

## EFFET DOPPLER – VELOCIMETRIE

### 1. Objectifs

Il s'agit de mesurer des vitesses de déplacement d'un disque en rotation allant du mm/s au cm/s en utilisant l'effet Doppler, c'est-à-dire la modification de la fréquence lumineuse diffusée par un objet due à la vitesse de cet objet.

Dans deux montages, nous allons mesurer les battements dus à la petite différence de fréquence entre une onde de référence et l'onde diffusée par le disque en rotation.

La fréquence de ces battements nous permettra de calculer la vitesse du disque.

### 2. Introduction

Lorsqu'une source monochromatique de fréquence  $f$  et un récepteur sont en mouvement relatif avec une vitesse radiale  $u$  (c'est la composante de la vitesse le long de la direction joignant la source au détecteur) faible devant la vitesse  $c$  de la lumière, la fréquence reçue par le détecteur est décalée de  $\Delta f = fu/c = u/\lambda$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière.

Exemple : le disque en rotation est éclairé par un laser de longueur d'onde  $\lambda = 0,633 \mu\text{m}$  en un point P placé à la distance  $R = 10 \text{ mm}$  de l'axe. Il tourne à la fréquence  $N = 1,0$  tour/s. Les points éclairés tournent à la vitesse  $V = 2\pi RN$  dans une direction faisant un angle  $\theta = 80^\circ$  avec le faisceau incident. Voir figure 1.

- Calculer la vitesse radiale  $u$ .
- Calculer en kHz la variation de fréquence de la lumière reçue.

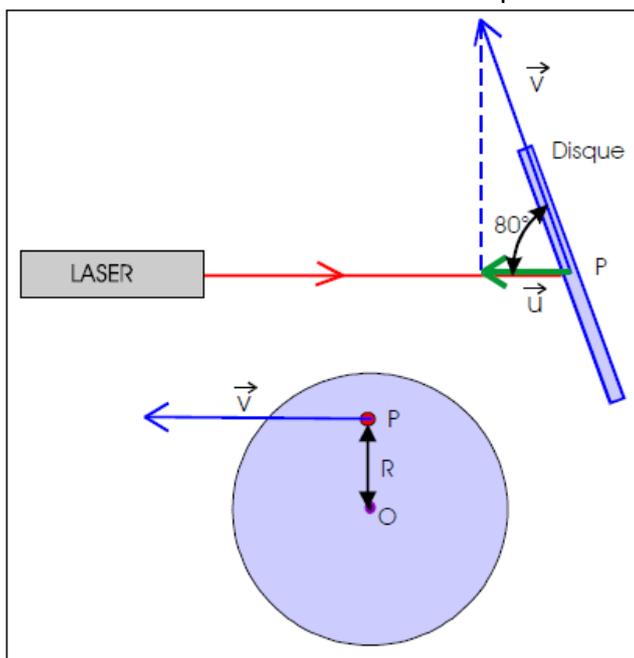


Figure 1: Disque (vue de dessus et vue de face)

### 3. Composition de deux fréquences voisines – Battements

#### 3.1. Simulation

Ouvrir le fichier **Battements.xls**. On additionne deux vibrations de fréquences voisines (choisir par exemple  $N_1 = 0,2 \text{ Hz}$  et  $N_2 = 0,22 \text{ Hz}$ ) et d'amplitudes voisines (par exemple  $a_1 = 10$  et  $a_2 = 8$ ). Lancer l'animation.

Observer l'amplitude de la superposition des deux ondes : elle varie entre un minimum et un maximum. Cette variation est périodique de fréquence  $\Delta N = |N_1 - N_2|$ .

On dit que l'amplitude de l'onde résultante bat à la fréquence  $\Delta N$ .

- Avec la simulation, mesurer la période des battements. En déduire la fréquence de battement.

### 3.2. Montage de Michelson

Nous allons utiliser le montage de Michelson pour superposer / additionner l'onde de fréquence  $f$  issue du laser He-Ne et l'onde de fréquence voisine  $f + \Delta f$  diffusée par le disque en rotation.

Réaliser le montage de la figure 2.

