

**Master 2 Dynamique des Fluides et Energétique  
2019-2020**

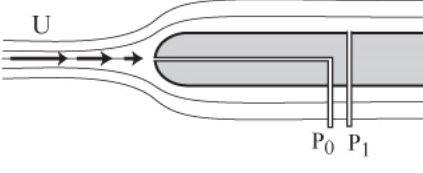
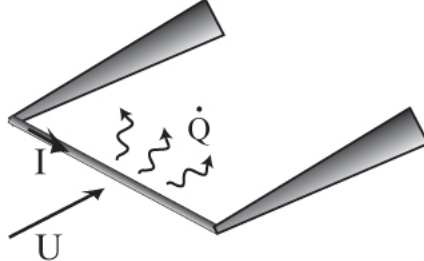
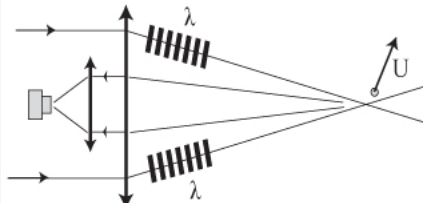
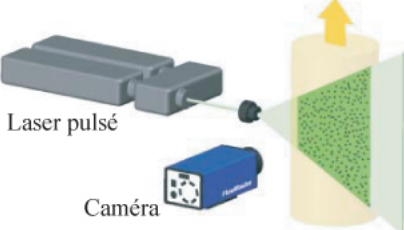
**Techniques Expérimentales Avancées en Mécanique des Fluides**

# **Anémométrie à fil chaud (PIV)**

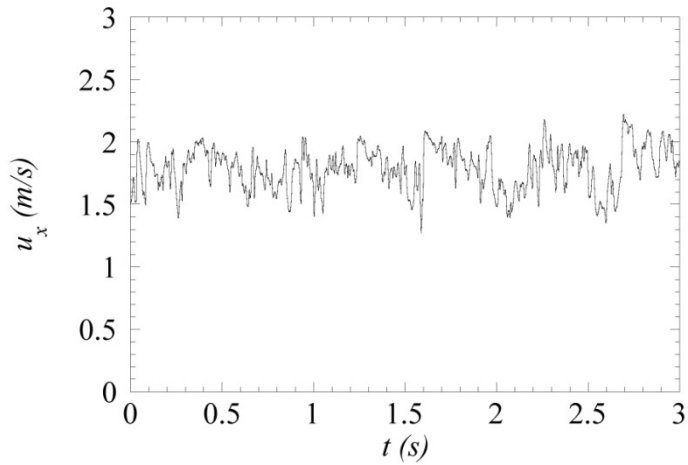
**Frédéric MOISY**

**Université Paris-Sud  
Laboratoire FAST  
Bâtiment 530 – 91405 Orsay**

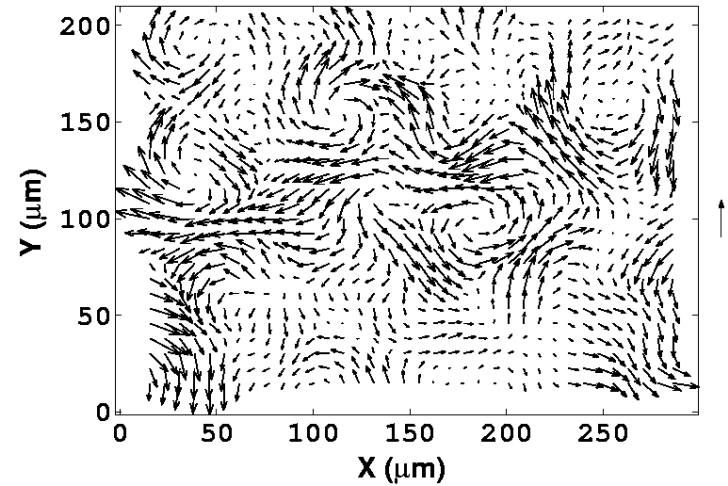
## Les mesures de vitesse

	<b>TUBE DE PITOT</b>	<b>ANEMOMETRE A FIL CHAUD (HOT WIRE ANEMOMETRY)</b>	<b>ANEMOMETRE LASER DOPPLER (LASER DOPPLER VELOCIMETRY, LDV)</b>	<b>VELOCIMETRIE PAR IMAGES DE PARTICULES (PIV)</b>
Schéma				
Principe	Mesure de 2 pressions (statique et dynamique) ? Bernouilli $U = \sqrt{2(P_d - P_s) / \rho}$	Mesure de la puissance $RI^2$ dissipée par un fil chauffé.	Mesure (par interférométrie) du décalage Doppler sur particule diffusante.	Mesure du déplacement de particules entre deux images (méthode de corrélations)
Avantages	Mise en œuvre très simple, bon marché (~ 1 k€) Idéal pour profils de vitesse moyenne	Excellente résolution spatiale et temporelle (idéal pour mesures de fluctuations turbulentes). Mise en œuvre assez simple, coût modéré (~ 10 - 20 k€).	Non intrusif. Calibration linéaire. Très bonne résolution spatiale et temporelle (idéal pour mesures de fluctuations turbulentes). Possibilité mesure plusieurs composantes.	Non intrusif. Champ 2D instantané.
Inconvénients	Très intrusif. Résolution spatiale & temporelle faible.	Intrusif. Fragile Calibration non linéaire Contaminations (fluct° température)	Accès optique (fluide transparent). Nécessite ensemencement. Réglages délicats. Cher (50-100 k€)	Accès optique (fluide transparent). Nécessite ensemencement. Mauvaise résolution temporelle. Cher (70 - 100 k€)

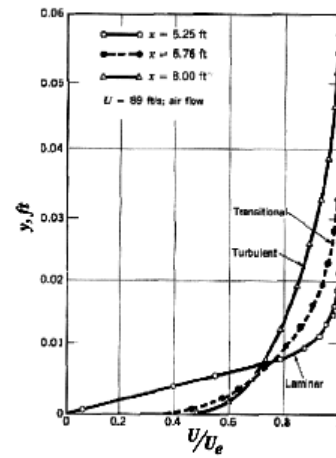
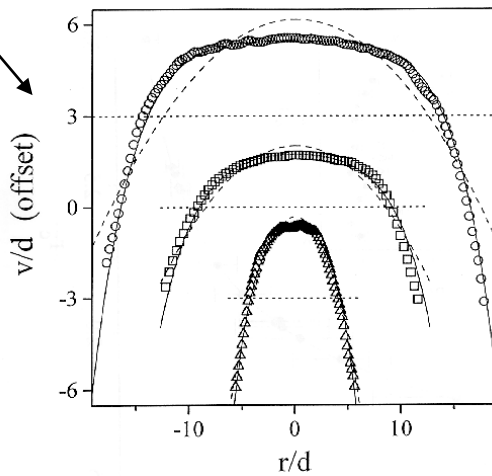
### Instantané en 1 point (HWA, LDV)



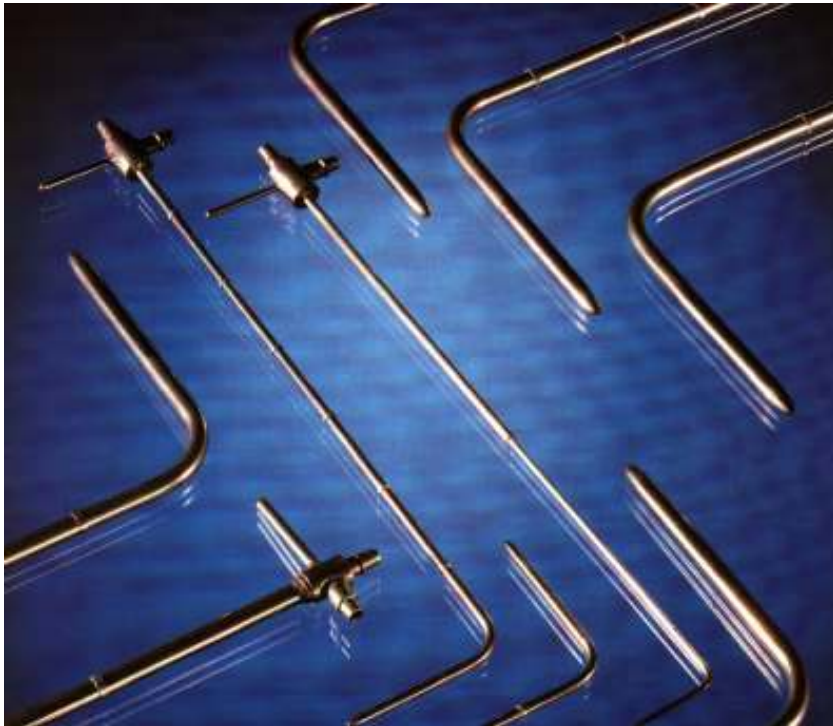
### Instantané 2D (PIV)



