

TP vélocimétrie

— Laser, Matériaux, Milieux Biologiques —

Sécurité laser

ATTENTION : le faisceau du laser Hélium-Néon utilisé dans cette salle est **puissant** (supérieur à 15 mW).

Il est dangereux

et peuvent provoquer des **accidents graves** en cas d'exposition de l'œil au faisceau laser ou même à de faibles réflexions de ce faisceau :

- La *vision directe du faisceau* ou des *réflexions spéculaires* de celui-ci provoque des **dommages irréversibles à la rétine à partir de quelques mW**.
- Les *réflexions diffuses* sont dangereuses à une distance inférieure à 15 cm et pour une durée de vision supérieure à 10 secondes.
- L'*exposition prolongée de la peau* au faisceau de 30 mW peut aussi provoquer des lésions superficielles.

Précautions à prendre

1. *Éliminer toute cause de réflexion parasite*, même très brève, par des objets qui pourraient intercepter une partie du faisceau :
 - **Enlever montres et bagues pendant la durée du TP.**
 - Éviter de manipuler des objets en métal (tournevis, pinces...) ou en verre à proximité du faisceau.
2. **Ne pas approcher son œil du faisceau pour faire les alignements.**
3. **Ne jamais insérer** un élément optique (lentille, filtre...) dans le montage expérimental **sans avoir au préalable coupé le faisceau laser.**
4. *Bien fixer tous les éléments optiques* insérés dans le faisceau (pas de filtres optiques ou d'écrans simplement posés sur la tranche!).
5. *Bloquer par des dispositifs fixes tous les faisceaux secondaires* créés par des éléments insérés dans le faisceau : lames séparatrices, lames de Brewster, éléments polariseurs...
6. Lors de travail en équipe sur un même laser, *surveiller toujours les opérations effectuées par le coéquipier* lorsqu'il est amené à manipuler à proximité du faisceau laser.

1 Plan du TP

1.1 Objectifs

Celui-ci comporte trois parties à traiter successivement :

- La première partie est une variante de l'expérience de vélocimétrie laser. Son objectif est de réaliser un débitmètre.
- La deuxième consiste à mesurer un battement entre deux fréquences optiques avec un analyseur de spectre. C'est une introduction pour la troisième partie.
- La dernière partie présente une expérience de vélocimétrie laser utilisant l'effet Doppler.

1.2 Matériel

- Un laser Hélium-Néon d'alignement Melles Griot d'une puissance de l'ordre de 15 mW.
- Une photodiode rapide (jusqu'à 1 GHz) Thorlabs DET 210/M.
- Un amplificateur 30 dB (alimentation 12 V).
- Un analyseur de spectres Hameg HM 5010.
- Un oscilloscope numérique.
- Un moteur associé à un disque recouvert d'un matériau diffusant.
- Une cellule de verre, remplie d'eau et reliée à une pompe permettant la circulation du fluide.
- Des optiques variées : un miroir plan R_{\max} à 633 nm, un cube séparateur non polarisant, des lentilles de distances focales variées, un objectif de microscope de grossissement 60 et enfin diverses densités pour atténuer le faisceau laser.

2 Réalisation d'un débitmètre laser

Le but de cette expérience est de mesurer la vitesse d'un fluide, ou plus précisément la vitesse de particules diffusantes ou de bulles d'air présentes en suspension dans le fluide. Pour cela, on crée une zone d'interférence au centre de la cellule où circule le fluide et on détecte la lumière diffusée correspondant au passage d'une bulle. Avant de mesurer ce signal, on réalise un montage permettant de visualiser la figure d'interférence produite dans la zone de recouvrement de deux faisceaux laser cohérents traversant une lentille convergente.

2.1 Franges d'interférence

On réalise le montage de la figure (1).

Séparer le faisceau laser incident en deux au moyen du cube. Focaliser les deux faisceaux ainsi obtenus, approximativement à l'intersection entre les deux bancs optiques avec la lentille f_1 .

