dans le visible et pour lesquels le réflexe palpébral (réflexe de clignement de l'œil égal à 250 ms) intervient pour protéger l'œil d'une exposition accidentelle au laser. Cette classe 2 prolonge la classe 1 et les lasers visibles de cette classe sont non dangereux pour l'œil, si celui-ci n'est pas maintenu dans le faisceau plus de 250 ms.

Classe 3A (lumière Laser visible entre 1 mW et 5mW) : cette classe regroupe les lasers non dangereux pour l'œil nu, mais potentiellement dangereux si on les observe à travers une optique grossissante.

Classe 3B (lumière Laser visible entre 5 mW et 500 mW) : lasers dangereux pour l'œil nu (et encore plus si le laser passe par une optique grossissante), mais les réflexions diffuses (rayonnement diffusé par un obstacle situé sur le

N° élt	Désignation	Réf.
1	Banc optique prismatique (L=150cm) avec jeu de pieds	BO/P-150
2	Cavalier standard pour banc optique prismatique	CAV/P-S
3	Cavalier avec platine de translation X et Y de 25 mm	CAV/P-X25Y25
4	Cavalier avec platine de translation de précision X et Y 25 mm	CAV/P-XP25Y25
5	Cavalier avec réglage vertical	CAV/P-V
6	Laser compact vert (532 nm) sur tige : 5 mW non polarisé	LAS/532-5-NP
7	Adaptateur Laser pour objectif de microscope	AD/L-OBJ
8	Objectif achromatique de précision 20X/0,4	OM/20X-0.4
9	Porte objectif sur tige	SUP/OBJ
10	Fibre optique multimode 100/140 à gradient d'indice : 2m	FO/M-GI
11	Connecteur FC/PC pour fibre optique sur disque diam. 40 mm	FO/FCPC-40
12	Porte composant diamètre 40mm pour disque support fibre optique	SUP/D-40
13	Lanterne très haute luminosité 12V 75W avec alimentation secteur	LANT/HL-75
14	Micromètre objet : 1mm divisé en 100 graduations	L/MO
15	Porte lame mince largeur 50 mm sur tige	PL/U-50
16	Polariseur et monture rotative	POL/F-35
17	Ecran blanc 200x200, une face quadrillée, une face neutre	EC/B-200
18	Mesureur de puissance portable	DET/P

Table 2.1: Elements disponibles sur le banc optique.

trajet du faisceau) du laser sont sans danger. La lésion cutanée est prévenue par une sensation de picotement ou d'échauffement.

Classe 4 : lasers les plus intenses qui sont très dangereux pour l'œil nu y compris en réflexion diffuse, ainsi que les lasers pouvant induire des dommages sur la peau.



Les utilisateurs doivent avoir conscience que le laser utilisé est de classe 3, il est **dangereux pour l'œil nu**. Pour ce TP, prenez donc toutes les précautions lors de l'utilisation du laser !

2.2 Introduction

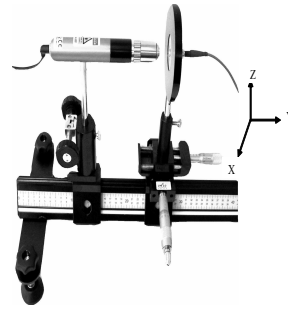
Nous sommes aujourd'hui dans une période où le développement des réseaux Internet est en pleine croissance (+10% de demandes supplémentaires par mois) et le moyen le plus rapide pour transmettre une information est bien sûr la lumière. La transmission sans perturbation d'une information d'un point A à un point B s'effectue à l'aide d'un guide de lumière (fibre optique). La fibre optique est au photon ce que le câble coaxial est à l'électron ! Le but du TP proposé est d'étudier différentes caractéristiques d'une fibre optique sans avoir besoin d'instruments performants et onéreux (type analyseur de spectre ou réflectomètre).

Dans tout le document, les directions suivantes seront considérées :

2.3 Mesure de l'ouverture numérique

- Placez le laser dans un cavalier à déplacement vertical à une extrémité du banc. Orientez le faisceau et centrez le par rapport à une cible placée sur l'axe optique (ex : écran).

- X : face à l'utilisateur (perpendiculaire au banc optique)
- Y : parallèle au banc optique
- Z : verticale



- Sur le Laser, vissez la bague porte objectif puis l'objectif 40X.
- Rapprochez le cavalier XY de précision à environ 1 cm de l'objectif de microscope. Agissez alors sur les déplacements Z (Laser) et X (translation) pour centrer le faisceau sur l'entrée de la fibre optique.
- Connectez l'autre extrémité de la fibre à son support et positionnez la à quelques cm de l'écran.

Le montage final est le suivant :

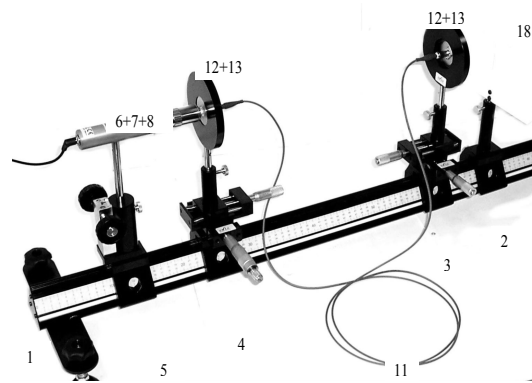
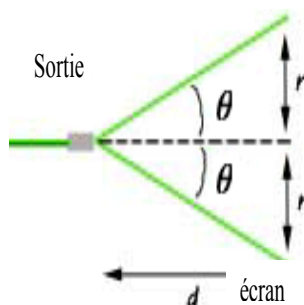


Figure 2.2: Photo du montage.

- Si l'injection dans la fibre est correctement réalisée, vous devrez observer un tache lumineuse en sortie de fibre.
- Pour améliorer la qualité de l'injection, translatez la platine supportant la fibre dans la direction Y afin de faire coïncider la focale de l'objectif avec l'entrée de la fibre. Attention de ne pas toucher la pupille de sortie de l'objectif avec l'extrémité de la fibre. Lorsque l'éclairement en sortie de fibre est maximal, l'injection pourra être considérée comme optimale.

Questions

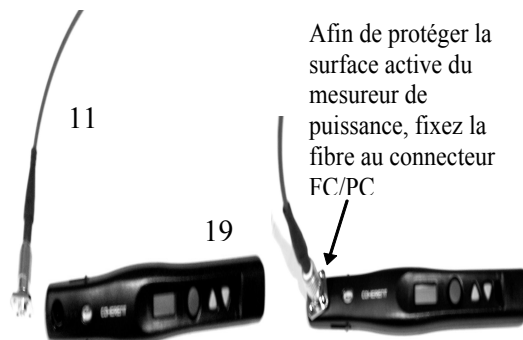


1. Calculer la valeur de l'ouverture numérique de la fibre à partir des mesures de r et d (prenez différentes valeurs de d).
2. Calculez alors la variation d'indice Δn entre le cœur et la gaine ($\Delta n = n_1 - n_2$) sachant que $n_1 = 1,488$. En déduire la valeur de l'indice de la gaine.

