

Étude d'un écoulement d'eau par déflexion d'un microlevier

Julien SALORT

29 mai - 23 juillet 2005

1 Introduction

- Principe de l'anémométrie par déflexion d'un microlevier
- Utilisation du détecteur
- Détecteur tout-en-un

1 Introduction

- Principe de l'anémométrie par déflexion d'un microlevier
- Utilisation du détecteur
- Détecteur tout-en-un

2 Mesures préliminaires dans l'air

- Montage sur table d'optique
- Comparaison avec le fil chaud
- Étude de l'écoulement de l'air autour d'un cylindre
- Statistique d'un écoulement turbulent réalisé avec le LCA

1 Introduction

- Principe de l'anémométrie par déflexion d'un microlevier
- Utilisation du détecteur
- Détecteur tout-en-un

2 Mesures préliminaires dans l'air

- Montage sur table d'optique
- Comparaison avec le fil chaud
- Étude de l'écoulement de l'air autour d'un cylindre
- Statistique d'un écoulement turbulent réalisé avec le LCA

3 Mesures dans l'eau

- Montage
- Utilisation du détecteur
- Corrosion du microlevier dans l'eau
- Calcul du nombre de Strouhal
- Étude de l'écoulement dans le réservoir
- Comparaison avec le film chaud

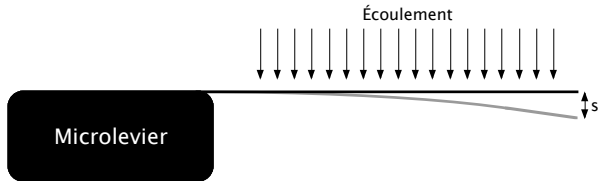


Figure: Schéma du microlevier

① $s \propto F$ (id. microscope à force atomique)

① $s \propto F$ (id. microscope à force atomique)

② $F = \frac{1}{2} \times \rho \times c_d \times l \times w \times v^2$

① $s \propto F$ (id. microscope à force atomique)

② $F = \frac{1}{2} \times \rho \times c_d \times l \times w \times v^2$

③ $\Rightarrow s \propto v^2$

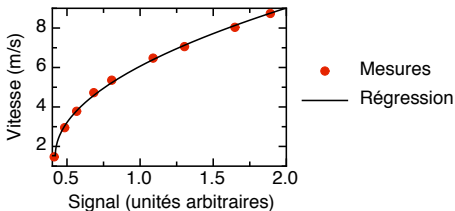


Figure: Fonction de calibration du LCA obtenue dans l'air par calcul de fréquence (hypothèse nombre de Strouhal constant)

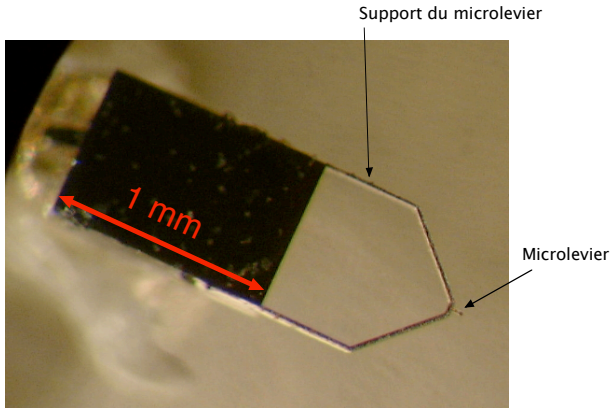


Figure: Photo d'un microlevier de 60x20 microns

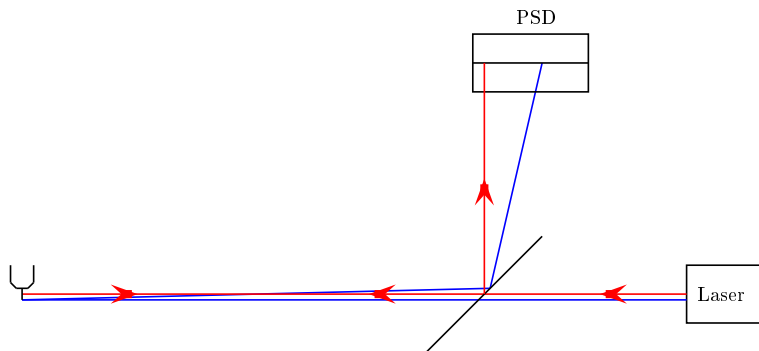


Figure: Schéma du montage optique

Introduction

Mesures préliminaires dans l'air
Mesures dans l'eau

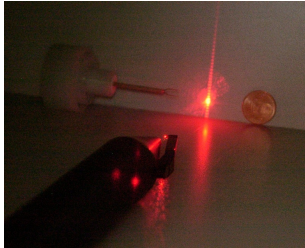
Principe de l'anémométrie par déflexion d'un microlevier

