

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 λ 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.

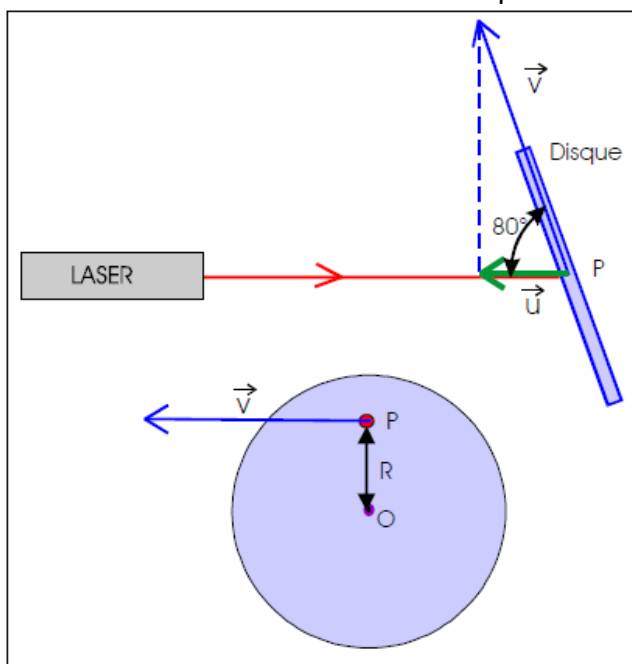


Figure 1: Disque (vue de dessus et vue de face)

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 ΔN .