### Profils moyens



# I - Tubes de Pitot



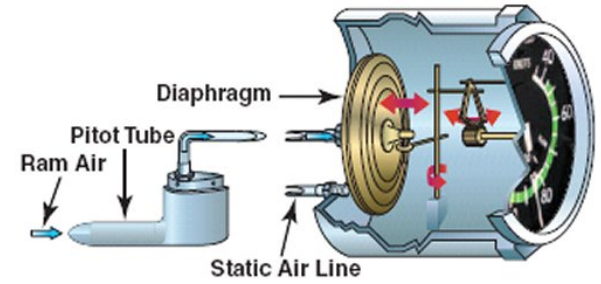
Tests en soufflerie



# Tubes de Pitot pour l'aéronautique

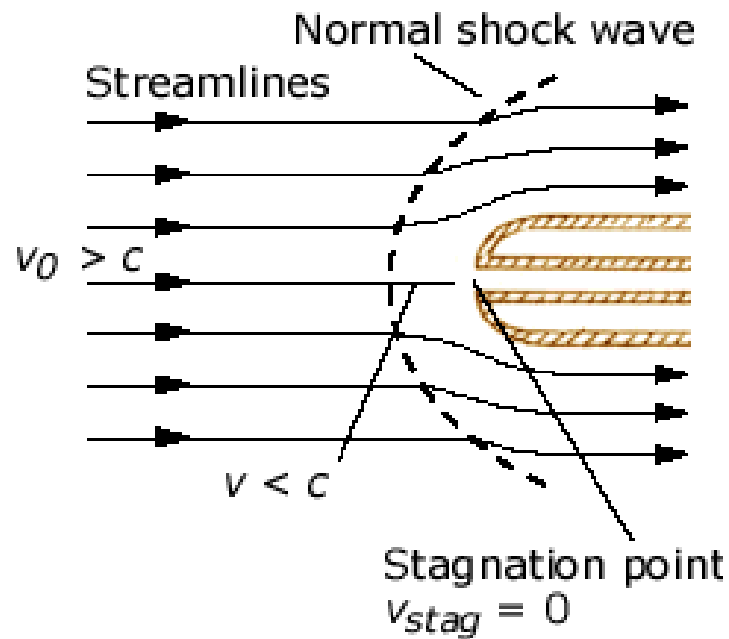


[www.sensors.goodrich.com](http://www.sensors.goodrich.com)





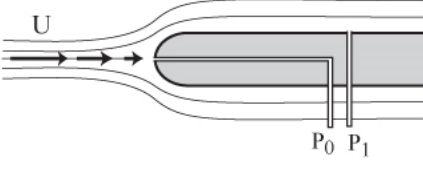
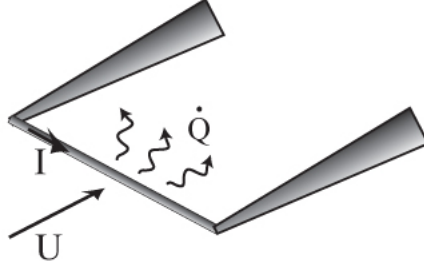
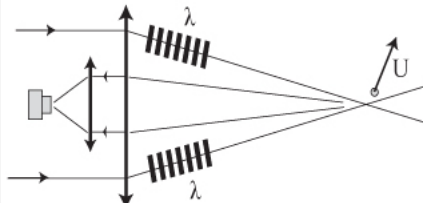
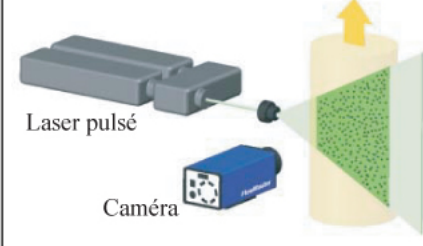
# Tube de Pitot en écoulement supersonique



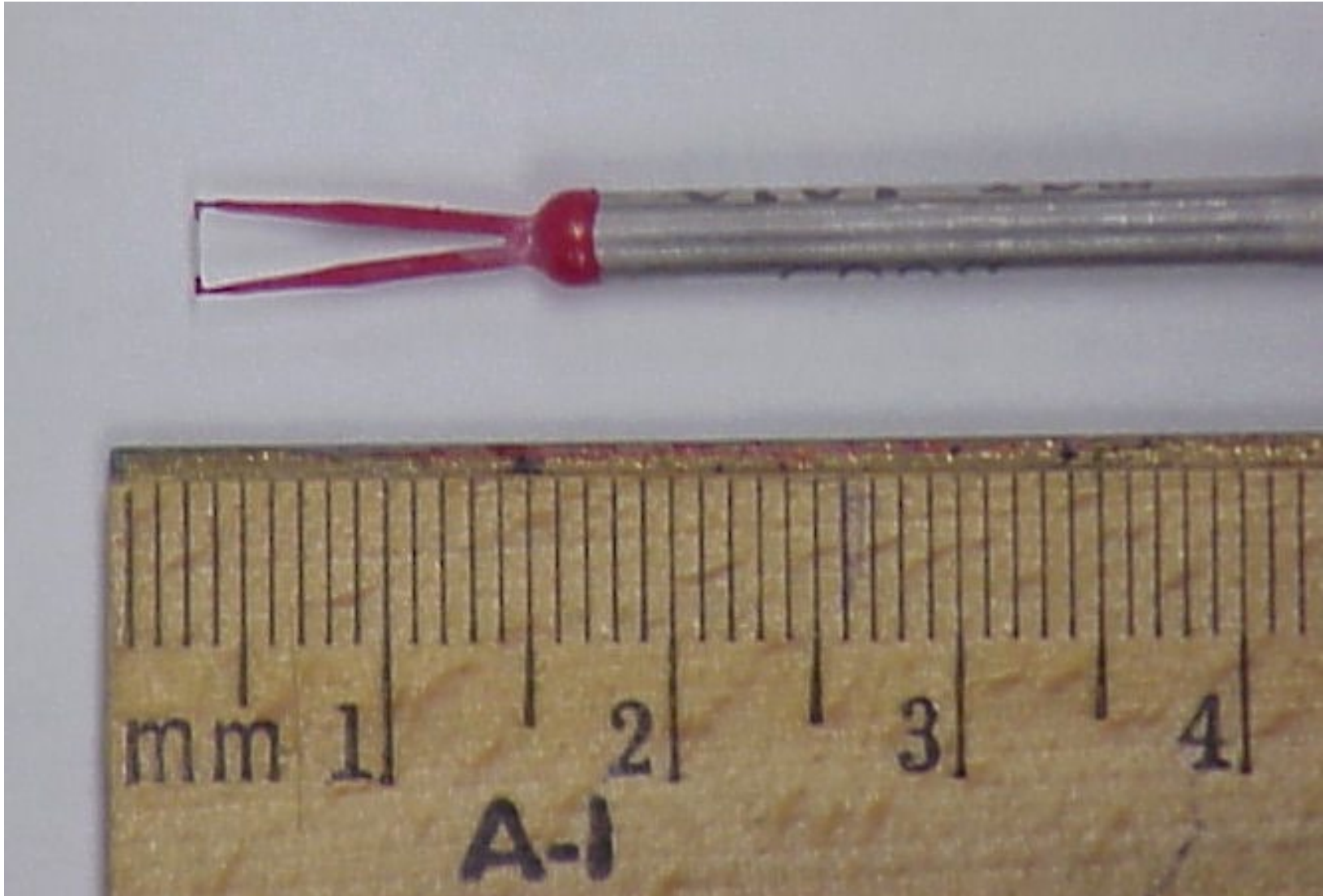
$$v = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p_{static}}{\rho_{static}} \left[ \left( \frac{p_{stagnation}}{p_{static}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]}$$