Utilisation du détecteur

Détecteur tout-en-un



Figure: Figure de diffraction du microlevier



(a) Figure de diffraction



(b) Alignement du spot

Figure: LCA tout-en-un et submersible (photos de Stephan Barth)

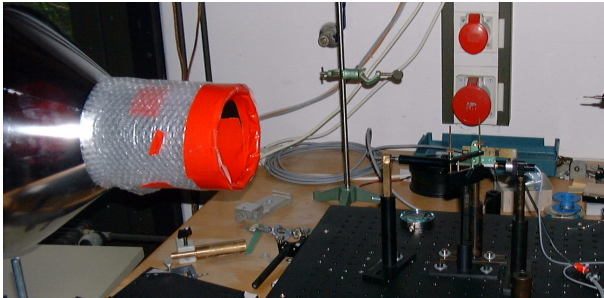


Figure: Montage simple sur table d'optique

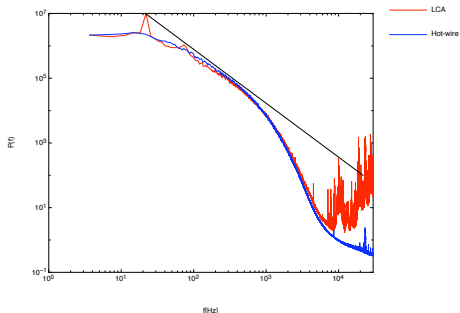


Figure: Comparaison du spectre de puissance d'un écoulement turbulent obtenu par le LCA et par le fil chaud dans l'air (table optique)

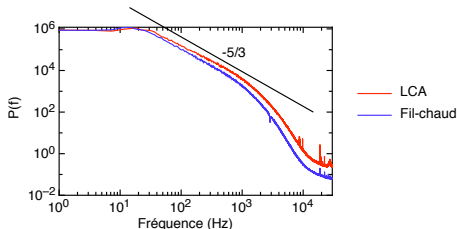


Figure: Comparaison du spectre de puissance d'un écoulement turbulent obtenu par le LCA et par le fil chaud dans l'air (tout-en-un)

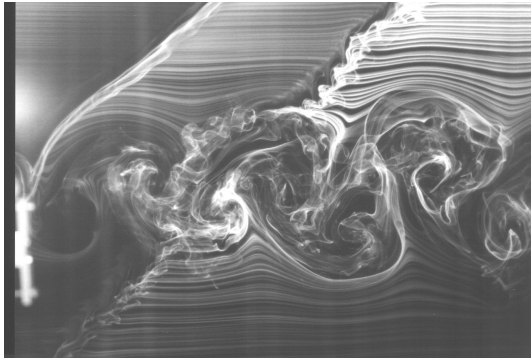


Figure: Photo de l'écoulement autour d'un cylindre obtenu par un fil chaud recouvert d'huile (Diploma Thesis, Stephan Barth, Oldenburg Universität)

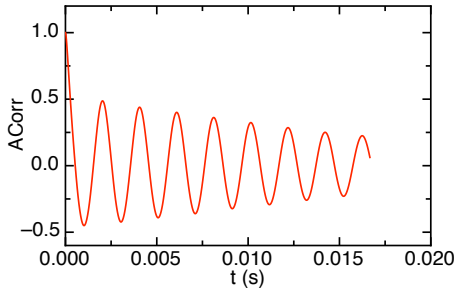


Figure: Fonction d'autocorrélation du signal du LCA obtenu à 1,5 cm d'un cylindre de 3,7 mm de diamètre dans l'air ($Re \simeq 2000$)

① Calcul de la taille typique des tourbillons

- $\bar{u} = 8 \text{ m/s}$
- $T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
- \Rightarrow taille typique des tourbillons : 16 mm

- 1 Calcul de la taille typique des tourbillons
 - $\bar{u} = 8 \text{ m/s}$
 - $T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
 - \Rightarrow taille typique des tourbillons : 16 mm
- 2 Calcul du nombre de Strouhal
 - $St = \frac{f \cdot d}{\bar{u}}$
 - $f = 500 \text{ Hz}$; $d = 3,7 \text{ mm}$
 - $St = 0,2$