2.4 Détermination du profil d'indice

La technique consiste à déplacer le point de focalisation d'un faisceau lumineux à travers un objectif de microscope sur la face d'entrée d'une fibre optique. La mesure de la puissance en sortie de la fibre en fonction de la position du point de focalisation à l'entrée permet de déterminer le profil d'indice.

- Le montage précédent est inchangé.
- Dévissez la fibre de sortie et assemblez la au connecteur FC/PC qui sera positionné devant la surface active du détecteur dont vous aurez lu la notice technique.
- - Utilisez la butée micrométrique de précision pour translater dans la direction X la face d'entrée de la fibre jusqu'à ce que la puissance mesurée en sortie soit de quelques microwatts.



- Utilisez la butée micrométrique de précision pour translater dans la direction X la face d'entrée de la fibre jusqu'à ce que la puissance mesurée en sortie soit de quelques microwatts.

QUESTION II :

- A partir du point précédent (point de départ $\simeq 1\mu W$), balayez le diamètre de la fibre en relevant tous les $10\mu m$ (1 graduation = $10\mu m$) la puissance $P(M)$ en mW. Lorsque les variations de puissances seront importantes ($> 100\mu W$), utilisez un pas de $5\mu m$ pour une mesure plus précise. Relevez de manière précise la valeur $P(M)$ maximale ainsi que la position correspondante.
- A partir de cette valeur maximale et du Δn obtenu précédemment, déterminez le facteur α (voir annexes sur la table de T_p). Quelle est son unité ?
- Tracez alors le profil d'indice du cœur de la fibre. De quel profil s'agit-il ?

2.5 Evaluation des pertes

- Le montage est toujours identique à celui de départ.
- La mesure des pertes s'obtient par la mesure de la puissance maximale transmise (P_t) et de puissance injectée en entrée de fibre (P_e).

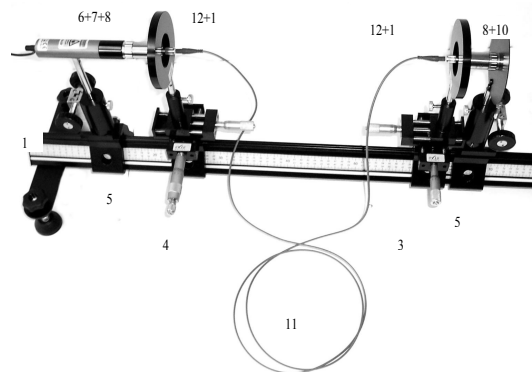
QUESTION III :

- Mesurez la puissance P_s en sortie de fibre ainsi que P_e directement mesurée en sortie d'objectif de microscope. En déduire les pertes en dB.
- Recommencez l'opération avec l'objectif 10X.
- Quel est la principale origine des pertes enregistrées en sortie de fibre ?

2.6 Mesure du rayon du cœur

- La partie injection reste inchangée.
- L'autre extrémité de la fibre optique est placée sur son support de translation XY.
- Positionnez la face de sortie de la fibre devant le deuxième objectif (X40) monté sur une translation verticale.
- Ajustez la hauteur (Z) ainsi que la position (X) de la fibre par rapport à l'objectif.

Le montage obtenu devient alors :



- En déplaçant la face de sortie de la fibre suivant Y, formez sur l'écran placé à une distance D (variant entre 50 cm et 150 cm) l'image du cœur de la fibre. Attention à ne pas toucher la face de sortie de la fibre avec l'objectif.
- Le réglage est correct lorsque la tache sur l'écran est de diamètre minimal, on a alors l'image du cœur de la fibre.

QUESTION IV :

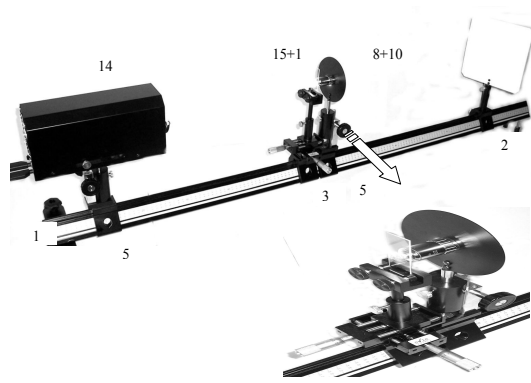
- Mesurer le diamètre $2a'$ de l'image du cœur à la distance D de l'objectif.

Pour remonter au diamètre réel $2a$ du cœur de la fibre il est indispensable de déterminer le grandissement γ de l'objectif utilisé : $\gamma = \frac{2a'}{2a}$

Pour déterminer ce grandissement :

- Retirez tous les éléments du banc sauf l'écran, l'objectif et son cavalier à translation verticale et le cavalier à translation XY. Il est primordial de ne pas toucher au positionnement de l'objectif et de l'écran.
- A la place du Laser, disposez la lumière blanche.
- A la place de l'extrémité de sortie de fibre (avant l'objectif), placez le micromètre objet et son support sur le cavalier à translation XY.
- Déplacez le chariot de positionnement de l'ampoule de la lampe blanche afin de focaliser la lumière sur l'entrée de l'objectif.
- Réalisez la mise au point à l'aide de la translation Y afin d'avoir une image nette du micromètre sur l'écran placé à la distance D. Vous devrez observer sur l'écran, l'image nette du micromètre objet qui est en fait un trait d'1 mm divisé en graduations.

Le montage se présente sous cette forme :



QUESTION V

- Mesurer la taille des graduations sur l'écran et en déduire le grandissement γ de l'objectif.
- Déterminez alors le diamètre $2a$ du cœur de la fibre.
- Recommencez la même mesure pour une distance objectif-écran différente et répondez à nouveau aux questions 1,2 et 3.
- A partir du rayon du cœur de la fibre, calculez la fréquence spatiale normalisée de celle-ci à la longueur d'onde $\lambda = 532$ nm, ainsi que le nombre approximatif N_m de modes se propageant dans cette fibre à cette longueur d'onde.
- Calculer la longueur d'onde de coupure pour laquelle cette fibre passerait en régime monomode.

Chapitre 3

Interférences

3.1 Introduction

Ce TP fondamental concernant la propagation des ondes est rendu convivial par l'utilisation d'un outil de mesure composé d'un écran à diffusion arrière, d'un dispositif mécanique, d'une Webcam et d'un logiciel spécialisé. La figure observée sur l'écran est transmise à un ordinateur via lequel la mesure des distances et le profil d'intensité sont exploitables en toute sécurité et en temps réel. La rapidité et la facilité des mesures autorisent l'étude de nombreux objets diffractant.

Dans tout le document, les directions suivantes seront considérées :

- X : face à l'utilisateur (perpendiculaire au banc optique).
- Y : parallèle au banc optique (direction de propagation).
- Z : verticale.

3.2 Matériel associé au TP

Voici la liste de matériel disponible sur la table de manip.