En P

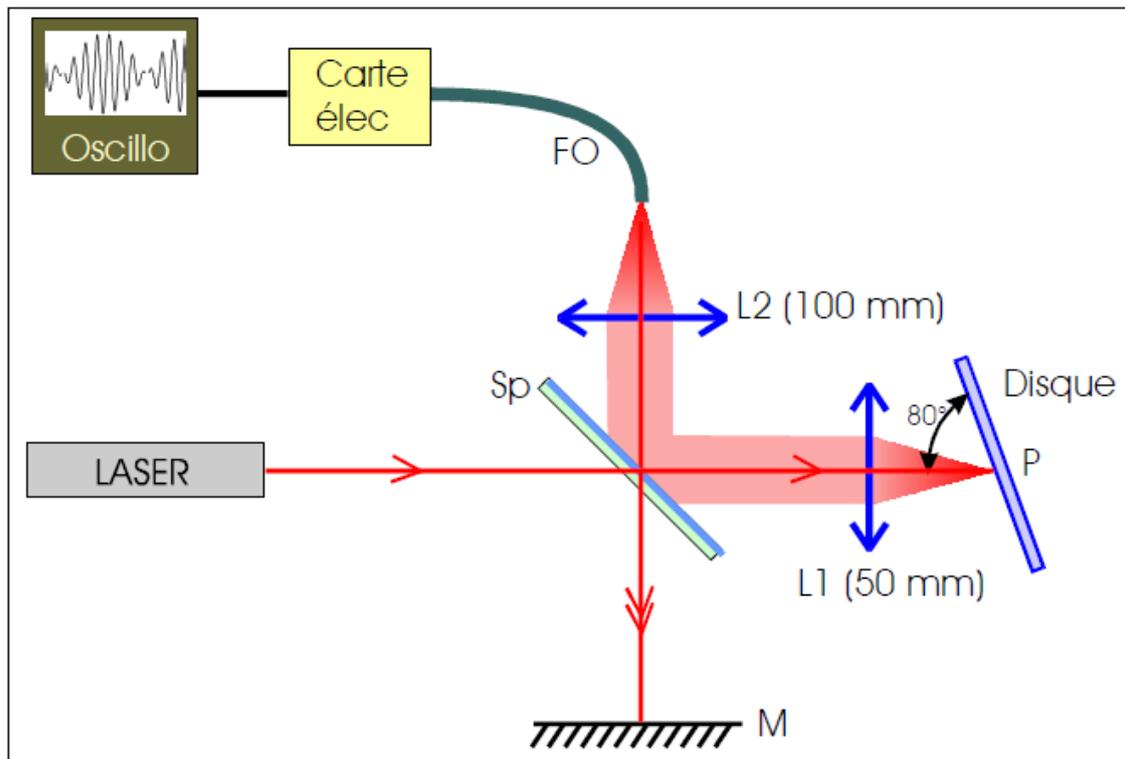


Figure 2 : Montage de Michelson

La carte électronique capte les battements et renvoie une tension de fréquence  $\Delta f$ .

La lentille  $L_1$  à collecter la lumière diffusée en P et à en faire un faisceau collimaté dirigé vers la séparatrice Sp puis la lentille  $L_2$ .

- Visualiser le signal à l'oscilloscope : l'exemple de l'introduction donne l'ordre de grandeur de  $\Delta f$  dont on peut déduire la base de temps.
- Faire plusieurs mesures de  $\Delta f$ . Calculer et noter la fréquence moyenne, ainsi que la distance R du point de mesure par rapport à l'axe du moteur.
- **Montrer votre montage à un professeur**

### 3.3. Montage par rétro-injection (self-mixing)

Dans ce montage (voir figure 3), l'onde de fréquence  $f + \Delta f$  rétrodiffusée par le disque est directement injectée dans la cavité du laser à l'aide de la lentille  $L_1$ .

Les battements se produisent alors directement dans la cavité du laser.

Une partie du faisceau est dirigée vers la carte électronique grâce à la séparatrice, dont on notera le changement d'orientation par rapport au montage de Michelson.

- Réaliser le montage de la figure 4.
- Noter la fréquence du signal obtenu.
- Faire plusieurs mesures et calculer la fréquence moyenne.
- **Montrer votre montage.**