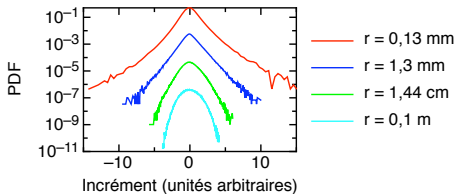


Figure: Fonctions de densité de probabilité de l'incrément de vitesse $\delta u = u(x + r) - u(x)$ dans l'air ($Re = 8500$) obtenues avec le LCA

① Matériel

- Réservoir transparent d'environ 50 cm de diamètre et 80 cm de hauteur
- Buse étudiée pour rendre l'écoulement laminaire
- Gros réservoir de 1000 L pouvant supporter jusqu'à 10 bars, muni d'un dispositif à air comprimé

1 Matériel

- Réservoir transparent d'environ 50 cm de diamètre et 80 cm de hauteur
- Buse étudiée pour rendre l'écoulement laminaire
- Gros réservoir de 1000 L pouvant supporter jusqu'à 10 bars, muni d'un dispositif à air comprimé

2 Problèmes

- Réglage de la pression
- Eau sale
- Fuites dans la robinetterie
- Trou dans la membrane
- Débit du robinet aléatoire
- Bulles

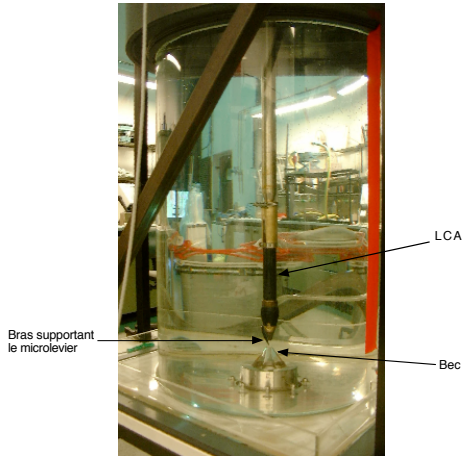


Figure: Étalonnage du détecteur dans l'eau



Figure: Réservoir de 1000 L en réparation

- Alignement des composants dans l'air

- Alignement des composants dans l'air
- Introduction d'un dioptré eau/air

- Alignement des composants dans l'air
- Introduction d'un dioptré eau/air
- Étalonnage dans l'eau

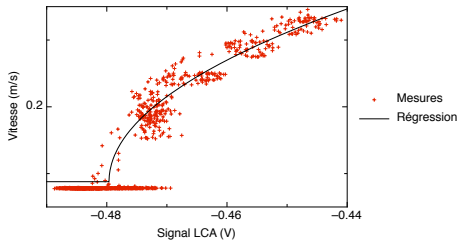


Figure: Étalonnage du LCA dans l'eau (deux séries réduites)

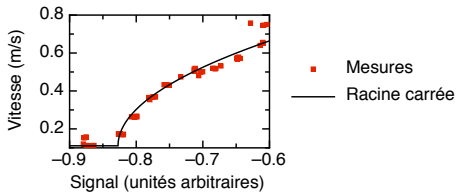


Figure: Étalonnage du LCA dans l'eau (5 valeurs moyennes calculées sur 10 s)

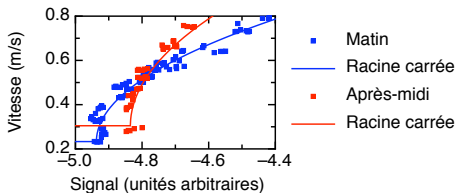
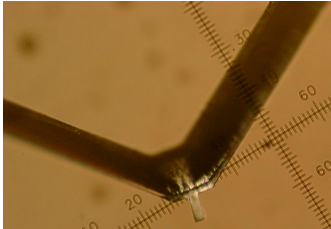
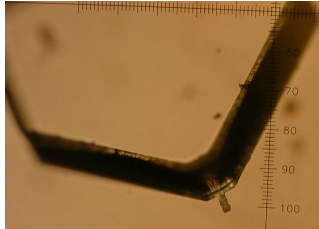


