

Méthodes expérimentales en mécanique des fluides

TD 1 : L'anémométrie à fil chaud

Mesure de vorticité

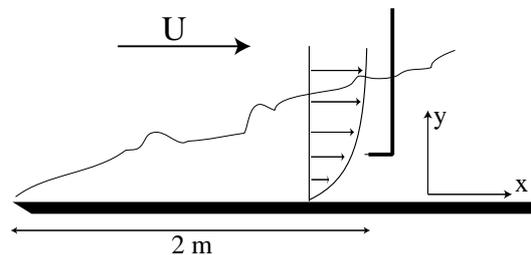


Figure 1: Dispositif expérimental : écoulement de couche limite et anémomètre à fil chaud.

On cherche à caractériser le profil de vitesse et de vorticité dans une couche limite turbulente dans l'air ($\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$). La section d'essai de la soufflerie est de $1 \times 1 \text{ m}^2$, et les mesures sont effectuées à une distance de 2 m en aval du bord d'attaque de la plaque (fig. ??). La vitesse moyenne est de 5 m/s. On dispose d'un fil chaud de $5 \mu\text{m}$ de diamètre, de 1 mm de longueur, asservi à température constante.

1. Estimer le nombre de Reynolds basé sur le diamètre du fil chaud. A quel type d'écoulement s'attend-on autour du fil ?
2. La figure ?? représente la courbe de calibration de l'anémomètre. Les données sont ajustées par la loi de King,

$$E_s = \sqrt{A + B\sqrt{U}}, \quad (1)$$

où E_s est la tension mesurée (en Volts), et U la vitesse. Estimer la valeur de A , ainsi que la sensibilité de l'anémomètre

$$S = \frac{\partial E_s}{\partial U}$$

pour une vitesse moyenne de 5 m/s. Que pensez-vous d'une telle calibration pour des mesures à 30 m/s ? Comment expliquer la mauvaise qualité de l'ajustement pour les faibles valeurs de la vitesse ?

3. Afin de mesurer avec précision les fluctuations turbulentes dans cet écoulement, on doit disposer d'une bonne réponse en fréquence du fil chaud et de son circuit électronique. Si l'on suppose que la plus petite échelle spatiale des fluctuations turbulentes est $\ell_K \simeq 0.5 \text{ mm}$ (échelle de Kolmogorov), à quelle fréquence maximale l'anémomètre devra-t-il être sensible ? Pourquoi le fonctionnement à température constante est-il préférable à celui à courant constant ? Quelle(s) composante(s) des fluctuations de vitesse peut-on mesurer ?
4. On aimerait mesurer les fluctuations de la composante z de la vorticité,

$$\omega_z = \frac{\partial u_x}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial x}.$$

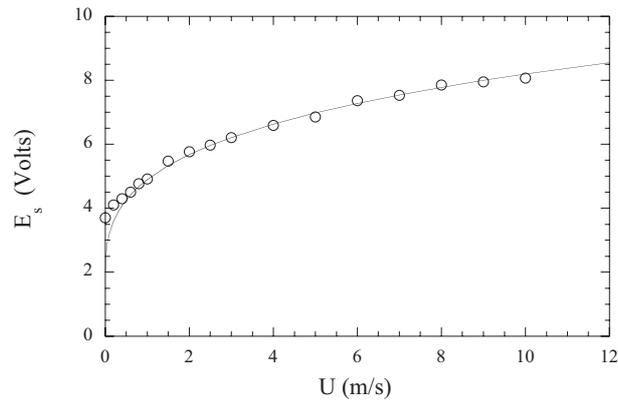


Figure 2: Courbe de calibration de l'anémomètre à fil chaud. La courbe ajuste les mesures expérimentales par la formule ??.

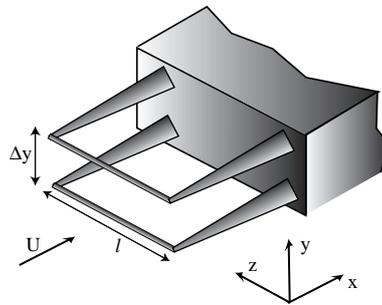


Figure 3: Dispositif à deux fils chauds pour mesurer la vorticité.

Pour cela, on dispose deux fils chauds parallèles entre eux et perpendiculaires au sens de l'écoulement (cf. fig ??). Laquelle des deux contributions à ω_z est mesurable avec un tel dispositif ? (On expliquera comment mesurer cette contribution à partir des tensions mesurées $E_{s1}(t)$ et $E_{s2}(t)$). Comment choisir l'espacement Δy entre les deux fils de façon optimale ?