1	Banc optique prismatique (L = 150 cm) avec jeu de pieds	1
2	Cavalier standard pour banc optique	2
3	Cavalier pour banc prismatique, platine 50 mm X,Z	1
4	Laser vert 532 nm Classe II 1mW sur tige / avec alimentation	1
5	Trous simples, young et carrés sur jeton microlithographié D40	1
6	Fentes de diffraction métal sur verre, diamètre 40 mm	1
7	Fentes d'Young métal sur verre, diamètre 40 mm	1
8	Fentes multiples métal sur verre, diamètre 40 mm	1
9	Poche composant diamètre 40 mm (accepte 42 mm)	4
10	Kit oVisio comprenant :	1
	* camera numérique de type Webcam USB	
	* dispositif de réglage de distance de travail	
	* écran blanc de travail et écran d'étalonnage	
	* logiciel oVisio (en français)	

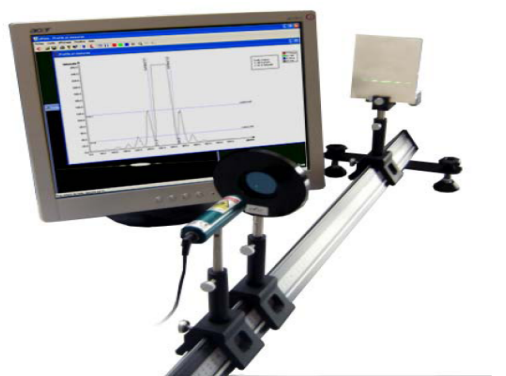
3.3 Informations : Classes et dangers des Lasers

Depuis son invention en 1960, le laser n'a cessé de se développer et de rencontrer de nouvelles applications (laboratoire, industrie, militaire,...). En conséquence, le nombre d'accidents dus au rayonnement laser a aussi augmenté. Dans la plupart des accidents laser, c'est l'oeil qui est atteint. Il existe 7 classes de laser : 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B et 4. (cf documentation CEA). Le Laser Vert ($\lambda=532$ nm, $P_1=1$ mW) utilisé dans ce TP est de classe 2. La protection de l'oeil assurée par le réflexe palpébral. Les utilisateurs de lasers doivent avoir conscience que

même si le laser utilisé est de classe 2, il peut être dangereux pour certains s'il est mal employé. Pour ce TP, prenez donc toutes les précautions lors de l'utilisation du laser !

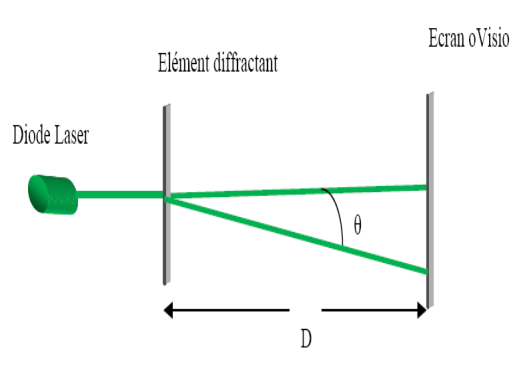
3.4 Montage et réglages

Le banc expérimental se compose d'un Laser vert (532 nm) fixé sur cavalier standard à l'extrémité du banc. L'écran numérique oVisio est disposé à quelques dizaines de centimètres du Laser. Orientez le faisceau Laser de manière à éclairer le centre de l'écran. Enfin, insérez le cavalier à translation à quelques centimètres de la source Laser. Les différents jetons de diffraction qui seront étudiés seront placés sur cette platine.



Reportez-vous maintenant à la documentation relative au dispositif oVisio et familiarisez-vous avec son utilisation.

Le montage utilisé tout au long de ce TP peut être schématisé par la figure ci-dessous : Le composant étudié devra à chaque fois être positionné de manière



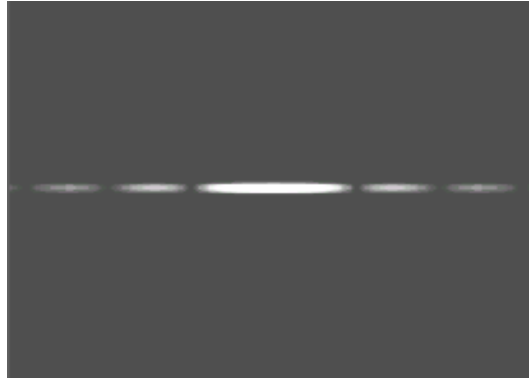
à être sous incidence normale.

3.5 Diffraction par une fente simple

Placez le jeton de diffraction présentant 4 fentes verticales de largeur variable derrière le laser vert de classe II ($\lambda = 532 \text{ nm}$). La fente est orientée de telle façon que la figure de diffraction soit étalée horizontalement.

QUESTION 1

- Enregistrez les images de diffraction des différentes fentes.
- Comment évolue le phénomène en fonction de la largeur de la fente ?



- A partir du tracé de profil et en utilisant les curseurs de position, mesurez les minimums de la figure de diffraction et déterminez expérimentalement la largeur (a) des fentes simples. N'oubliez pas d'étalonner au préalable les longueurs grâce à l'écran calibré (3cm * 3cm).
- Les figures observées sont-elles en accord avec celles attendues par la théorie ?
- Quelles pourraient être les sources d'erreurs à l'origine de l'incertitude sur la détermination de a ?

Vous disposez de lentilles annexes de distances focales 5 ; 10 et 20 cm. En utilisant correctement deux lentilles, vous pouvez agrandir la tache de diffraction centrale afin d'obtenir une meilleure précision sur la largeur réelle de la fente. Si on appelle f_1 la distance focale de la première lentille (celle placée après l'objet diffractant) et si on introduit le grandissement G apporté par la deuxième lentille ($G = \text{taille image sur l'écran} / \text{taille figure de diffraction dans le plan focal de la première lentille}$), la largeur de la fente devient : $a = 2 * f_1 \frac{\lambda}{x} * G$; x étant la largeur du lobe central sur l'écran. Le grandissement est également le rapport entre les deux distances d_1 et d_2 . d_1 : distance entre la deuxième lentille et l'écran. d_2 : distance entre la position de la figure de diffraction (se trouvant à la distance focale de la première lentille) et la position de la deuxième lentille

QUESTION 2

- Comparer les intensités relatives des 3 premières taches secondaires d'un côté de la tache centrale.

3.6 Diffraction par une fente double

Tournez maintenant le support des objets diffractants de façon à positionner celui comportant 3 groupes de 2 fentes derrière le laser. Les fentes possèdent la même largeur mais l'écartement des 2 fentes est variable.

QUESTION 3

- Enregistrez les images de diffraction.
- Comment évolue le phénomène en fonction de l'écartement des fentes ?
- A partir du tracé de profil déterminez expérimentalement l'interfrange i et en déduire l'écartement (b) entre les fentes.

3.7 Diffraction par N fentes

Positionner le nouveau jeton de diffraction correspondant à des fentes multiples. Ces fentes sont de largeur et d'écartement constant, seul leur nombre varie.