## Les mesures de vitesse

	<b>TUBE DE PITOT</b>	<b>ANEMOMETRE A FIL CHAUD (HOT WIRE ANEMOMETRY)</b>	<b>ANEMOMETRE LASER DOPPLER (LASER DOPPLER VELOCIMETRY, LDV)</b>	<b>VELOCIMETRIE PAR IMAGES DE PARTICULES (PIV)</b>
Schéma				
Principe	Mesure de 2 pressions (statique et dynamique) ? Bernouilli $U = \sqrt{2(P_d - P_s) / \rho}$	Mesure de la puissance $RI^2$ dissipée par un fil chauffé.	Mesure (par interférométrie) du décalage Doppler sur particule diffusante.	Mesure du déplacement de particules entre deux images (méthode de corrélations)
Avantages	Mise en œuvre très simple, bon marché (~ 1 k€) Idéal pour profils de vitesse moyenne	Excellente résolution spatiale et temporelle (idéal pour mesures de fluctuations turbulentes). Mise en œuvre assez simple, coût modéré (~ 10 - 20 k€).	Non intrusif. Calibration linéaire. Très bonne résolution spatiale et temporelle (idéal pour mesures de fluctuations turbulentes). Possibilité mesure plusieurs composantes.	Non intrusif. Champ 2D instantané.
Inconvénients	Très intrusif. Résolution spatiale & temporelle faible.	Intrusif. Fragile Calibration non linéaire Contaminations (fluct° température)	Accès optique (fluide transparent). Nécessite ensemencement. Réglages délicats. Cher (50-100 k€)	Accès optique (fluide transparent). Nécessite ensemencement. Mauvaise résolution temporelle. Cher (70 - 100 k€)

## II – Anémométrie à fil chaud



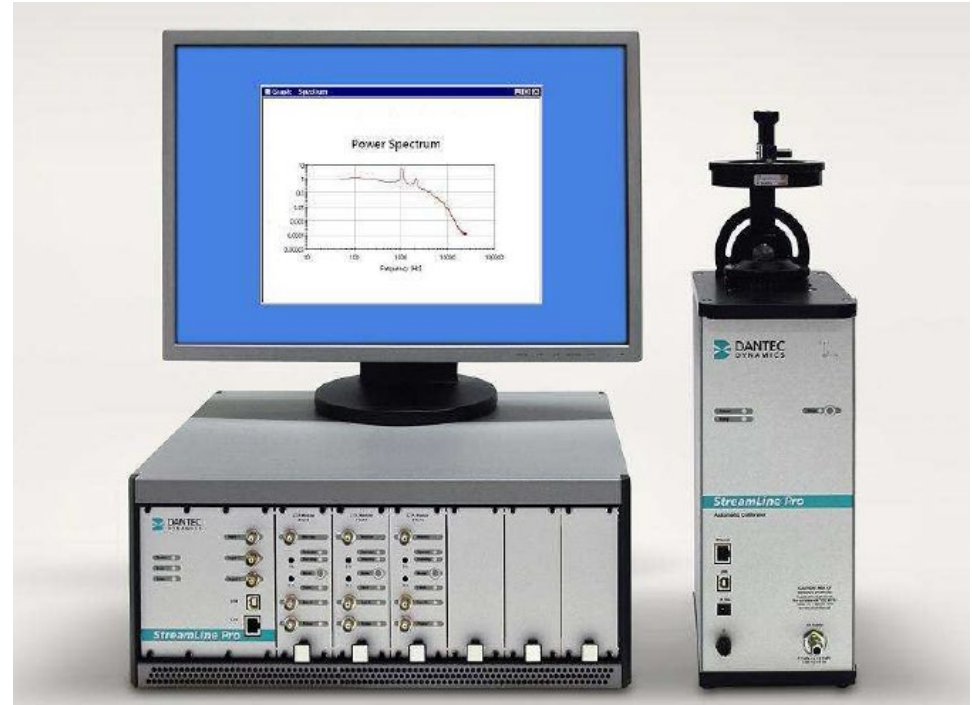
Modèle « de poche »  
(vitesse moyenne)



(Testo)