Placer ensuite l'objectif de microscope au point de convergence des deux faisceaux et visualiser la figure d'interférence sur un écran. Interpréter cette figure et représenter les franges d'interférences dans l'espace.

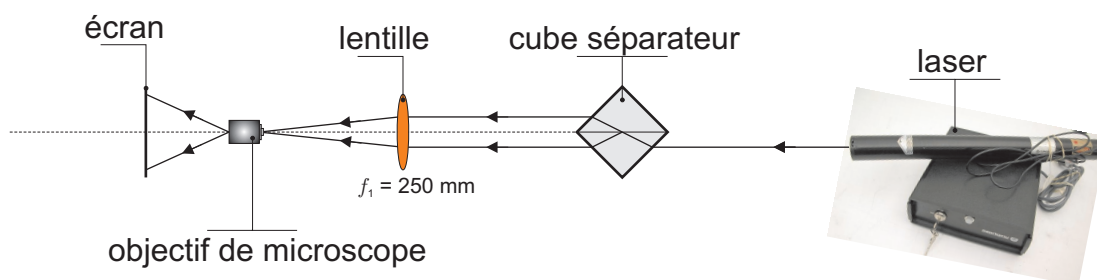


FIGURE 1 – Montage expérimental pour visualiser la figure d'interférence produite par deux faisceaux qui se croisent.

Mesurer la distance a séparant les deux faisceaux au niveau de la lentille f_1 . En déduire la valeur de l'interfrange i sachant que celui-ci s'écrit

$$i = \frac{\lambda f_1}{a} \quad (1)$$

2.2 Mesure de la vitesse des particules

La cellule de verre contient de l'eau. Elle est reliée à une pompe d'aquarium afin que les impuretés en suspension dans l'eau et les bulles d'air puissent circuler perpendiculairement à la direction de propagation des faisceaux. Quand une particule passe dans la zone d'interférence, elle diffuse ou ne diffuse pas la lumière selon qu'elle traverse une frange brillante ou une frange sombre.

2.2.1 Montage expérimental

Réaliser le montage de la figure (2).

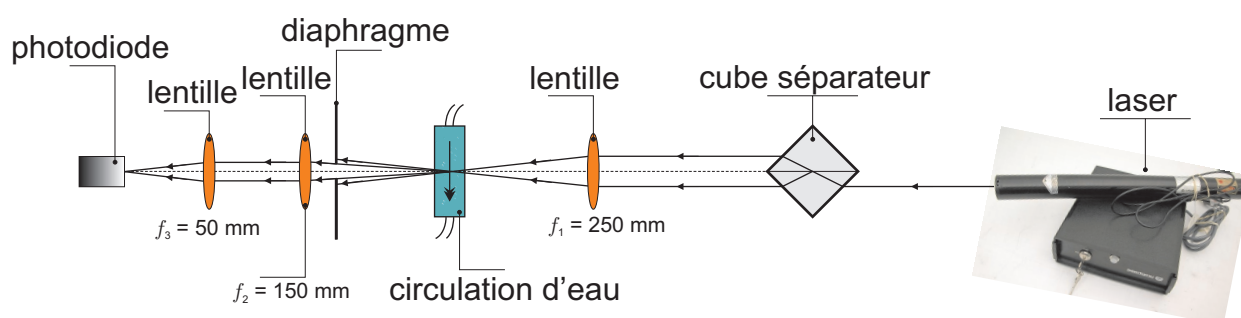


FIGURE 2 – Montage expérimental pour le débitmètre.

Le diaphragme à iris permet d'éliminer les faisceaux directs transmis par la cellule et de ne conserver que la lumière diffusée. Les lentilles f_2 et f_3 permettent réaliser un faisceau parallèle et de le focaliser sur la photodiode.