QUESTION 4

- Enregistrez les images de diffraction pour les différents groupes de fentes.
- Comment évolue le phénomène de diffraction (Intensité, nombre de pics) en fonction du nombre N de fentes éclairées?
- Sachant qu'entre deux maxima principaux on compte $N-2$ maxima secondaires, évaluez le nombre N de fentes dans chaque cas étudié.
- Si le nombre de fentes augmentait pour atteindre 100-600 traits/mm, qu'obtiendriez vous?

Chapitre 4

Polarization

4.1 Preparation

4.1.1 Polarization of a wave

An electromagnetic monochromatic and planar wave is characterized by 3 components: the electric field $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$, the magnetic field $\vec{B} = \vec{B}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$ and the propagation vector \vec{k} . The vectors \vec{E} , \vec{B} and \vec{k} form a right handed cartesian system. Light, whose electric field oscillates in a particular way is said to be polarized.

- With $\vec{E} = A_1 \cos(\omega t) \vec{x} + A_2 \cos(\omega t - \phi) \vec{y}$, show that at any time t, the extremity of \vec{E} describes in general an ellipse.
- From the calculation of $\frac{dE_x}{dt}$ and $\frac{dE_y}{dt}$, show that the ellipse can be traced in a clockwise or counterclockwise sense, as seen from the receiver.

If the major and minor axes of the ellipse are equal, the polarization is said to be circular. If the minor axis of the ellipse is zero, the polarization is said to be linear. Rotation of the electric vector in a clockwise sense is designated right-hand polarization (or negative helicity), and rotation in a counterclockwise sense is designated left-hand polarization (or positive helicity).

A polarizer is an optical device that allows only the component of the electric field parallel to its axis to go through. The intensity of an electric field \vec{E} is defined by the product of \vec{E} and \vec{E}^* .

- Assuming a wave with a linear polarization, compute the variation of the intensity I as a function of the angle α between the axis of the polarizer and the direction of the incident polarization.
- What happens if the incident wave is polarized circularly ?

4.1.2 Dispersion law, circular and linear birefringence

Considering an electromagnetic wave with a pulsation ω and a wave vector \vec{k} , the modulus of the vector wave k is linked to the pulsation by the dispersion law : $k = \frac{n\omega}{c}$ where n is the index of the medium and c is the velocity of the light in vacuum.

If the medium is anisotropic, the index depends on the propagation direction. Such a medium is characterized by three optical axis associated with three principal indexes n_1 , n_2 and n_3 . If $n_1 \neq n_2 \neq n_3$, the medium is biaxial. If $n_1 = n_2 \neq n_3$, the medium is uniaxial or birefringent.

4.2 Measures

A scheme of the optical setup is depicted of figure 4.1

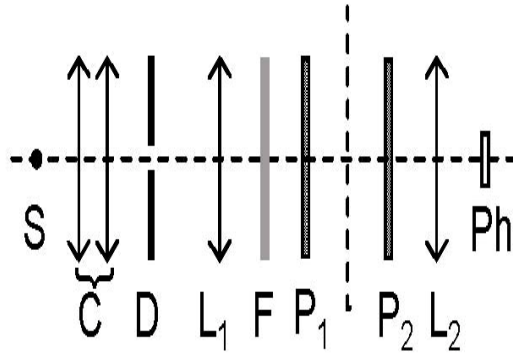


Figure 4.1: Setup for the study of the polarization.

A light source S, followed by a condenser C, lights up a diaphragm D. L1 and L2 are two convergent lenses. F is a monochromatic interferential filter (band pass filter), P1 and P2 are two polarizers. Ph is a detector. Place on the optical bench, the source, the condenser, the diaphragm and the lens L1. In order to obtain a parallel beam, the diaphragm must be into the focal plan of the lens L1. Describe and use the auto-collimation method. Measure the residual current given by the detector without any illumination. Open gradually the diaphragm and try to see whether there is a threshold aperture after which there is saturation of the detector. Write down the maximum current given by the detector.

4.2.1 Polarization of the source

- Insert an interferential filter and a polarizer on the bench.
- Collect the intensity of the signal and plot it as a function of the orientation of the polarizer.
- What can you say about the polarization state of the incident light ?

4.2.2 Fixed polarizer and rotating analyzer

Polarizer and analyzer are two identical devices. The first to meet the incident light is called polarizer and the second analyzer.

- Introduce the analyzer and collect the intensity of the signal as a function of the orientation of the analyzer.
- Put the values you have measured in a table and plot the corresponding graph.
- Compare this graph with the curve predicted by the formula established in section preparation.
- Give the angular positions where the sensitivity is maximal (a small variation of the angle produces a large variation of the intensity).
- What about the sensitivity around a maximum and minimum in intensity ?

4.2.3 Circular birefringence and optical rotation

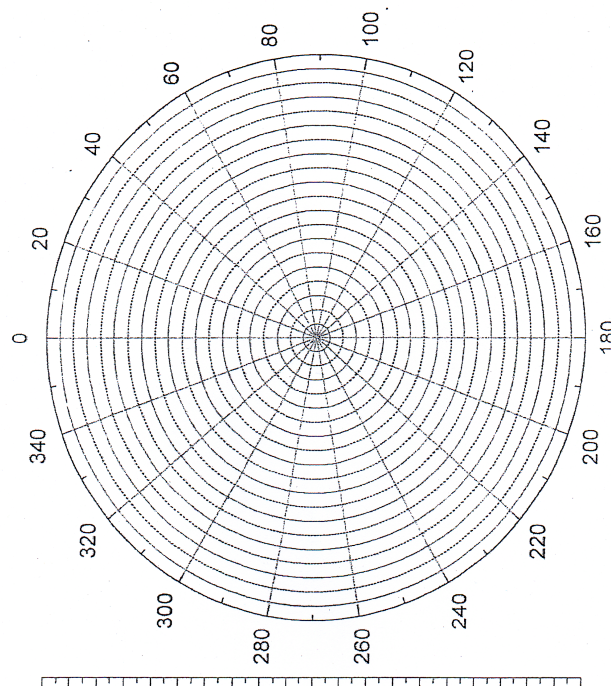
The quartz plate on the table is an example of a uniaxial birefringent material with its optical axis perpendicular to the plane of the plate.

- Introduce the quartz plate between the polarizer and the analyzer.

- Keep the polarizer immobile and turn the analyzer.
- What can you conclude about the polarization of the ray going through the plate? Is it linear or elliptical?
- Measure the optical rotation of the plate for several wavelengths using the interferential filters.
- Using the white light source directly, mask the detector with a piece of paper and describe the phenomenon you are looking at.

4.2.4 Linear birefringence : $\lambda/4$ plate or called quarter-wave plate

- Take out the quartz plate and with a red filter in place, cross the analyzer and the polarizer such as the signal on the detector is minimum.
- Introduce the quarter wave plate between the analyzer and the polarizer.
- Is the current still zero ?
- Turn the plate and note for which angular positions the intensity is maximal and minimal.
- For a position where the current measured is maximal, turn the analyzer and deduce the polarization state of the wave after its passage through the plate. Is it linear, circular or elliptical ?