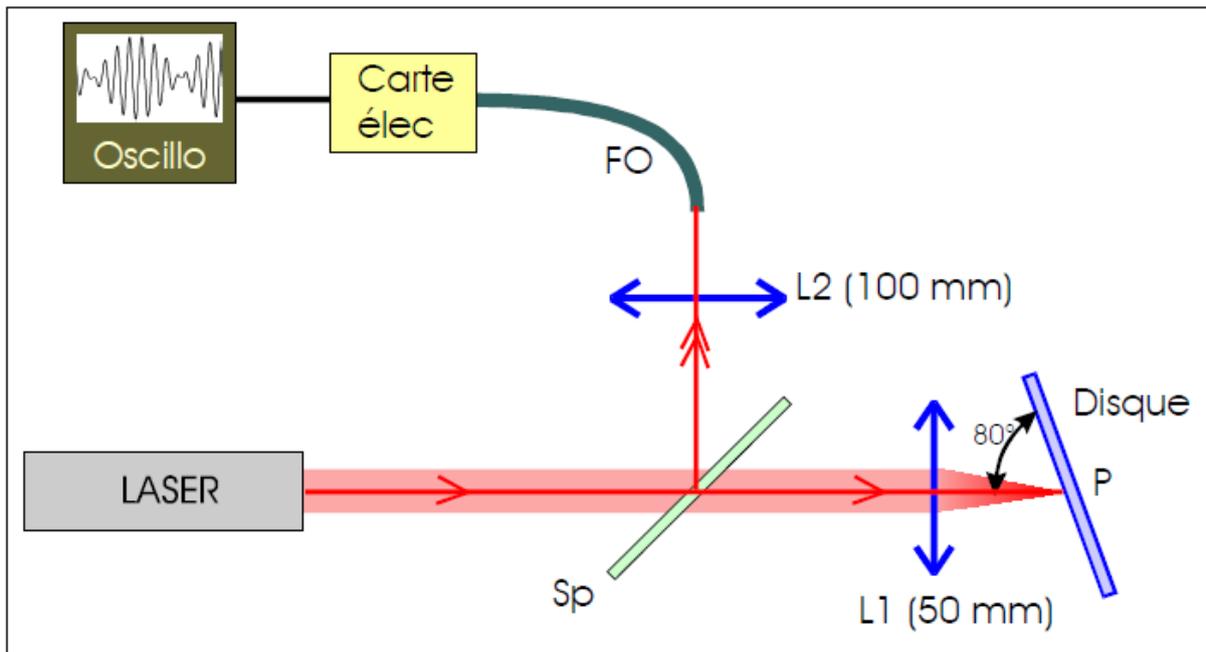


Figure 3 : Montage de self-mixing

#### 4. Interprétation et exploitation

Nous allons calculer la vitesse de rotation du disque à partir des mesures de  $\Delta f$ .

Pour cela, nous allons commencer par relier le  $\Delta f$  moyen mesuré à la vitesse radiale  $u$  du disque.

Il s'agit de voir que l'effet Doppler intervient deux fois : lorsque le disque reçoit la lumière du laser, il s'approche de ce dernier. La fréquence reçue est augmentée de  $u/\lambda$ . Puis le disque réémet la lumière vers le capteur en s'en rapprochant. Le capteur voit une fréquence augmentée à nouveau.

- Montrer que la variation totale de fréquence est  $\Delta f = 2u/\lambda$ .
- A partir de votre  $\Delta f$  moyen mesuré, en déduire la vitesse radiale  $u$  puis la vitesse  $V$  de déplacement linéaire au point P en supposant l'inclinaison  $\theta = 80^\circ$ .
- En déduire la vitesse de rotation  $N$  du disque en tours/s en tenant compte de la valeur de  $R$  que vous avez mesurée.
- Que se passe-t-il si  $\theta = 100^\circ$  ?

Remarque : le phénomène de rétro-injection, qui perturbe le spectre et la puissance d'émission des lasers, est souvent considéré comme un parasite, notamment pour les télécommunications. Mais il a de nombreuses applications : mesures de vitesse, de déplacement, de débit, souris optiques etc.

NOMS : .....

DATE :

.....

.....

**FEUILLE A RENDRE EN FIN DE SEANCE**

| §   | Travail à faire   | A noter sur place | A noter à l'écrit                            |
|-----|---|-------------------|--|
| 2   | Introduction  |                   | ____ / 3                                     |
| 3.1 | Simulation  | ____ / 2          |  |
| 3.2 | Montage de Michelson<br>Montage<br>Mesures  | ____ / 4          | ____ / 1                                     |
| 3.3 | Montage de rétro-injection<br>Montage<br>Mesures  | ____ / 3          | ____ / 1                                     |
| 4   | Vitesse<br>Expression de $\Delta f$<br>Calcul de u et V<br>Calcul de N<br>Cas où $\theta = 100^\circ$ |                   | ____ / 1<br>____ / 2<br>____ / 2<br>____ / 1 |

TOTAL : \_\_\_\_\_ / 20