La photodiode est reliée à un oscilloscope. Le signal utile n'apparaissant que lors du passage d'une particule dans la zone d'interférence, il est nécessaire de déclencher l'oscilloscope en mode « monocoup » (single mode) et de fixer le niveau de déclenchement (trigger) à une valeur suffisamment haute pour ne pas déclencher l'oscilloscope sur un signal parasite.

2.2.2 Mesure de vitesse au centre de la cellule

Mettre la pompe en marche sur une position intermédiaire. Fixer la résistance de charge de la photodiode à la valeur de 10 k Ω . Utiliser dans un premier temps une base de temps de 1 ms/div sur l'oscilloscope. Observer et interpréter les oscillations d'amplitude du signal détecté.

Mesurer, à l'aide des curseurs, la fréquence des oscillations. Refaire cette mesure pour quelques valeurs du débit de la pompe et déterminer les vitesses correspondantes ainsi que le débit correspondant.

3 Battement entre deux modes longitudinaux du laser He-Ne

3.1 Montage

Le montage est représenté sur la figure (3).

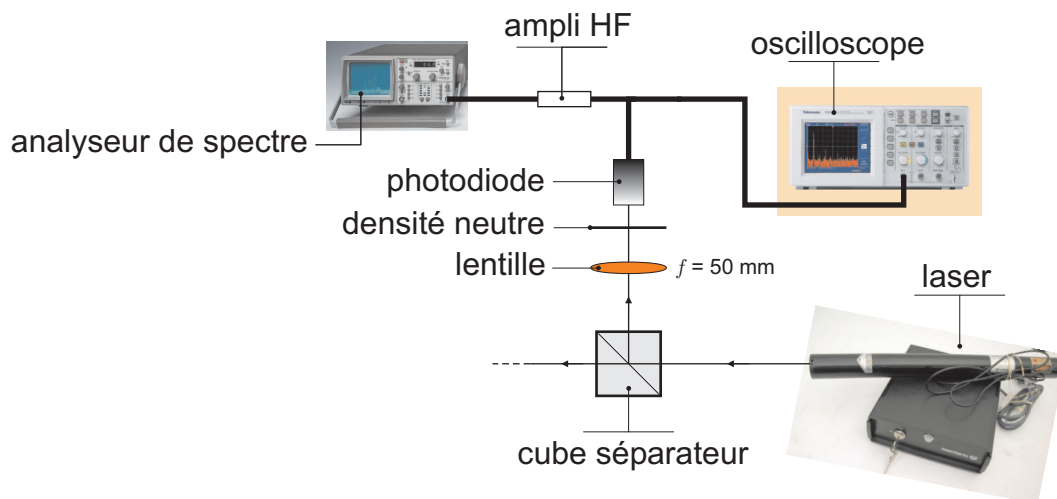


FIGURE 3 – Observation des modes longitudinaux du laser.

3.1.1 Voie de dérivation

Une partie du faisceau issu du laser Hélium Néon est réfléchiée sur une voie de dérivation par un cube séparateur puis focalisée sur la photodiode par une lentille de distance focale $f = 50$ mm. Le signal issu de la photodiode est envoyé en parallèle sur l'analyseur de spectre et sur l'oscilloscope.

Utiliser une densité neutre pour atténuer le faisceau.

3.1.2 Réglage de la photodiode rapide

Alimenter la photodiode grâce à l'interrupteur placé sur l'arrière. Il ne faudra pas oublier de l'éteindre à la fin du TP.

Dans la suite, le signal de sortie de la photodiode est visualisé pour sa composante continue sur l'oscilloscope et pour sa composante haute fréquence sur l'analyseur de spectres. La partie haute fréquence passe par un amplificateur qu'il faut alimenter sous 24 V.

Allumer l'alimentation. Jouer sur les réglages de la lentille et de la photodiode afin d'envoyer le faisceau sur la photodiode rapide. Vérifier, en observant le signal de sortie de la photodiode sur l'oscilloscope, que celle-ci n'est pas saturée (tension inférieure à 9 V).