Figure: Évolution de la fonction de calibration du LCA dans l'eau

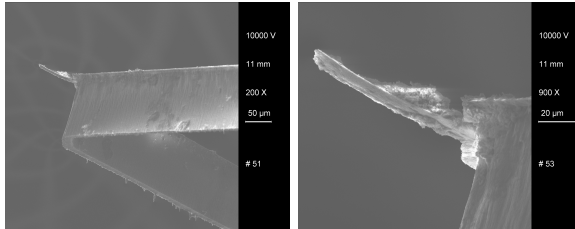


(a) Avant



(b) Après

Figure: Observation du microlevier au microscope optique



(a) Support et microlevier (b) Pointe du microlevier

Figure: Observation du microlevier endommagé au microscope électronique à balayage

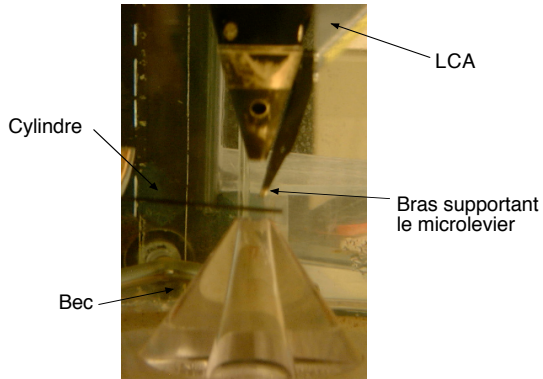


Figure: Cylindre de 1,4 mm de diamètre dans l'eau

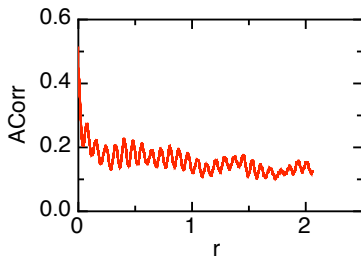


Figure: Fonction d'autocorrélation du signal obtenu dans l'eau après un cylindre de diamètre 1,4 mm avec un écoulement de 0,1 m/s ($Re = 9,3$)

- $f = 12,37$ Hz
- $\bar{u} = 0,1$ m/s
- $d = 1,4$ mm
- $St = \frac{f \cdot d}{\bar{u}} = 0,17$

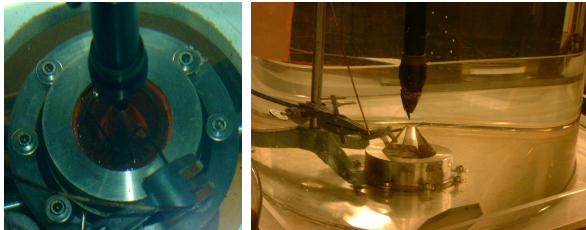
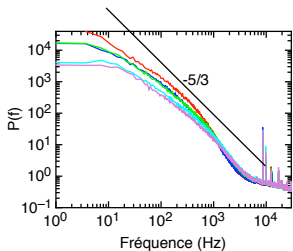
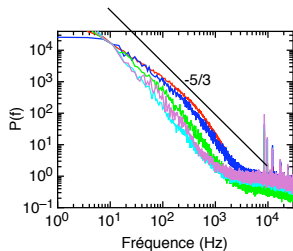


Figure: Fil d'acier de 0,19 mm de diamètre dans l'eau

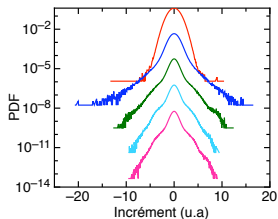


(a) Distance verticale variable

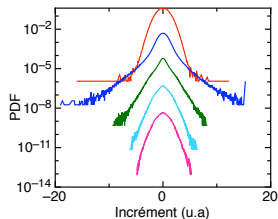


(b) Distance horizontale variable

Figure: Spectre de puissance à différentes distances de la buse



(a) Distance au bec : 35 cm



(b) Distance au bec : 55 cm

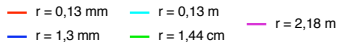
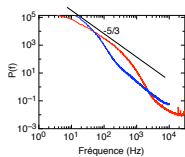
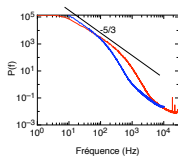


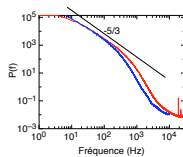
Figure: Fonction de densité de probabilité de l'incrément de vitesse $\delta u = u(x + r) - u(x)$ dans l'eau



(a) Vitesse au niveau du bec : 1 m/s



(b) Vitesse au niveau du bec : 3 m/s



(c) Vitesse au niveau du bec : 6 m/s

— LCA
— Film chaud

Figure: Spectre de puissance obtenu dans l'eau avec le LCA et avec le film chaud