Chapitre 5

Measurement of a magnetic field

The purpose of the experiments is to measure a magnetic field by three different methods : a fluxmeter, a Cotton balance and a Hall probe.

5.1 Preparation

We want to measure the magnetic field produced by an electromagnet. The two coils are connected in series.

5.1.1 Fluxmeter

A fluxmeter is a galvanometer with no restoring torque and strong damping connected to a pickup coil. A $\Delta\Phi$ flux change will induce an electromagnetic force (emf) and a change of the galvanometer reading. The flux change $\Delta\Phi$ is related to the reading $\Theta_0 - \Theta_1$: $\Delta\Phi = K(\Theta_1 - \Theta_0)$ where K is a constant given in Wb/division, characteristic of the apparatus.

- Knowing the surface S of the pickup coil, give the relation between the field and the reading of the fluxmeter.

5.1.2 Cotton balance

The balance is composed of a small coil and a hanging-pan fixed on a mobile beam (EOF). A moving nut allows to zero the balance. When the lower part of the coil is submitted to a magnetic field, the balance is in equilibrium if the torque due to the Laplace force exerted on the portion CD of the circuit (length l, current i) is compensated by the torque due to the weights in the pan.

- Give the relation which enable to deduce the magnetic field. We give $MO = OF = 151mm$ and $CD = l = (20,0 \pm 0,1)mm$

5.1.3 Hall probe

A Hall probe is made of a conducting ribbon of width l, thickness d and length L Fig. (5.2). Electrodes are connected to pass a current I along the length of the ribbon. If a magnetic field \vec{B} is applied perpendicularly to the ribbon, the charges will be deflected due to the Lorentz force, and a potential difference called Hall voltage will appear between the upper and lower edges of the ribbon. In a steady state, this force is balanced by the electric force due to the build up of charges on the upper and lower edges of the ribbon.

- If $\vec{j} = nq\vec{v}$ is the current density flowing through the ribbon, with n the mobile charge carriers per unit volume, q the charge of one carrier, \vec{v} the

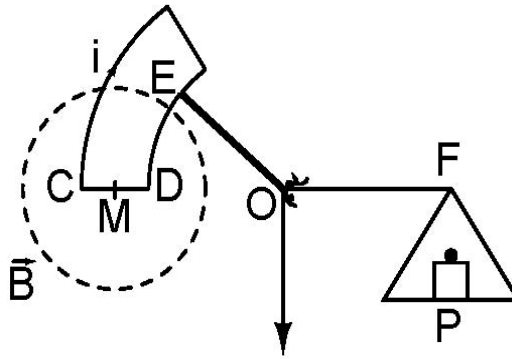


Figure 5.1: Balance de Cotton

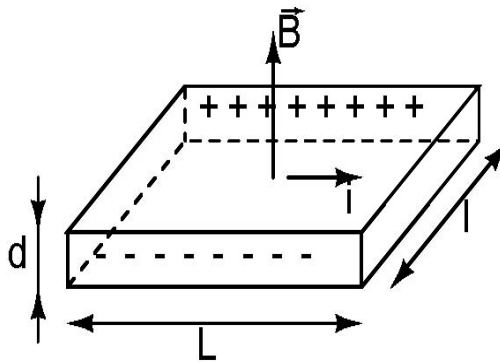


Figure 5.2: Hall probe

speed of the carriers, give the relation between the magnetic field and the Hall voltage V .

- Show that such a relation can be written as : $V = C i B$ with C a constant depending on n and on the ribbon geometry.
- What about the Hall voltage if we change the sign of the applied magnetic field ?
- " Actually, the measured voltage is the sum of the Hall voltage and a parasite voltage present even if no magnetic field is applied. Explain the origin of this parasite voltage and how to determine its strength for a given current i flowing through the ribbon.

5.2 Measurements

- Explain why the power supply connected to the magnet has to be operated in stabilized current mode rather than in stabilized voltage mode.

5.2.1 Fluxmeter

- Measure the magnetic field B in the center of the gap produced by excitation current up to 2 A.
- Plot the curve $B=f(I)$.
- Show the error bars.
- Is the field equal to zero with no excitation current ?

5.2.2 Cotton balance

- Put 0.5 g in the pan of the balance. Drive 2 A in the electromagnet. Use a standard resistance to measure the current needed to equilibrate the balance.
- Compare the deduced field to the value given by the fluxmeter.

5.2.3 Hall probe

- Measure the voltage delivered by the Hall probe in the center of the gap for an excitation current of 2 A.
- Estimate the voltage delivered with no field applied to the probe.
- Give the relation between the field and the voltage delivered by the Hall probe.
- Use the probe to measure the field as a function of the position within the gap.
- Plot the results.
- Give the length over which the field is constant within 5%.

Chapitre 6

Ondes centimétriques



Figure 6.1: Matériel

Dans ce TP, nous nous intéressons à des ondes électromagnétiques de longueur d'onde centimétrique. Cette caractéristique fondamentale permet de réaliser des expériences de diffraction et d'interférences de façon assez simple en utilisant des objets de taille macroscopique. Ces ondes électromagnétiques ont des fréquences assez élevées (1 GHz à 100 GHz) et sont extrêmement utilisées dans les dispositifs de télécommunication. Elles possèdent bien entendu des propriétés similaires à leurs homologues du visible. Dans cette séance, nous nous intéresserons plus particulièrement à leur état de polarisation, ainsi qu'à la mesure de leur longueur d'onde. Nous verrons également des exemples d'ondes stationnaires et regarderons plus en détail les phénomènes d'interférences.

6.1 Appareillage

6.1.1 Description du matériel

Le matériel est composé de :

1. une diode émettrice appelée émetteur
2. deux diodes réceptrices appelées récepteurs. La première est montée sur un cornet, la seconde possède deux petites antennes verticales.
3. une alimentation
4. des accessoires

Emetteur

Le montage pour l'étude des ondes centimétriques utilise comme générateur une diode Gunn. On donne à ce composant le nom de diode car c'est un dipôle dont la caractéristique $I(V)$ Fig.6.2, ressemble, pour les faibles valeurs de V , à celle d'une diode classique.

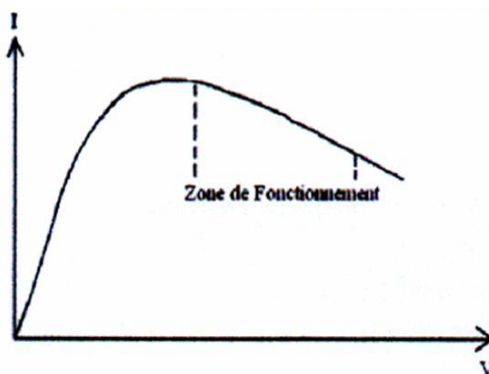


Figure 6.2: Caractéristique d'une diode Gunn

La diode Gunn se compose d'un petit parallélépipède de silicium convenablement dopé sur lequel sont placés deux contacts électriques.