3.2 Mesures

Calculer $c/2L$. Choisir une excursion en fréquence de 100 MHz/div et une bande passante égale à 400 kHz.

Repérer les pics dus à la lumière et se méfier des pics parasites d'origine électronique. Combien peut-on en voir ?

Visualiser le pic correspondant au battement à la fréquence $c/2L$ et améliorer le rapport signal sur bruit en diminuant l'excursion en fréquence et la bande passante. En déduire la longueur de la cavité laser.

Comment peut-on expliquer la co-existence de plusieurs fréquences proches ?

4 Expérience de Vélométrie Laser Doppler

4.1 Montage

Le faisceau de sortie du laser est séparé en deux par le cube séparateur (voir figure (4)) :

- Le faisceau réfléchi par le cube (représenté en pointillés), est réfléchi par un miroir plan hautement réfléchissant à 633 nm. Il est alors transmis par le cube et focalisé sur la photodiode à l'aide d'une lentille de distance focale 50 mm. C'est le faisceau de référence à la fréquence ν_i .
- Le faisceau transmis par le cube (représenté en traits pleins), est diffusé par le papier calque recouvrant la roue. Sa fréquence est alors décalée par effet Doppler (fréquence ν_r). Il est ensuite réfléchi par le cube et focalisé sur la photodiode comme le faisceau de référence.

La qualité du recouvrement spatial entre les deux faisceaux est cruciale. Afin de maximiser l'adaptation spatiale des deux faisceaux, on rajoute à la sortie du laser un agrandisseur de faisceau formé de deux lentilles.

On rappelle que la fréquence du battement entre ces deux faisceaux s'écrit :

$$\nu_{\text{batt}} = \nu_r - \nu_i = 2\nu_i \frac{v_z}{c} = \frac{2v_z}{\lambda} \quad (2)$$

Le contrôleur de la roue indique la fréquence associée au temps mis par la roue pour effectuer 1/30ème de tour (il y a 30 fentes dans la roue). La fréquence de rotation est donc 30 fois plus faible que celle lue sur le contrôleur.