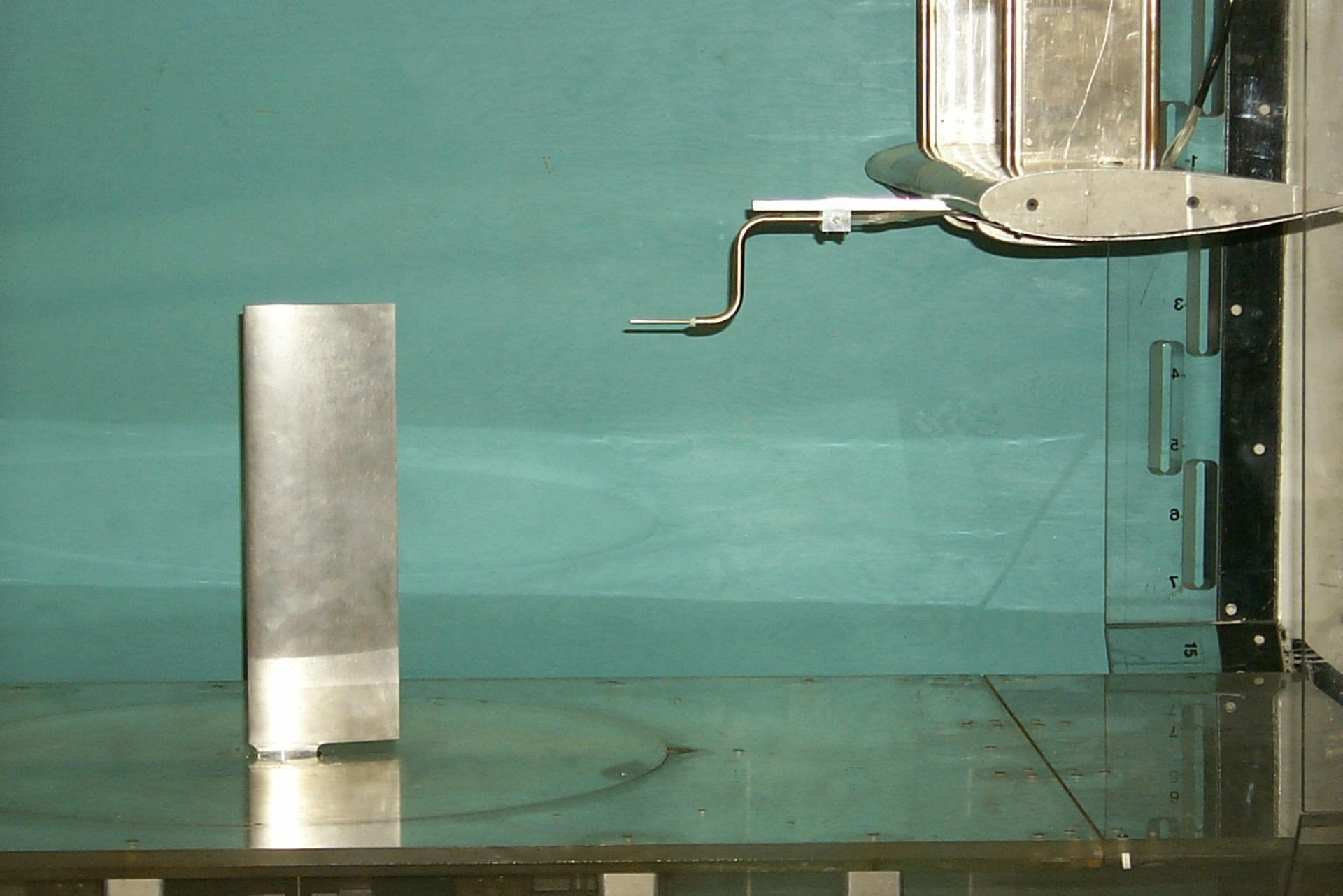
150-400 euros

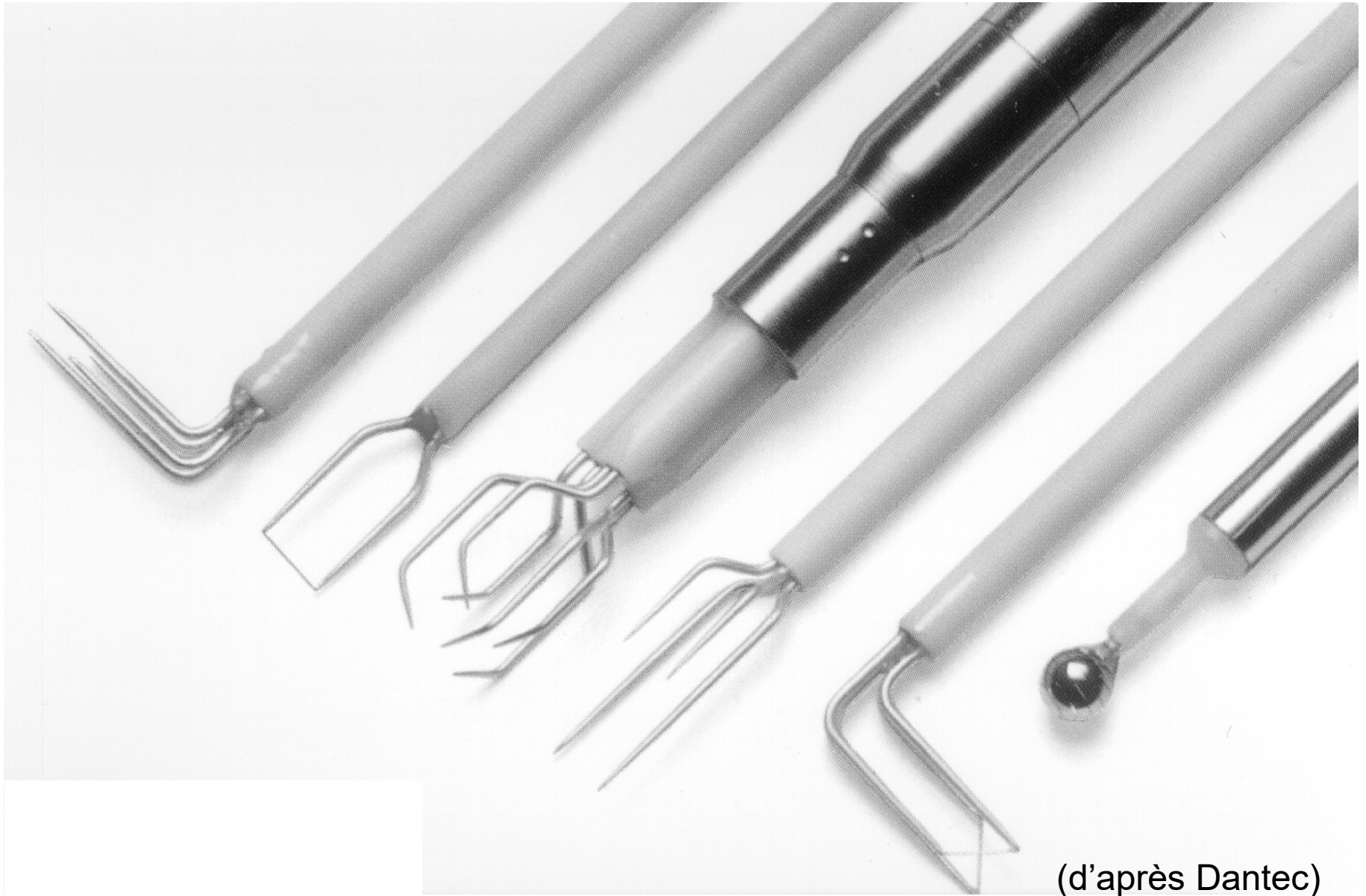
Modèle « laboratoire »  
(vitesse instantanée)



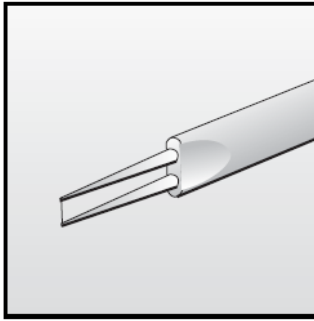
[www.dantecdynamics.com](http://www.dantecdynamics.com)

1000 – 10 000 euros

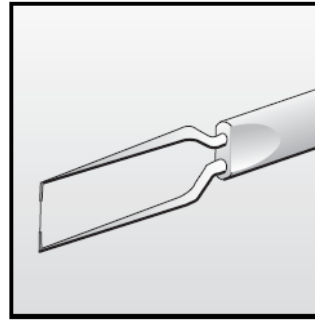




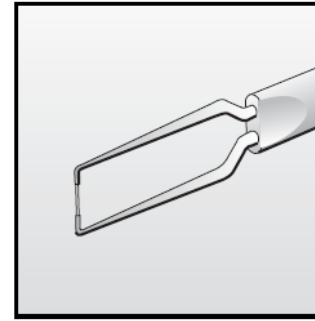
(d'après Dantec)



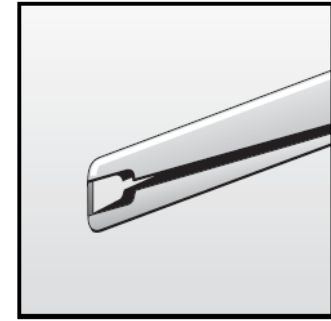
*Fig. 1. 5  $\mu\text{m}$  dia. platinum-plated tungsten wire, welded to the prongs.*



*Fig. 2. 5  $\mu\text{m}$  dia. platinum-plated tungsten wire, gold-plated at the ends to provide active sensor length of 1.25 mm.*



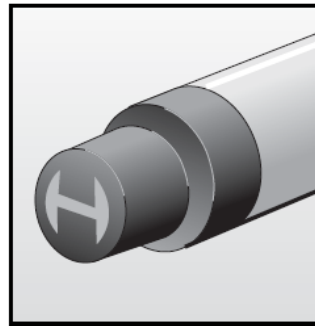
*Fig. 3. 70  $\mu\text{m}$  dia. quartz fiber with nickel film, gold plated at the ends to provide active sensor length of 1.25 mm.*



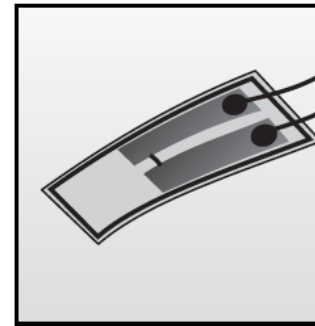
*Fig. 4. Tip of wedge-shaped film probe.*