- 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

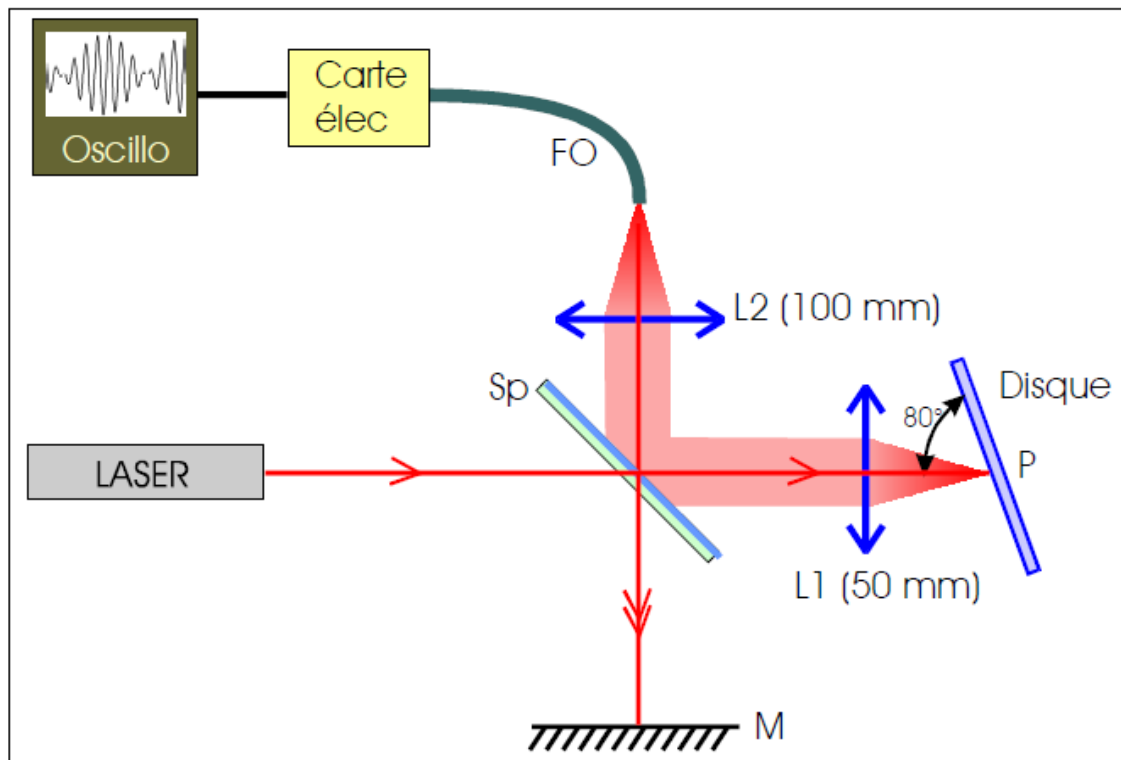


Figure 2 : Montage de Michelson

La carte électronique capte les battements et renvoie une tension de fréquence Δf .

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 Δf dont on peut déduire la base de temps.
- Faire plusieurs mesures de Δf . 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.**

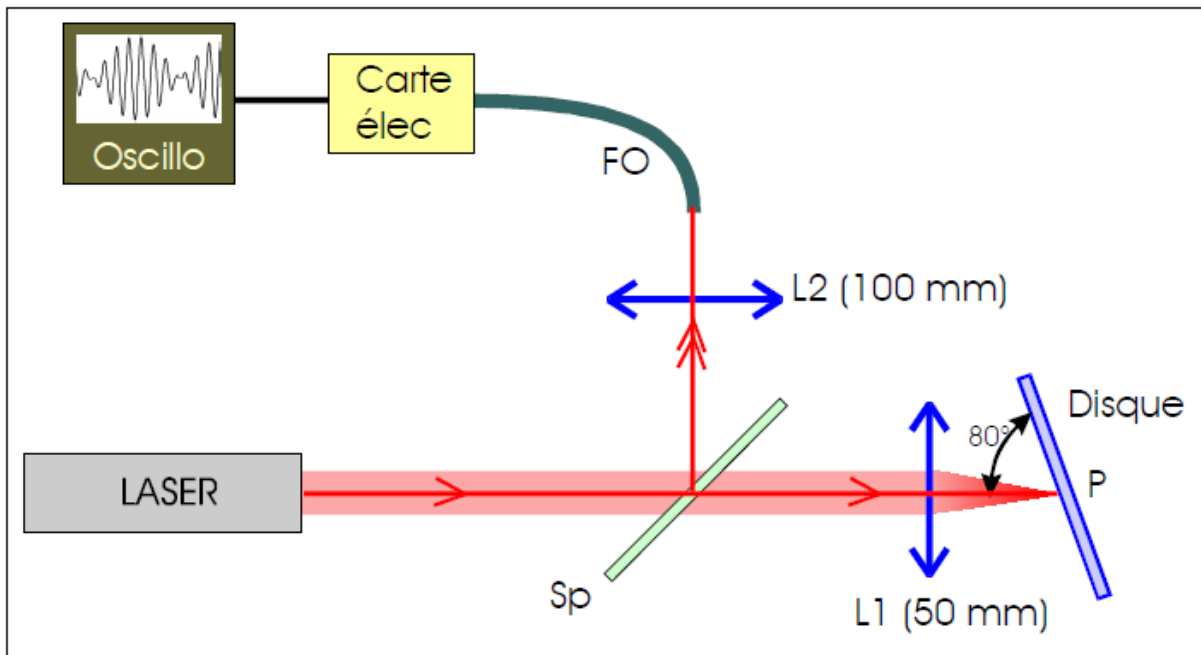


Figure 3 : Montage de self-mixing

4. Interprétation et exploitation

Nous allons calculer la vitesse de rotation du disque à partir des mesures de Δf .

Pour cela, nous allons commencer par relier le Δf 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/λ . 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 Δf 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 Montage Mesures	____ / 4	____ / 1
3.3	Montage de rétro-injection Montage Mesures	____ / 3	____ / 1
4	Vitesse Expression de Δf Calcul de u et V Calcul de N Cas où $\theta = 100^\circ$		____ / 1 ____ / 2 ____ / 2 ____ / 1

TOTAL : _____ / 20