Méthodes expérimentales en mécanique des fluides

TD 2 : Vélométrie Laser Doppler : le modèle des franges

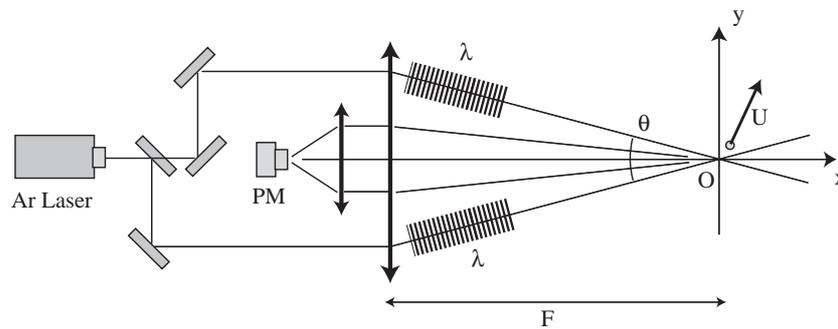


Figure 4: Anémomètre Laser Doppler en rétrodiffusion.

Le modèle des franges est une description alternative du fonctionnement d'un Vélométrie Laser Doppler, ne faisant pas intervenir à proprement parler l'effet Doppler.

On se place à l'intersection en O de deux faisceaux Laser incidents, de vecteurs d'onde \vec{k}_{i1} et \vec{k}_{i2} et de même longueur d'onde $\lambda = 2\pi/|k_{i1,2}|$, faisant un angle θ . Ces faisceaux sont décrits par leur onde électrique incidente,

$$\begin{aligned} \vec{E}_1(\vec{x}, t) &= \vec{E}_{10} \exp[i(\omega t - \vec{k}_{i1} \cdot \vec{x})], \\ \vec{E}_2(\vec{x}, t) &= \vec{E}_{20} \exp[i(\omega t - \vec{k}_{i2} \cdot \vec{x})]. \end{aligned}$$

Les deux faisceaux étant issus de la même source, ils ont même intensité et même polarisation $\vec{E}_{10} = \vec{E}_{20} = E_0 \vec{e}_z$. On suppose que ces faisceaux sont de section circulaire (diamètre w), de profil d'intensité gaussien. Pour les applications numériques, on consultera les données en annexe (fiche technique *Dantec*) concernant le modèle 60X60 ($F = 160$ mm et $\lambda = 514.5$ nm vert).

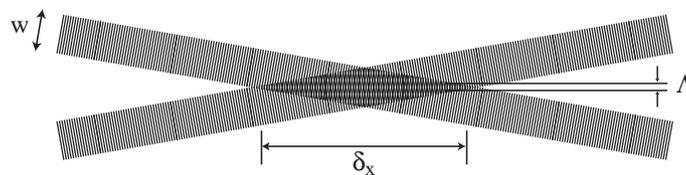


Figure 5: Volume de mesure et motif de franges d'interférences.

- A partir de θ et du diamètre des faisceaux, évaluer la longueur et le diamètre (δ_x, δ_y) du volume de mesure (intersection des faisceaux).
- Calculer l'intensité lumineuse $I(\vec{x})$ au voisinage de O , et montrer que le profil selon Oy peut s'écrire

(pour $|y| \ll \delta_y$) :

$$I(y) = I_{max} \cos^2 \left(\pi \frac{y}{\Lambda} \right).$$

où Λ est la distance entre les franges d'interférence. Tracer l'allure de $I(y)$ en tenant compte de la largeur des faisceaux incidents, et évaluer le nombre de franges présentes dans le volume de mesure.

- c) On considère le passage d'une particule diffusante, de diamètre $d_p \ll \Lambda$ et de vitesse $\vec{U} = (u_x, u_y, 0)$ dans le volume de mesure. On collecte la lumière diffusée par la particule au moyen d'un photomultiplicateur disposé selon l'axe Ox (retro-diffusion). Tracer l'allure du signal lumineux $I(t)$ reçu, et montrer que la fréquence de ce signal coïncide avec celle obtenue en considérant le décalage Doppler.
- d) Quelle est la densité optimale de particule ? Onensemence l'écoulement au moyen de gouttelettes d'huile de silicone ($d_p \simeq 2.6 \mu\text{m}$). Que pensez-vous du signal reçu ? Quelle distance focale choisir pour améliorer la qualité de ce signal ? Des particules beaucoup plus petites conviendraient-elles ?

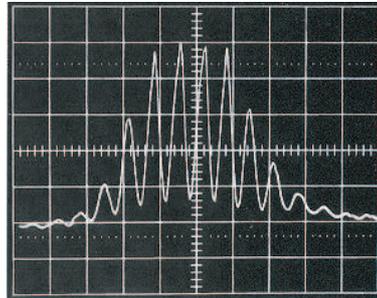


Figure 6: Tension en sortie du photomultiplicateur (1 V/div et 1 $\mu\text{s}/\text{div}$).

- e) On recueille en sortie du photomultiplicateur le signal électrique montré en figure 3. Calculer la composante u_y de la vitesse. La particule est-elle passée au centre du volume de contrôle ?
- f) Afin de mesurer automatiquement la vitesse à partir de ce signal électrique, on opère un filtrage passe-haut suivi d'un système de comptage des passages à zéro du signal. Quelle fréquence de coupure du filtre choisir ? Tracer l'allure du signal filtré obtenu.