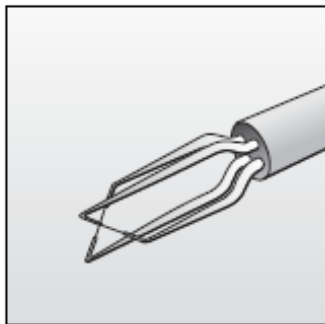
*Fig. 5. Tip of conical probe.*



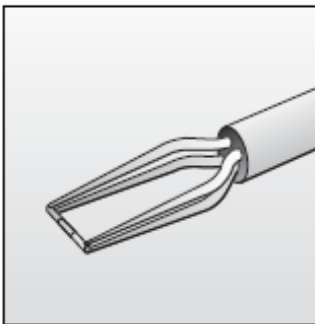
*Fig. 6. Tip of flush-mounting probe.*



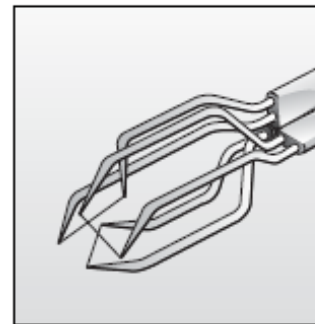
*Fig. 7. Glue-on probe.*



*Fig. 9. Sensor arrangement of X-probe.*

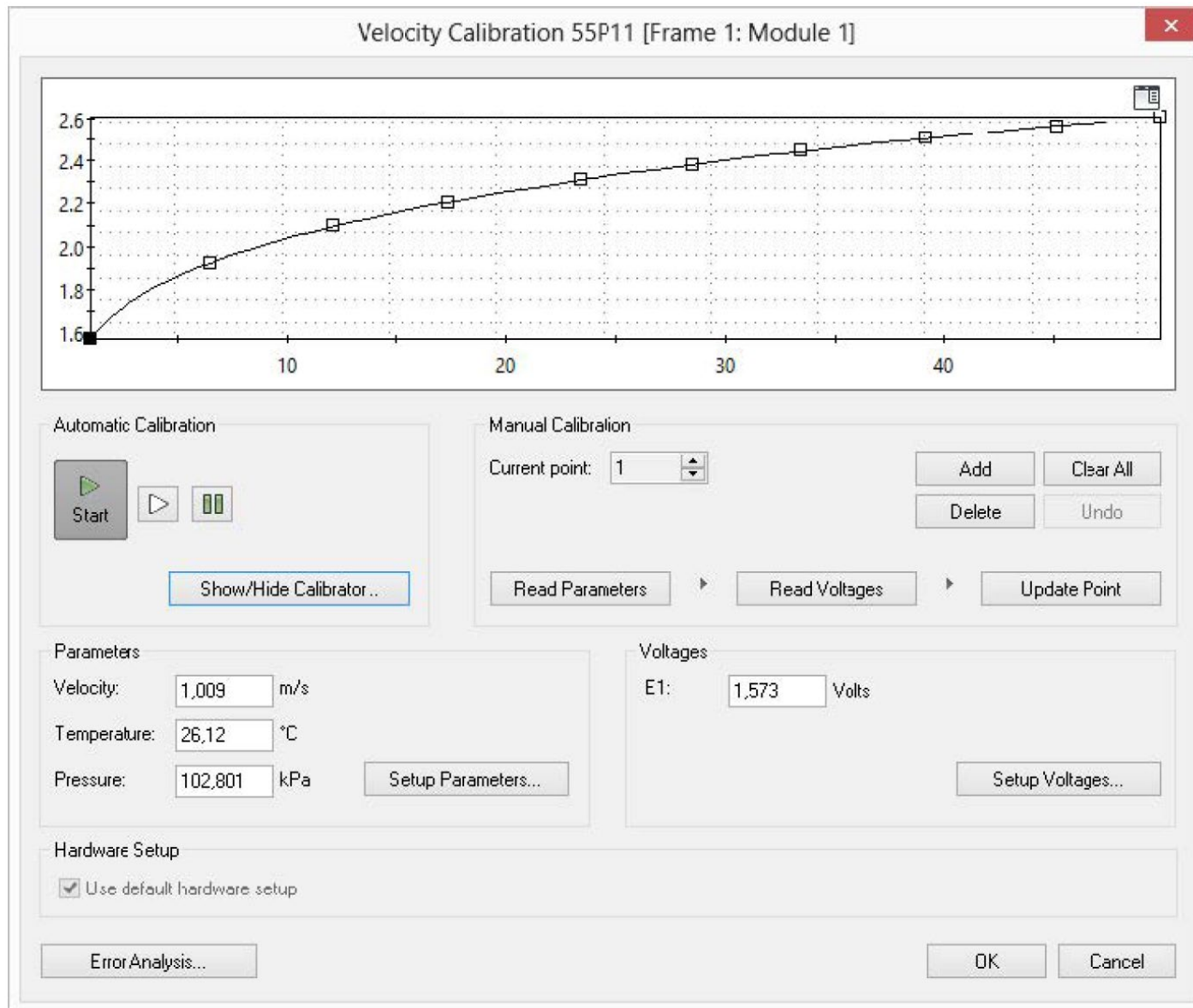


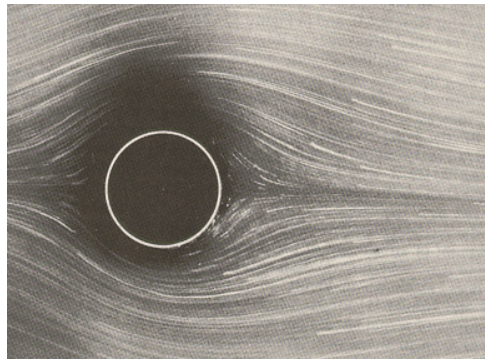
*Fig. 10. Tip of split-fiber probe.*



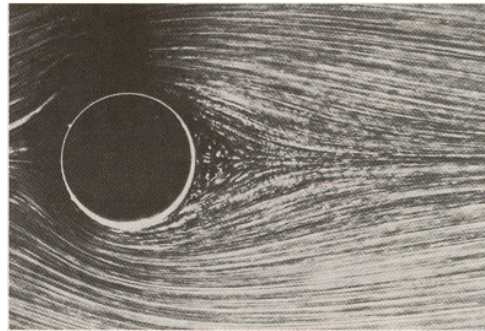
*Fig. 11. Tip of triple-sensor probe.*

