



BLAISE PASCAL
PT 2022-2023





DM 16 – à rendre lundi 27 mars

Interférences

Travailler avec vos cours et TD ouverts est **chaudement recommandé** : un DM est un entraînement, pas une évaluation. En cas de besoin, **n'hésitez pas à me poser des questions**, à la fin d'un cours, par mail ou via l'ENT.



Flasher ce code pour accéder au corrigé

Ceinture		Travail à réaliser
	Ceinture blanche	Partie I
	Ceinture jaune	Partie I
	Ceinture rouge	Parties I et II (facultative mais recommandée)
	Ceinture noire	Parties I (facultative mais recommandée) et II

I - Gravimétrie interférométrique

Centrale TSI 2021

La gravimétrie consiste en l'étude des variations locales du champ de pesanteur terrestre. Les applications sont très diverses, notamment pour caractériser un aquifère (roche poreuse contenant une nappe phréatique), une cavité, un glacier, etc. Elle a aussi permis de découvrir des cratères d'impacts de météorite anciens rendus invisibles à cause de l'érosion.

Aujourd'hui, les gravimètres procèdent généralement par mesure du temps de chute d'un objet dans le vide : le temps de parcours d'une distance donnée permet d'accéder directement à la valeur de l'accélération de la pesanteur g . L'objet utilisé est généralement un catadioptré, les mesures de distance étant réalisées à l'aide d'un laser dans un interféromètre.

Dans le gravimètre à chute de coin de cube représenté figure 13, la photodiode reçoit deux faisceaux lumineux : l'un est issu directement du laser, l'autre a été réfléchi successivement par le coin de cube en chute libre et par le coin de cube de référence. Ces deux faisceaux interfèrent.

Q 42. Rappeler les conditions pratiques à respecter pour pouvoir obtenir des interférences lumineuses à partir de deux faisceaux.

L'intensité lumineuse reçue par la photodiode est convertie en un signal électrique. Une simulation informatique de la tension détectée est représentée figure 14. Les deux faisceaux lumineux reçus par la photodiode sont supposés avoir la même intensité I_0 . On rappelle la formule de Fresnel

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\varphi)$$

donnant l'intensité lumineuse I en fonction des intensités I_1 et I_2 des deux ondes qui interfèrent et du déphasage $\Delta\varphi$ entre ces deux ondes.

On admet qu'à une constante près le déphasage a pour expression

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} 2z(t)$$

où λ_0 est la longueur d'onde du laser utilisé et $z(t)$ le déplacement selon la verticale descendante du coin de cube en chute libre.

On fixe $z(0) = 0$ et $\dot{z}(0) = 0$.