La caractéristique $I(V)$ montre qu'à partir d'une certaine tension (4 à 5 volts) le graphe présente un coude et que l'intensité augmente quand la tension diminue. On dit qu'on a une résistance négative.

Il importe donc dans un montage destiné à relever les caractéristiques de la diode Gunn de placer une résistance en série pour éviter de faire passer dans le composant une intensité trop forte risquant de le détruire.

Quand une tension convenable est appliquée à la diode, le courant, au lieu de la traverser de façon continue, la parcourt par vagues successives.

Dans notre montage, cette tension est comprise entre 7 et 9 volts.

Si la diode est placée dans un circuit oscillant possédant une fréquence de résonance proche de celle des vagues de courant, le circuit oscillant joue le rôle

d'un volant et délivre un signal sinusoïdal.

Pratiquement, la fréquence étant très élevée, de l'ordre de 10 GHz, la diode est placée dans une cavité résonnante conductrice convenablement accordée.

L'accord est réalisé par le positionnement du piston formant le fond de la cavité, une vis d'accord permet de parfaire le réglage.

Ces réglages sont réalisés en usine et on ne doit pas avoir à les modifier, sauf en cas de changement de diode.

Récepteur

Il est constitué d'une diode hyperfréquence " SHF " (Super High GFrequency). Son rôle est de transformer la puissance électromagnétique captée en tension continue. Il ne détecte que la composante du champ électrique parallèle à son axe de révolution et délivre un signal proportionnel à l'intensité de l'onde.



Figure 6.3:
récepteur à
cornet

Deux récepteurs sont disponibles. Le premier est constitué d'une diode sur laquelle sont attachés deux fils métalliques (antenne). Il présente l'intérêt d'être facilement orientable dans les trois directions de l'espace et d'être hautement directionnel. Le second est constitué d'une diode placée dans une cavité résonnante accordée Fig.6.3 et d'un pavillon d'entrée (cornet). Dans cette configuration, la puissance captée est beaucoup plus importante.

Alimentation

Le coffret d'alimentation contient les circuits nécessaires à l'alimentation de la diode Gunn ainsi qu'un amplificateur pour la diode détectrice. L'alimentation fournit une tension continue parfaitement filtrée. Un réglage intérieur par potentiomètre permet d'ajuster cette tension à la valeur donnant la puissance hyperfréquence maximale. Etant données les dispersions de caractéristiques, chaque alimentation est réglée en fonction de l'émetteur correspondant. Dans le cas où l'on possède plusieurs appareils, il est recommandé de laisser appariés alimentation et émetteur.



Figure 6.4: Coffret contenant l'alimentation pour l'émetteur, le circuit amplificateur pour le détecteur et une sortie pour voltmètre

Le circuit amplificateur de la diode détectrice est constitué d'un amplificateur opérationnel délivrant une tension amplifiée rigoureusement proportionnelle à l'énergie hyperfréquence reçue par la diode. Cette amplification permet de faire

la mesure sur un voltmètre classique. Pour les signaux faibles, l'amplification peut être multipliée par 10 par le jeu d'un inverseur. Un bouton de tarage permet de régler avec précision le zéro sur l'appareil de mesure. Les appareils étant en position de fonctionnement, arrêter l'émission hyperfréquence en mettant la main devant le cornet. En agissant sur le bouton "mise à zéro", amener l'indication du voltmètre au minimum de lecture. Cette façon de procéder est préférable à celle qui consiste à couper l'alimentation de la diode Gunn en agissant sur son interrupteur. En effet, à cause de sa résistance négative, la diode Gunn met quelques secondes pour atteindre son régime de fonctionnement.

Par ailleurs, la tension maximale délivrée par l'amplificateur est de 12 volts. Cette tension étant atteinte, elle ne sera pas dépassée, même si la puissance du signal hyperfréquence augmente. Il faut donc éviter de se placer dans ces conditions de fonctionnement. Si la tension de sortie atteint ces valeurs élevées, c'est généralement que l'amplificateur est en position $\times 10$. Le ramener à la position $\times 1$, le voltmètre étant utilisé au calibre 1,5 volts.

Accessoires



Figure 6.5: Accessoires

- un banc de guidage
- des écrans réfléchissants métalliques
- deux fentes réglables
- deux plaques de plexiglass

6.2 Mesures

6.2.1 Structure et polarisation de l'onde incidente

- En électromagnétisme, donner les trois grandeurs caractérisant une onde plane se propageant dans le vide.
- Mettre en place le détecteur à cornet. Mettre la main devant l'émetteur et effectuer la mise à zéro du voltmètre en agissant sur le bouton "mise à zéro" de l'alimentation. Cette procédure est à refaire à chaque fois que l'on change de détecteur.
- Positionner celui-ci à 50 cm de l'émetteur. Faire tourner le détecteur autour de la direction de propagation. Expliquez vos observations. Que peut-on en déduire quant à la polarisation de l'onde ?

6.2.2 Ondes stationnaires

- Quelle est la valeur du champ électrique en tout point d'un conducteur parfait non chargé ?
- Pour réaliser cette condition, comment doit être le champ électrique de l'onde réfléchie par un conducteur parfait par rapport au champ de l'onde incidente ?
- On illumine un réflecteur métallique avec une onde électromagnétique (incidence normale). Montrer que la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie donne naissance à une onde stationnaire. Donner la distance théorique entre deux nœuds ou ventres successifs en fonction de la longueur d'onde λ .

- Positionner le réflecteur métallique en face de l'émetteur (environ 50 cm) de façon à réaliser un système d'ondes stationnaires.
- Positionner la sonde à antennes de façon à ce qu'elle perturbe le moins possible le système. Réajuster le zéro en tension.
- Mesurer avec le maximum de précision la longueur d'onde λ . Décrire le mode opératoire utilisé. Donner l'incertitude $\Delta\lambda$.

6.2.3 Interférences

De façon générale, deux ondes peuvent interférer lorsque leur longueur d'onde est identique et que leur déphasage reste constant dans le temps. Pour satisfaire cette dernière condition, on peut créer deux faisceaux cohérents à partir d'un seul faisceau initial. Ceci peut être réalisé par division du front d'ondes (bifentes de Young) ou par division d'amplitude (Interféromètre de Michelson).

Montage de Michelson.

L'interféromètre de Michelson fonctionne sur le principe de la division d'amplitude. Nous allons l'utiliser pour évaluer à nouveau la longueur d'onde émise λ , et pour déterminer l'indice de réfraction n d'une plaque de plexiglas.

Mesure de longueur d'onde :

Son principe de fonctionnement est présenté sur la figure 6.6. Le miroir semi transparent S (orienté à 45°) divise le faisceau issu de l'émetteur E en deux faisceaux d'amplitude identique. Ces deux ondes sont réfléchies sur les miroirs $M1$ et $M2$ et convergent vers le récepteur à cornet R . Si le chemin optique des deux faisceaux est identique (à un multiple de la longueur d'onde près), les ondes interféreront de façon constructive et conduiront à un maximum d'intensité. Si le miroir mobile $M2$ est déplacé d'une quantité x , la variation du chemin optique introduira un déphasage entre les deux ondes et modifiera l'intensité mesurée. Pour certaines positions du miroir $M2$, les ondes peuvent interférer de façon destructive conduisant à une annulation du signal mesuré.