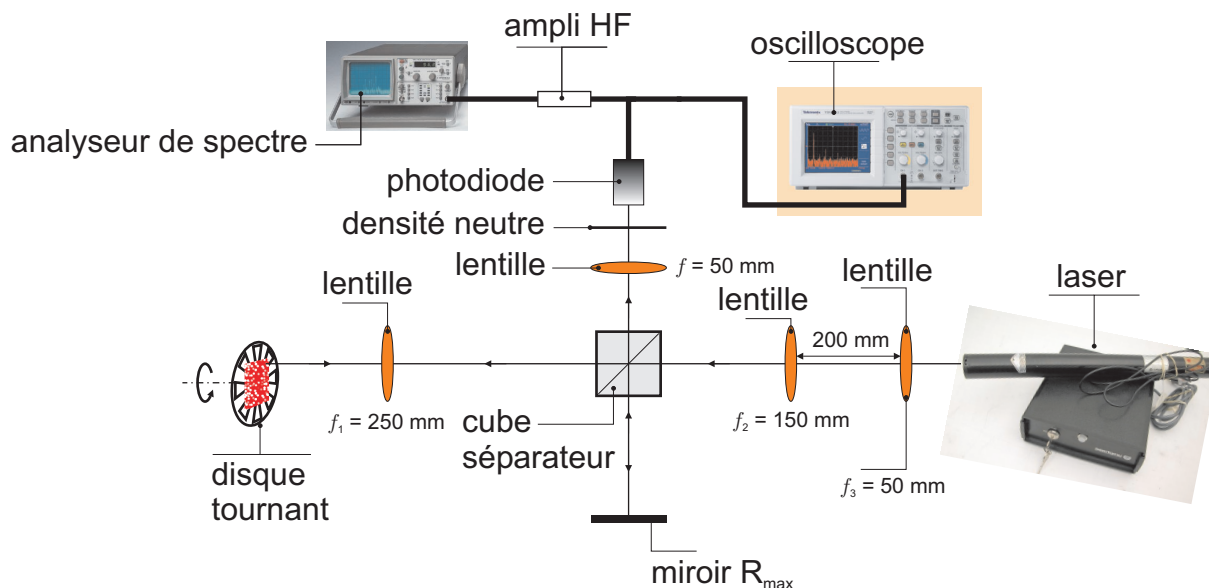


FIGURE 4 – Montage de vélocimétrie laser à franges.

4.2 Alignement de l'interféromètre

Placer les lentilles de distance focales $f_3 = 50$ mm et $f_2 = 150$ mm suivant le schéma du montage expérimental, de façon à augmenter le diamètre du faisceau laser.

On essaiera de les mettre le plus possible dans l'axe du laser tout en évitant les retours dans le laser. En cas de retours, l'intensité du faisceau fluctue et la qualité spatiale peut être très mauvaise.

Placer le cube séparateur à l'intersection des deux bancs optiques de façon à ce que la réflexion du faisceau de référence soit centrée sur le miroir R_{\max} .

Placer le disque légèrement en biais puis la lentille de grand diamètre $f_1 = 250$ mm de façon à focaliser le faisceau sur la roue.

Le revêtement de la roue diffuse et on peut voir dans l'obscurité au niveau de la photodiode de la lumière diffusée lorsque celle-ci tourne

Aligner le cube et le miroir R_{\max} de telle sorte que la lumière diffusée et le faisceau réfléchi par le miroir R_{\max} soient centrés. Faire focaliser ces rayons sur la photodiode à l'aide de la lentille $f = 50$ mm et optimiser celle-ci en jouant sur les réglages en translation de la photodiode.

4.3 Mesures

4.3.1 Observation du signal de battement

Sur l'analyseur de spectre, utiliser une excursion de 0,2 MHz/div et se placer à basse fréquence (fréquence centrale fixée à la fréquence nulle) avec une bande passante de 20 kHz.

Repérer le pic de battement, c'est-à-dire le pic dont l'existence dépend des deux bras de l'interféromètre. Vérifier que la fréquence de battement varie lorsque l'on change l'angle θ ou

la vitesse de rotation de la roue.

4.3.2 Mesure de la vitesse de rotation par effet Doppler

On travaillera dans la suite à vitesse de rotation angulaire ω constante.

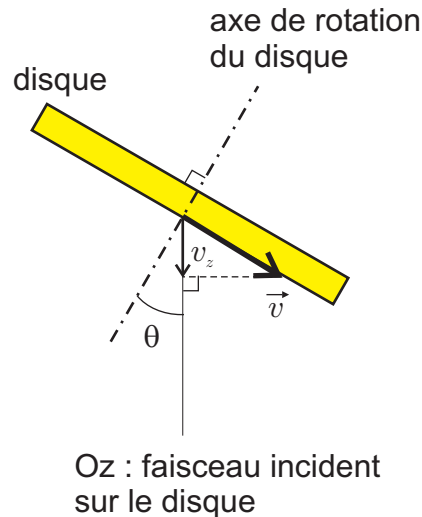


FIGURE 5 – Orientation du disque.

Placer la roue pour que le faisceau de référence tape à une distance r que vous mesurerez du centre de celle-ci. Mesurer ν_{batt} pour différentes valeurs de θ allant de 10° à 45° et vérifier que la fréquence de battement varie linéairement avec $\sin\theta$.

On rappelle que

$$\nu_{\text{batt}} = \frac{2v_z}{\lambda} = \frac{2r\omega \sin\theta}{\lambda}$$

En déduire la vitesse de rotation angulaire ω de la roue. Par quoi est limitée la précision sur cette mesure ?