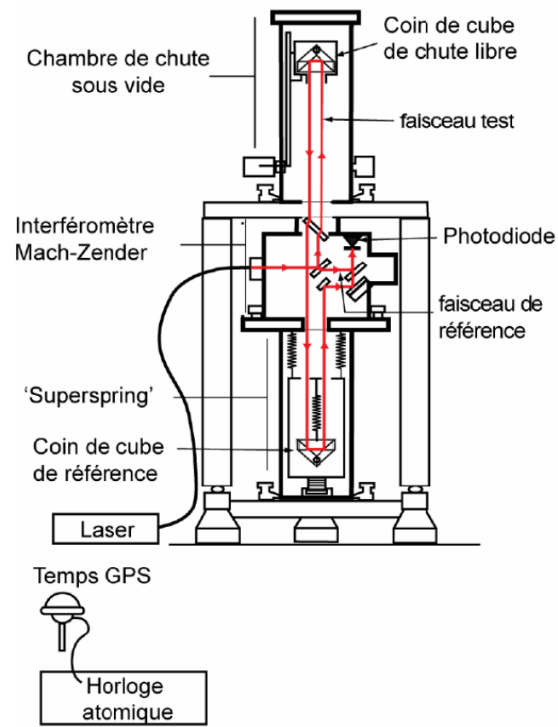


Figure 13 Gravimètre à chute de coin de cube

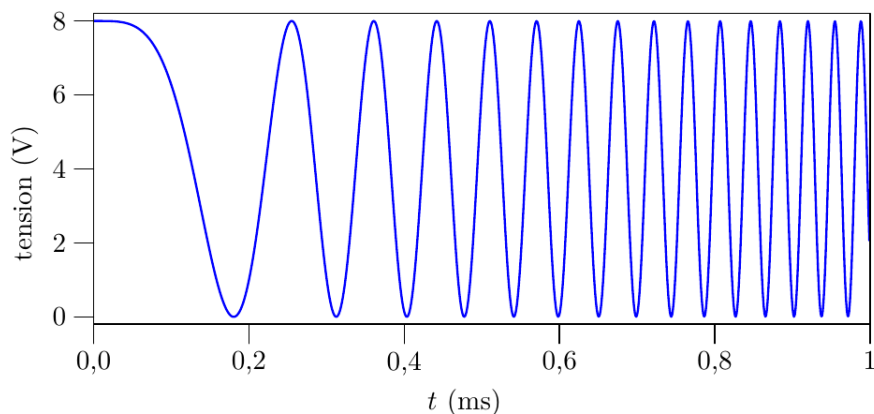


Figure 14 Tension image de l'intensité lumineuse captée par la photodiode

- Q 43. Exprimer la position $z(t)$ du coin de cube à une date t quelconque.
- Q 44. Expliquer qualitativement l'allure de la courbe expérimentale donnant l'intensité au cours du temps.
- Q 45. De combien a varié l'ordre d'interférence entre le début et la fin de l'acquisition ? Justifier. En déduire la valeur de g déduite de la courbe. *Donnée* : $\lambda_0 = 638 \text{ nm}$.

Dans la pratique, il est difficile de connaître avec précision la position et la vitesse du coin de cube à la date $t = 0$. On emploie alors une méthode basée sur la mesure des ordres d'interférence p_1, p_2, p_3 en trois points A, B, C repérés à trois dates successives quelconques, t_1, t_2 et t_3 (figure 15).

On note maintenant $z(0) = z_0$ et $\dot{z}(0) = v_0$.

- Q 46. Exprimer à nouveau $z(t)$ avec ces nouvelles conditions initiales.
- Q 47. En utilisant les expressions de p_1, p_2 et p_3 en fonction des données, établir que

$$g = \lambda_0 \frac{(p_3 - p_1)(t_2 - t_1) - (p_2 - p_1)(t_3 - t_1)}{(t_3 - t_1)(t_2 - t_1)(t_3 - t_2)}.$$

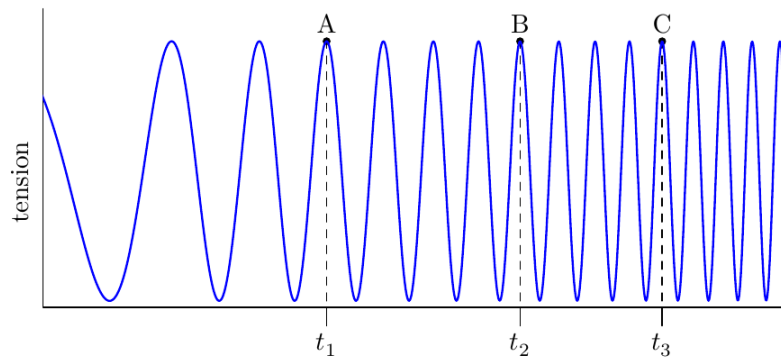


Figure 15 Exploitation de la courbe de tension

II - Vélométrie laser

inspiré oral banque PT

La vélocimétrie laser par clignotement est une technique optique non intrusive de mesure de la vitesse locale d'un écoulement, basée sur la création de franges d'interférences dans une zone de contrôle au sein de l'écoulement, dans lequel sont placées des particules solides réfléchissantes appelées traceurs.