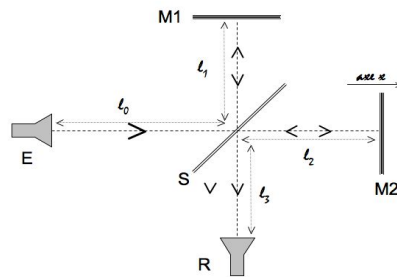


Figure 6.6: Montage d'un interféromètre de Michelson

- Donner le chemin optique $L1$ et $L2$ parcouru par les deux ondes. ($L1$: trajet $E-M1-R$, $L2$: trajet $E-M2-R$) en fonction des distances l_0, l_1, l_2, l_3 . On rappelle que le chemin optique L d'une onde électromagnétique traversant un milieu d'épaisseur l et d'indice n est donné par $L=l.n$. Dans l'air, on considérera $n=1$ (chemin optique et chemin géométrique sont identiques).
- Calculer la différence de marche δ ($\delta =L1-L2$) entre les deux faisceaux. Lorsque δ est un multiple de la longueur d'onde, les interférences sont constructives et on observe un maximum au niveau du détecteur. Donner

la relation entre λ et x , où x est le déplacement correspondant au passage entre deux maxima consécutifs.

- Réaliser le montage proposé Figure 6.6. Le miroir semi transparent (plexiglass) doit être correctement orienté à 45° . Mettre en place le détecteur à cornet et réajuster le zéro en tension. Décrire le mode opératoire utilisé pour mesurer λ . Déterminer λ et $\Delta\lambda$. Comparer à la mesure précédente.

Mesure d'indice de réfraction :

L'interféromètre de Michelson permet également de déterminer l'indice de réfraction de certains matériaux.

- Considérons M2 positionné de façon à donner un maximum d'intensité. Calculer le chemin optique dans les deux bras et la différence de marche correspondante.

Lorsque l'on introduit devant le miroir M2 Figure 6.7 une plaque de diélectrique d'indice de réfraction n , on modifie le chemin optique correspondant (qui se trouve augmenté) ainsi que les conditions d'interférences : l'intensité diminue. Il suffit de déplacer le miroir M2 d'une quantité z vers le miroir semi transparent pour retrouver les maxima d'intensité.

- Donner le chemin optique dans les deux bras ainsi que la différence de marche correspondante.
- Montrer que l'indice de réfraction peut être déterminé grâce à la relation : $n = 1 + \frac{1}{e}(\frac{p\lambda}{2} + z)$, où p est un entier négatif ou nul, e l'épaisseur de la plaque, z est le déplacement qui permet de retomber sur un maximum d'interférence (il est compté positivement lorsque l'on se déplace vers le miroir séparateur S).

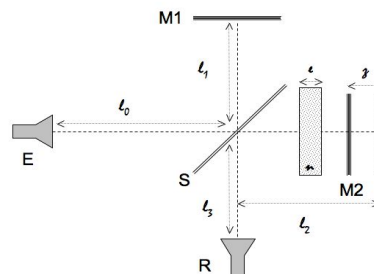


Figure 6.7: Mesure d'indice de réfraction.

- Placer le miroir M2 de façon à vous trouver sur un maximum d'intensité Figure 6.7. Rajouter la plaque de plexiglas (épaisseur $e = ?$ mm) devant le miroir M2. Déplacer le miroir M2 vers le miroir semi transparent de façon à retrouver le maximum (z). Dédire l'indice de réfraction n , ainsi que la permittivité relative (ou constante diélectrique) ϵ_r ($\epsilon_r = n^2$) à partir de cette mesure.

6.2.4 Bifentes de Young

Il est également possible d'obtenir deux faisceaux cohérents par division du front d'onde. Le cas le plus simple est celui des bifentes de Young.

Le principe est présenté sur la figure 6.8. Une onde plane monochromatique rencontre deux fentes parallèles. Ces deux fentes se comportent alors comme des sources secondaires cohérentes et peuvent donner lieu à des interférences. La

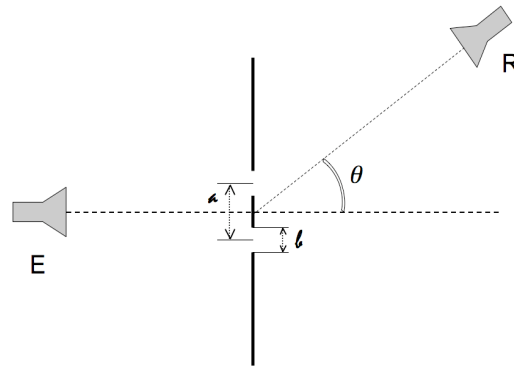


Figure 6.8: Bifentes de Young.

distribution de l'intensité repérée par dans direction montre des maximums et des minimums suivant que les interférences sont constructives ou destructives. Pour simplifier le problème, on considère que la distance fente-détecteur est très grande devant la distance inter-fentes a . Cela revient à considérer les interférences à l'infini. La figure précédente est alors remplacée par la figure 6.9.

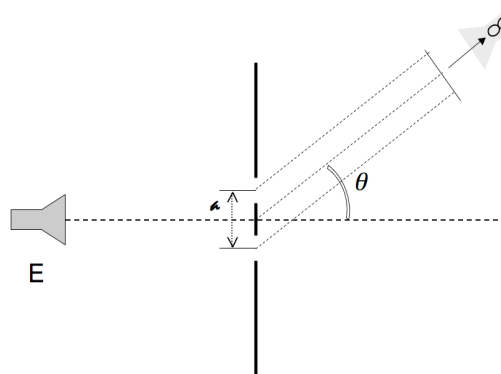


Figure 6.9: Bifentes de Young.

- Déterminer la différence de marche entre les deux faisceaux en fonction de a et Θ . Montrer que la longueur d'onde λ est reliée à la position des k^{iemes} maxima Θ_k par $\lambda = \frac{a}{k} \sin(\Theta_k)$.

Les fentes d'Young sont constituées de la cornière, et de trois plaques métalliques (figure 6.10). La largeur des fentes est de 24 mm, l'entraxe des fentes est de 104 mm. La double fente doit être montée perpendiculairement à l'axe du banc de l'émetteur. L'avant du cornet émetteur est à 50 cm des fentes. Le récepteur doit être monté à 50 cm des bifentes. Vérifier le zéro en tension du détecteur. Soigner l'alignement et la fixation de l'émetteur, des fentes et du récepteur sur leur support.