# Calibration : loi de King $E(U)^2 = A + B U^{1/2}$

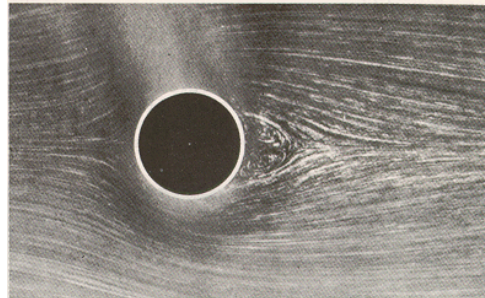




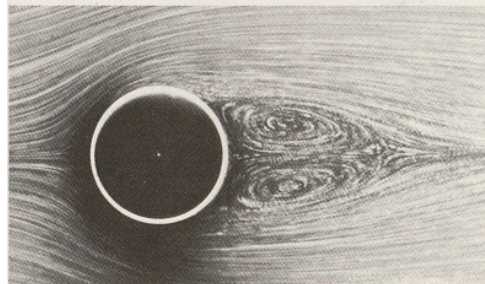
$Re = 1.5$



$Re = 10$



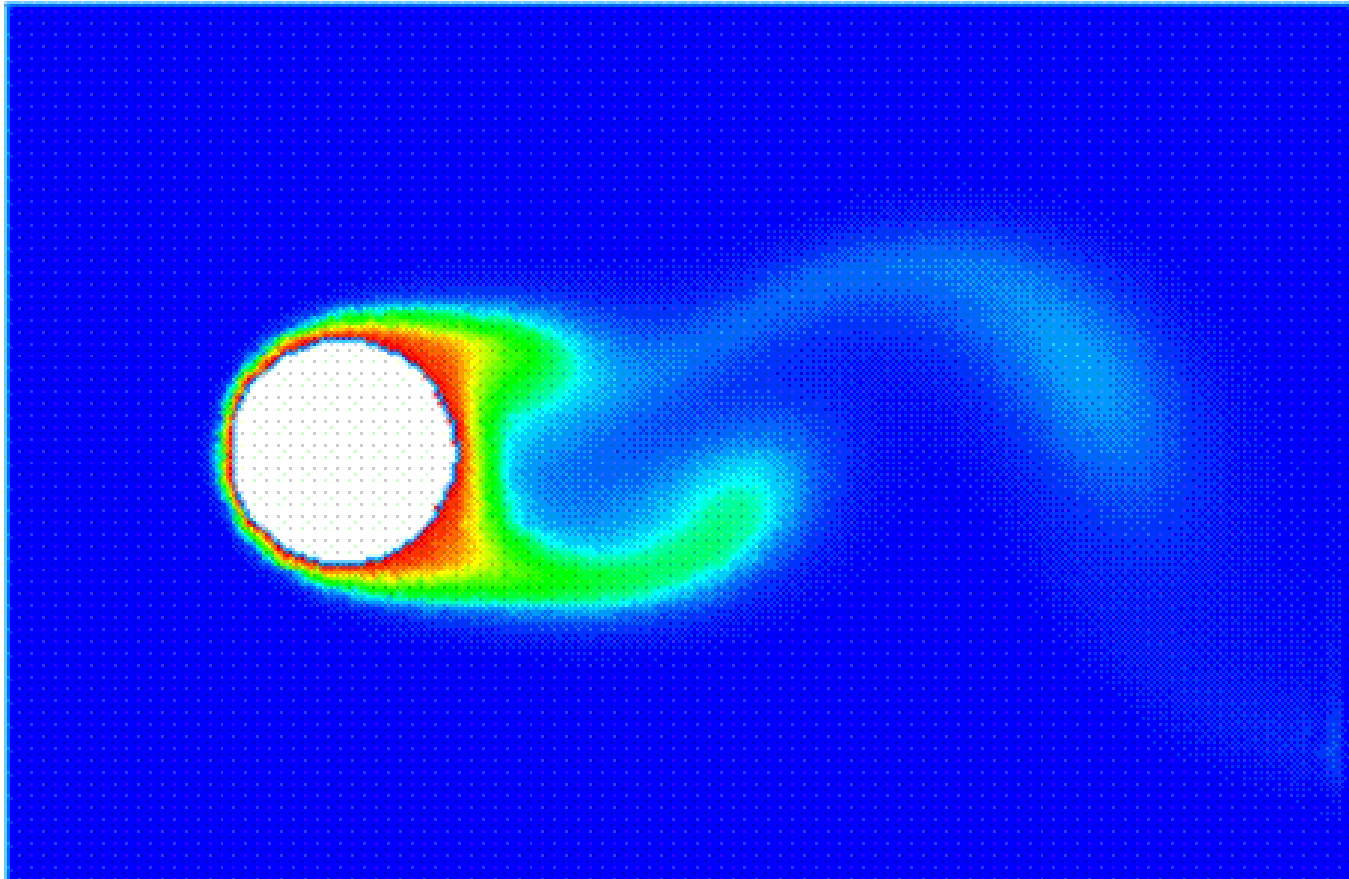
$Re = 13$



$Re = 26$

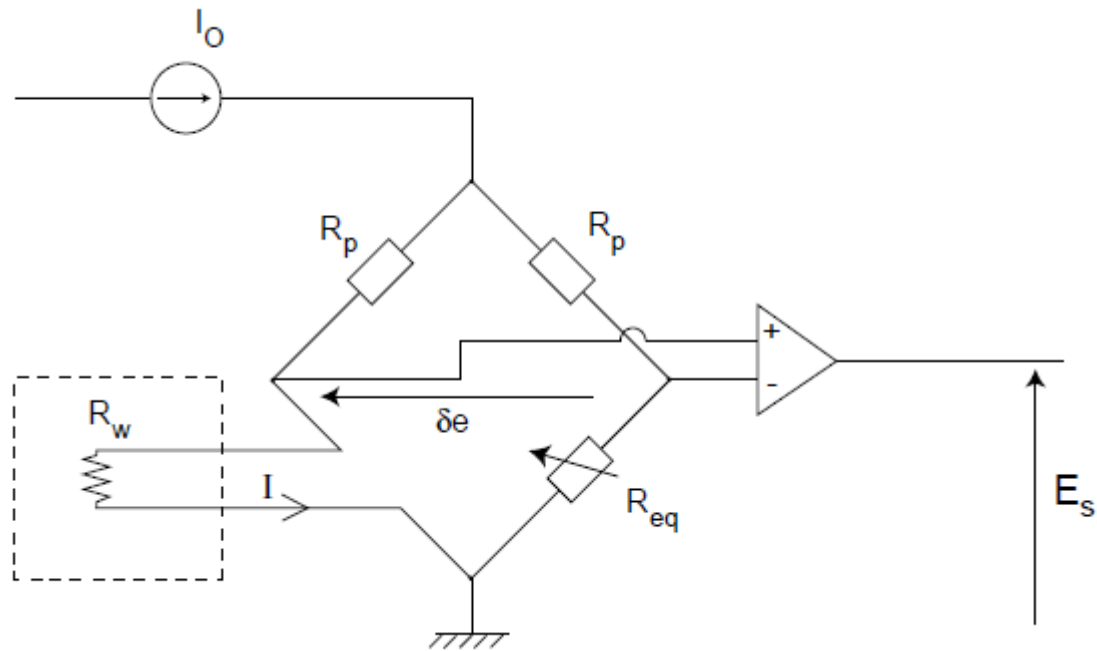


## Champ de température près d'un cylindre chauffé



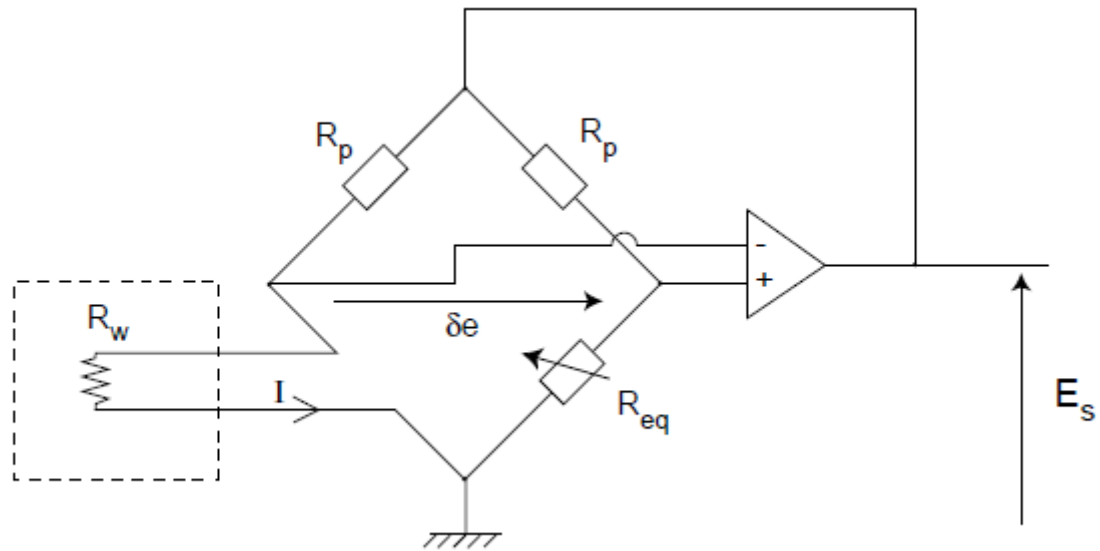
# Asservissement d'un anémomètre à fil chaud

## (1) Circuit à courant constant

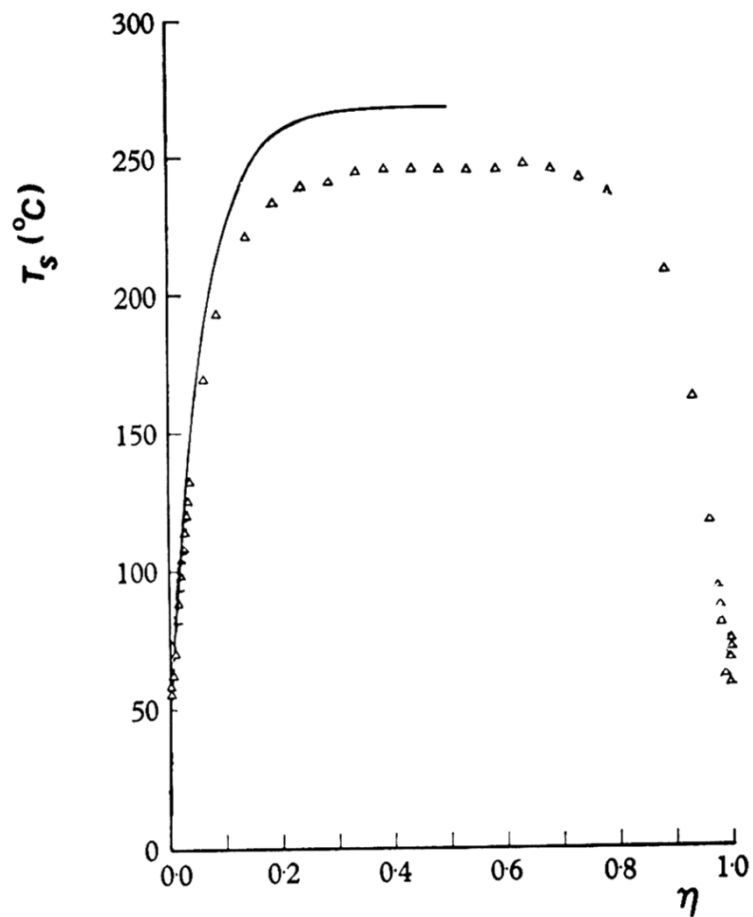
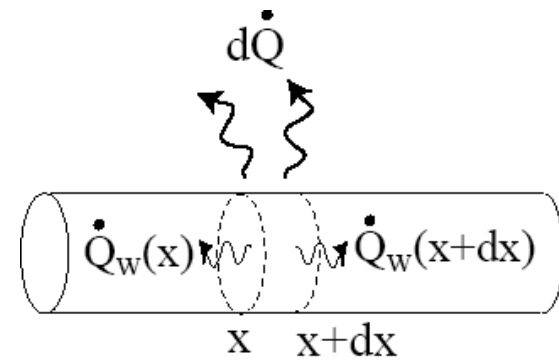