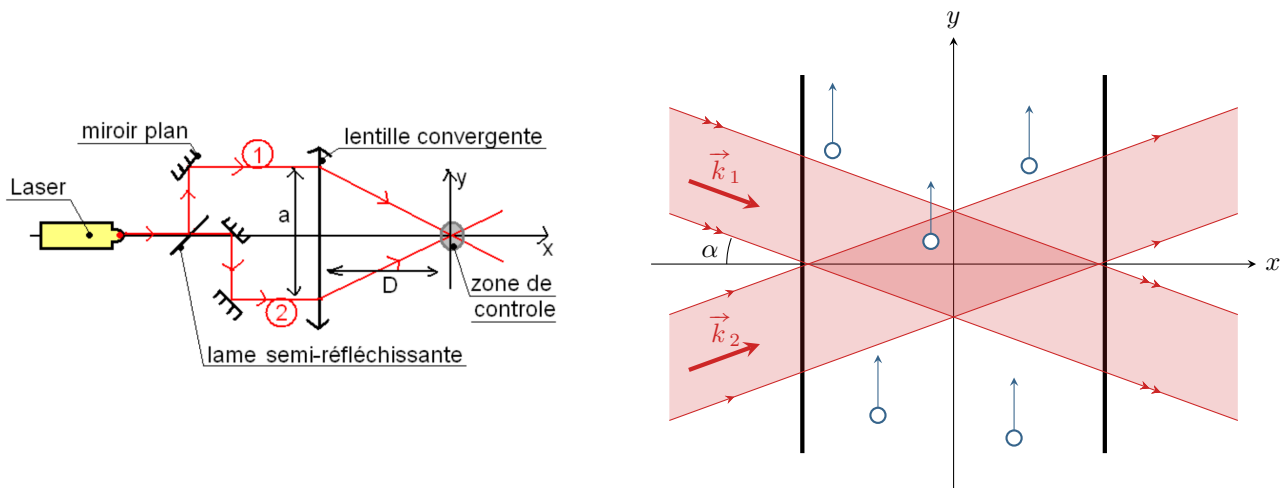


Figure 1 – Dispositif de vélocimétrie laser. La figure de gauche présente une vue d'ensemble du dispositif, la figure de droite un zoom sur la zone de contrôle étudiée. L'écoulement du fluide se fait selon $+\vec{e}_y$.

Pour produire ces franges, un faisceau laser monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 514 \text{ nm}$ est dédoublé en deux faisceaux identiques de diamètre d dont les directions forment un angle $2\alpha = 20^\circ$. Le plan médiateur des deux faisceaux est réglé pour être exactement perpendiculaire à la direction de l'écoulement. L'onde correspondant à chacun des deux faisceaux s'écrit sous la forme

$$s_j(M, t) = S_0 \cos(\omega t - \vec{k}_j \cdot \overrightarrow{OM}) \quad (j = 1 \text{ ou } 2).$$

Dans un premier temps, on suppose l'indice optique du fluide suffisamment proche de 1 pour l'assimiler à l'air.

- 1 - Pourquoi doit-on utiliser un unique laser dont le faisceau est dédoublé, et non pas deux lasers différents ?
- 2 - Calculer l'onde totale $s(M, t)$ au point M en fonction de ses coordonnées x et y et de l'angle α . L'onde est-elle plane ? progressive ? monochromatique ?
- 3 - En déduire l'intensité $I(x, y)$ dans le champ d'interférences. Comment aurait-on pu aboutir directement à ce résultat sans passer par le calcul précédent ?
- 4 - Caractériser les franges : forme, direction, interfrange. Reproduire la figure de l'énoncé et y représenter les franges.
- 5 - La lumière réfléchi par les traceurs présente un clignotement régulier. À quoi est-il dû ? Cette lumière est détectée par une photodiode, qui délivre un signal dont le spectre présente un maximum à la fréquence $f = 2,34 \text{ MHz}$. En déduire la vitesse V de l'écoulement.

Considérons maintenant le cas plus général où l'indice optique du fluide est quelconque : λ_0 est la longueur d'onde *dans l'air*, et α l'angle formé *dans l'air* par les faisceaux dédoublés.

6 - Montrer que l'angle $2\alpha'$ entre les faisceaux *dans le fluide* est tel que

$$\sin \alpha' = \frac{\sin \alpha}{n} .$$

7 - Exprimer la longueur d'onde λ'_0 du laser dans le fluide.

8 - En déduire la nouvelle expression de l'interfrange i' en fonction des caractéristiques α et λ_0 des faisceaux dans le vide. Conclure sur l'influence de l'indice dans l'interprétation de l'expérience.