- Observez vous un maximum dans la direction $\Theta = 0$? Pourquoi ?
- Faire tourner le cornet récepteur suivant Θ . Noter la position angulaire Θ_{max} du premier maximum de chaque coté de la direction $\Theta = 0$ (Θ_{max}^+ et Θ_{max}^-). Calculer la valeur moyenne de Θ et déterminer la longueur d'onde λ ainsi que $\Delta\lambda$.
- La fréquence de l'onde donnée par la constructeur est de 10 Ghz. Calculer la longueur d'onde correspondante et comparer aux valeurs expérimentales.

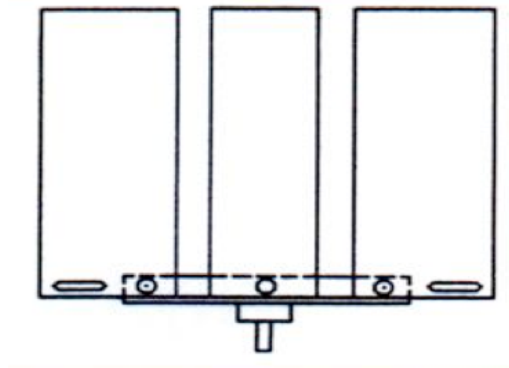


Figure 6.10: Montage de la double fente.

Chapitre 7

Ultrasound

The goal of this practical is to study some properties of ultrasonic waves.

7.1 Preparation

7.1.1 Piezoelectric effect

Piezoelectricity is the ability of some materials (notably crystals such as quartz crystals) to generate an electric potential in response to applied mechanical stress (such as pressure variation). This may take the form of a separation of electric charges across the crystal lattice. If the material is not short-circuited, the mechanical stress induces a measurable voltage across the material. This effect is reversible and we note the production of stress and/or strain (inducing a vibration of the whole crystal) when a electric field is applied to the material. In this practical, this effect will be used to detect and to produce ultrasound (the same device can be used as ultrasound sensor or ultrasound generator, we call it a piezoelectric transducer). In the first case, ultrasonic waves induce pressure variation (and mechanical stress) on the crystal which is directly transformed into electric voltage. In the second case, a sinusoidal voltage is converted into sinusoidal oscillations of the crystal and creates ultrasonic waves. In practice, the vibration is largest when electric field stimulates a natural frequency of the crystal. This is an example of mechanical resonance phenomena. In this practical, it is close to 40 kHz.

7.1.2 Wavelength measurement

- Give a method to determine the wavelength λ of a progressive ultrasonic wave using the piezoelectric transducers (ultrasound generator and sensor) and the oscilloscope.
- Give the relation between the wavelength λ , the frequency f and the sound velocity c_{son} .

7.1.3 Sound velocity measurement

Indicate a method to measure the sound velocity using ultrasonic pulses and an oscilloscope.

7.1.4 Doppler effect

The Doppler effect is the change observed in the wavelength of sound waves due to the relative motion between a wave source and a wave receiver. This effect is highly dependent on the speed of motion, the frequency of the waves emitted by the source, and the angle between the wave direction and the motion direction (in the following, we will make the approximation that this angle is very close to zero). Imagine that a receiver (detector) moves away from the source. The

source is emitting signals with a period T_{em} , ν is the velocity of the receiver and c_{sound} is the velocity of the ultrasound. At $t=0$ the receiver get a signal. Since the detector is moving away, the separating distance between the source and the receiver will increase. The next signal on the receiver will arrive at a time larger than T_{em} . This characteristic time will be called T_{re} and corresponds to the time between two signals received by the detector.

- Show that in this case : $c_{sound}T_{re} = C_{sound}T_{em} + \nu T_{re}$
- Deduce the relation : $f_{re} = \frac{c_{sound}-\nu}{c_{sound}} \times f_{em}$

For a moving receiver approaching the source, the above equations are the same except that a plus sign appears in place of the minus.

- Give examples of Doppler effect that can be found in everyday life.
- Demonstrate that in the case of a source moving away a fixed receiver, we get the relation : $c_{sound}T_{re} = C_{sound}T_{em} + \nu T_{em}$, and thus, $f_{re} = \frac{c_{sound}}{c_{sound}+\nu} \times f_{em}$

In this practical, the source and the receiver are fixed, and we use a moving reflector.

- Try to use the above equations to determine the Doppler shift between source frequency and the receiver frequency on the detector ($f_{em} - f_{re}$).
- Show that if the reflector moves away from the source : $f_{em} - f_{re} = \frac{f_{em} * 2\nu}{c_{sound} + \nu}$

Or, if $\nu \ll c_{sound}$: $f_{em} - f_{re} = \frac{f_{em} * 2\nu}{c_{sound}}$

7.2 Experimental part

7.2.1 Wavelength measurement

- Install the piezoelectric transducers (the source and the detector) on the mechanical stand.
- Connect the source to the signal generator (sinusoidal signal) and both transducers to the oscilloscope.
- Change the source frequency f_{em} in order to maximize the signal on the detector.
- Measure this frequency f_{em} on the oscilloscope and give the uncertainty Δf_{em} .
- Determine the wavelength λ of the progressive ultrasounds waves (carefully describe the operating procedure).
- Give the uncertainty $\Delta \lambda$
- Calculate the sound velocity c_{sound} and give Δc_{sound}

7.2.2 Sound velocity measurement

The sound velocity can also be measured with ultrasonic pulses. Ask to the teacher how to use the signal generator.

- Describe carefully the experimental procedure.
- Determine c_{sound} and give Δc_{sound} .
- Compare the results with the previous method.

The ultrasonic pulses can also be interesting for distance measurement.

- Replace the detector by a reflector.

- Put the detector just near the source turned toward the reflector.
- Give a method to determine the distance between the source and the reflector.
- Measure this distance with a ruler.
- Determine this distance with the ultrasounds.
- Compare the results.

7.2.3 Doppler effect

We propose to measure the speed of a reflector using the Doppler effect.

- Estimate $(f_{em} - f_{re})$ if the speed of the reflector is 1 cm/s.
- Do you think it is possible to study Doppler shift for slow displacements only by measuring frequencies of the source and of the receiver ?

In case of slow displacement, the Doppler shift is very difficult to evidence. It can however be studied with the help of an electronic multiplier. Let's consider two oscillating signals $s_1 = a\cos(2\pi f_1 t)$ and $s_2 = a\cos(2\pi f_2 t)$

- Show that the product of these two signals is a combination of two oscillating signals : a slow component with a frequency $(f_1 - f_2)$ and a fast component with a frequency $(f_1 + f_2)$

If we use an electronic filter to reject the fast component, the frequency of the resulting signal is $(f_1 - f_2)$ which directly corresponds to Doppler shift.

- Install the ultrasonic generator and receiver in front of the reflector.
- Connect the receiver and the generator on the multiplier (the receiver will be first connected to an electronic amplifier).
- Switch on the reflector motor, and describe the signal with and without any electronic filter.
- Measure the speed of the reflector ν with a chronometer (estimate also $\Delta\nu$).
- Determine ν and $\Delta\nu$ from Doppler measurements (carefully describe the experimental procedure).
- Compare these two experimental values.
- Is it possible to know from Doppler measurements if the reflector is approaching or moving away from the ultrasound source ?