# Asservissement d'un anémomètre à fil chaud

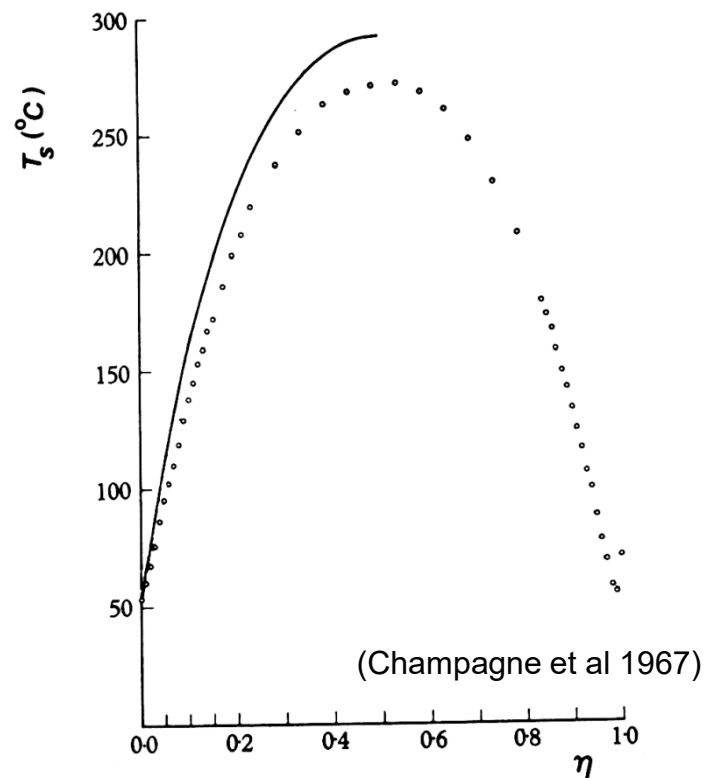
## (2) Circuit à température constante



# Effet de longueur finie : profil de température le long du fil



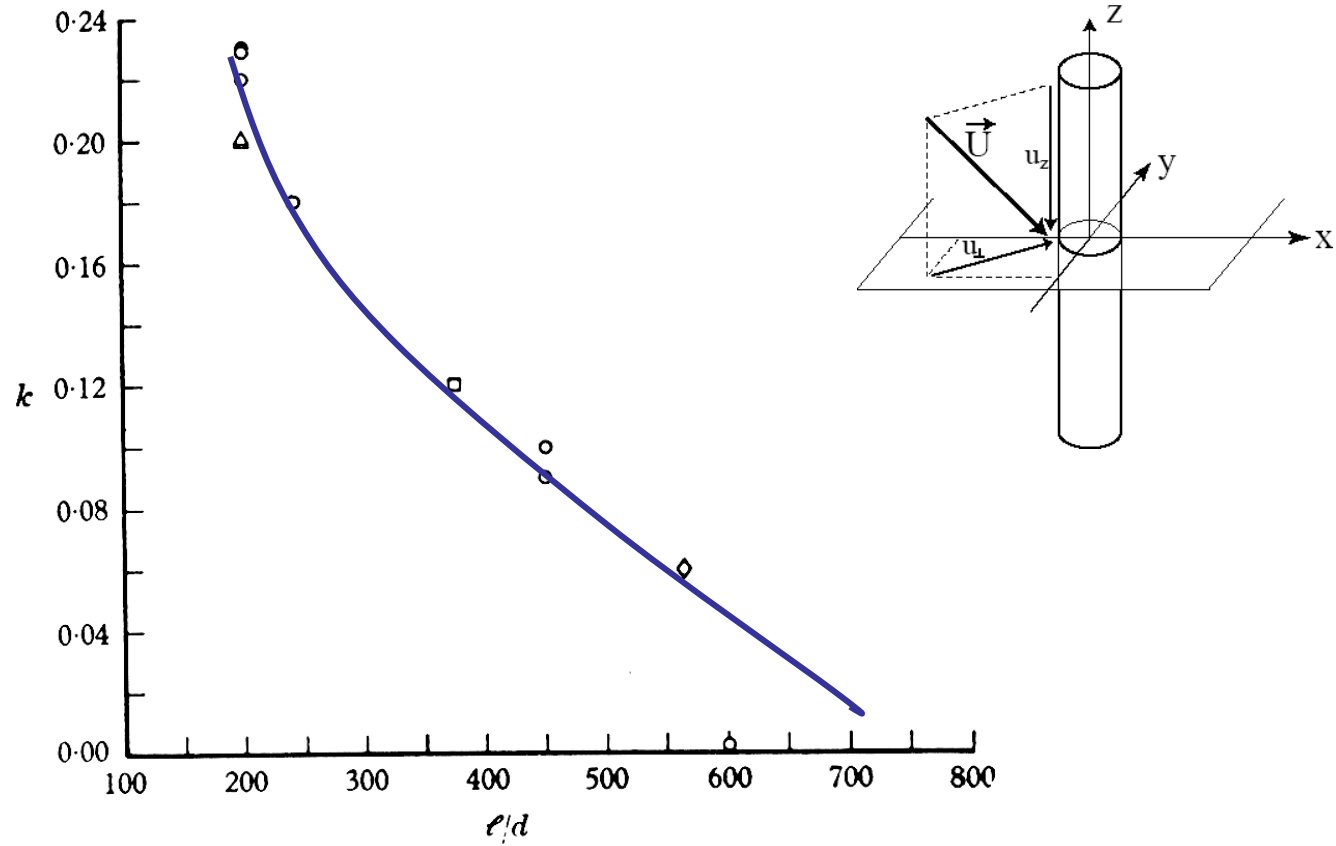
$l/d = 400$

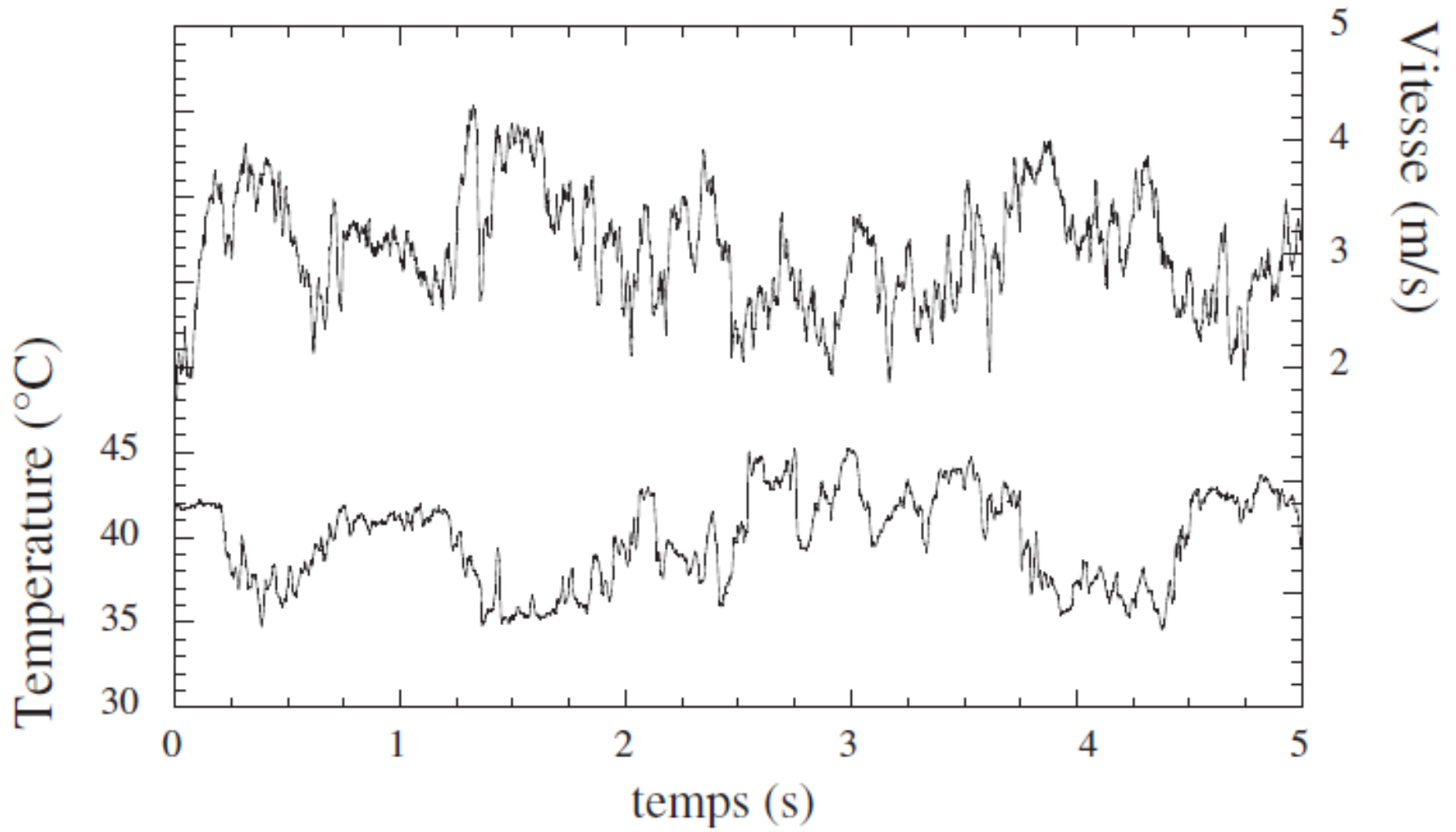


$l/d = 100$

# Facteur de contamination angulaire

(Lomas, p. 24)





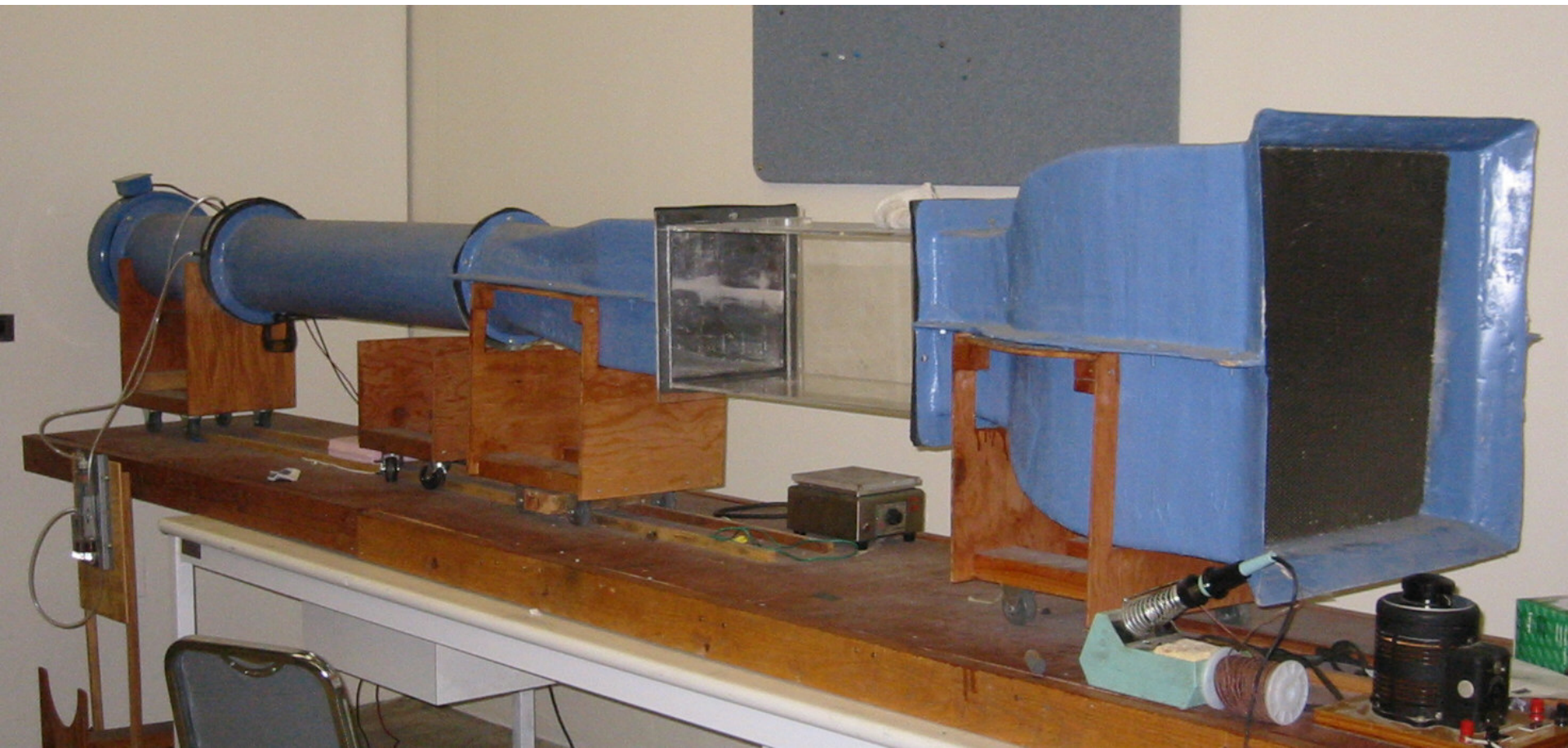




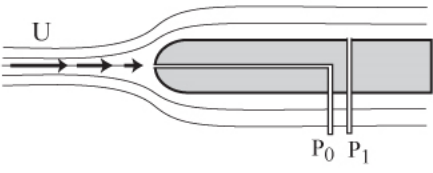
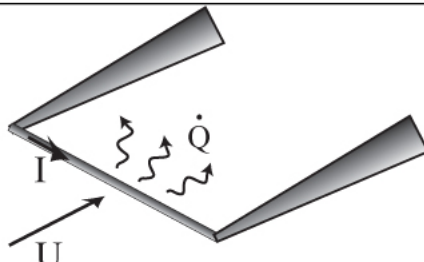
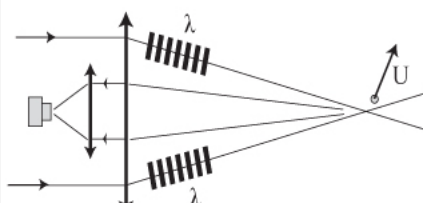
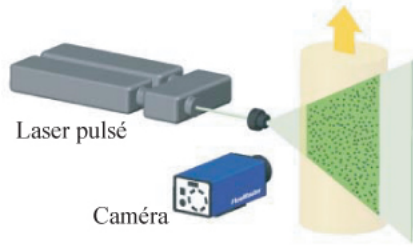
Soufflerie Pininfarina – Ferrari P45







## Les mesures de vitesse

	<b>TUBE DE PITOT</b>	<b>ANEMOMETRE A FIL CHAUD (HOT WIRE ANEMOMETRY)</b>	<b>ANEMOMETRE LASER DOPPLER (LASER DOPPLER VELOCIMETRY, LDV)</b>	<b>VELOCIMETRIE PAR IMAGES DE PARTICULES (PIV)</b>
Schéma				
Principe	Mesure de 2 pressions (statique et dynamique) ? Bernouilli $U = \sqrt{2(P_d - P_s) / \rho}$	Mesure de la puissance $RI^2$ dissipée par un fil chauffé.	Mesure (par interférométrie) du décalage Doppler sur particule diffusante.	Mesure du déplacement de particules entre deux images (méthode de corrélations)
Avantages	Mise en œuvre très simple, bon marché (~ 1 k€) Idéal pour profils de vitesse moyenne	Excellente résolution spatiale et temporelle (idéal pour mesures de fluctuations turbulentes). Mise en œuvre assez simple, coût modéré (~ 10 - 20 k€).	Non intrusif. Calibration linéaire. Très bonne résolution spatiale et temporelle (idéal pour mesures de fluctuations turbulentes). Possibilité mesure plusieurs composantes.	Non intrusif. Champ 2D instantané.
Inconvénients	Très intrusif. Résolution spatiale & temporelle faible.	Intrusif. Fragile Calibration non linéaire Contaminations (fluct° température)	Accès optique (fluide transparent). Nécessite ensemencement. Réglages délicats. Cher (50-100 k€)	Accès optique (fluide transparent). Nécessite ensemencement. Mauvaise résolution temporelle. Cher (70 - 100 k€)