



**HAL**  
open science

## La soufflerie à bas niveau de turbulence

Muriel Lagauzere, Martin Obligado

► **To cite this version:**

Muriel Lagauzere, Martin Obligado. La soufflerie à bas niveau de turbulence. C2i2019 : 8ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, Jan 2019, Talence, France. hal-02065233

**HAL Id: hal-02065233**

**<https://hal.science/hal-02065233>**

Submitted on 14 Mar 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# La soufflerie à bas niveau de turbulence

*Muriel Lagauzère, Martín Obligado*

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LEGI, 38000 Grenoble, France

## 1. Introduction

Le laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels (LEGI) accueille environ 140 personnes dont 60 permanents. Il est spécialisé dans la mécanique des fluides avec une forte approche expérimentale due en partie à ses grands équipements (plateforme Coriolis, canal à houle, tunnel hydrodynamique). La soufflerie Lespnard, du nom de son fondateur, est l'un des grands équipements du LEGI<sup>1</sup>. Elle est utilisée pour étudier les transitions laminaire-turbulent, accueille des personnels en thèse et de nombreux étudiants de l'Université Grenoble Alpes pour des travaux pratiques sur l'étude de la turbulence.

## 2. Descriptif du grand équipement

La soufflerie (Cf Figure 1) est un circuit fermé. Ses dimensions globales sont de 5 mètres de haut, 16 mètres de long et 2.5 mètres de large. La veine d'essais mesure 4 mètres de long. Sa section est carrée (0.75x0.75 m<sup>2</sup>). Le pilotage de deux moteurs tournant à la même vitesse avec des sens de rotation inversés permet à la fois l'insertion d'une grille et d'éviter la turbulence à grande échelle.

Les vitesses peuvent atteindre 45 m/s dans la veine d'essai. La stabilité de l'écoulement, définie comme le rapport entre l'écart type et la moyenne de la vitesse avec la veine d'essai vide, est assurée à 0.2% près. Une chambre de tranquillisation équipée de grilles fines, suivie d'un convergent permet de réduire l'intensité turbulente résiduelle à un niveau très bas (< 0.1%). La soufflerie, construite à l'origine pour faire des recherches sur la transition laminaire-turbulent, est utilisée par plusieurs équipes pour diverses études, dont :

- La diffusion d'un scalaire passif / actif en turbulence de grille.
- La mesure de vorticité en turbulence développée dans le contexte de l'autosimilarité incomplète<sup>2</sup>.
- La concentration préférentielle des particules inertielles dans un écoulement turbulent<sup>3,4,5</sup>.
- La vitesse de chute des gouttelettes d'eau dans un écoulement turbulent<sup>6</sup>.
- Différents aspects de la turbulence fondamentale : turbulence de grille, sillage turbulent, la couche limite, etc...



**Figure 1.** La soufflerie à bas niveau de turbulence

### 3. L'instrumentation associée et le système tridimensionnel de déplacement des sondes

La vitesse dans la soufflerie peut être mesurée grâce à différentes techniques :

- 3.1 : La mesure de vitesse grâce au tube de Pitot : un tube de Pitot (Cf Figure 2) est installé dans le convergent de la soufflerie. Il est associé à un micro manomètre (Cf Figure 3).



Figure 2. Le tube de Pitot



Figure 3. Le micro manomètre

Un tube de Pitot est constitué de deux tubes soudés concentriques dont les orifices, en communication avec le fluide dont on veut mesurer la vitesse, sont disposés de façon particulière. Le tube de Pitot mesure deux pressions. L'une est une pression statique (pression atmosphérique) et l'autre est la pression totale (pression dynamique). La mesure de la vitesse est réalisée en appliquant le théorème de Bernouilli.

Le micromanomètre associé permet de mesures des vitesses allant de moins de 1l/min à 30l/min. La précision est inférieure à  $\pm 0.1\%$  de l'étendue de mesure.

- 3.2 : Le système d'anémométrie à fil chaud avec un ou plusieurs fils :

La mesure de vitesse par anémométrie à fil chaud est utilisée pour les mesures dans des écoulements turbulents avec des fluctuations de vitesses supérieures au kHz. Nous utilisons des anémomètres à température constante que nous positionnons perpendiculairement à la direction de l'écoulement.

L'anémomètre est composé d'un support sur lequel est soudé un fil de quelques  $\mu\text{m}$  qui constitue la partie sensible et d'un système électronique par lequel nous imposons un courant électrique qui va chauffer le fil à une température d'environ  $400^\circ\text{C}$  (Cf Figure 4). L'électronique va permettre d'adapter le courant passant dans le fil afin que la température du fil reste constante lorsque l'anémomètre est soumis à un écoulement. Nous disposons également de sondes et porte sondes doubles pour la mesure simultanée de deux composantes de la vitesse.

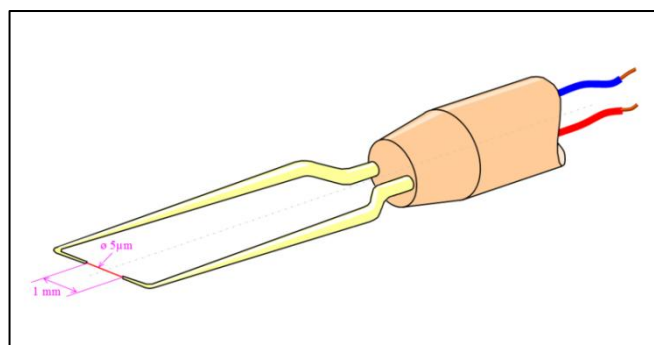


Figure 4. La sonde à fil chaud<sup>7</sup>

Il est nécessaire de mesurer la tension fournie au fil pour conserver sa température constante et d'y associer la vitesse sur le fil à chaque instant. On applique la loi de King qui permet de relier les

deux paramètres par des coefficients  $a$  et  $b$  déterminés de façon expérimentale. On procède à la calibration du fil chaud en utilisant un calibrateur de la vitesse de l'air (Cf Figure 5) qui fournit une vitesse de l'air entre 1 et 70 m/s. On place la sonde à fil chaud en sortie de cette soufflerie et on impose une vitesse connue. La tension du fil chaud est mesurée en sortie du dispositif électronique sur un module d'acquisition. On répète cette opération pour plusieurs valeurs de vitesses en relevant la tension de fil associée. En réalisant ainsi une courbe de calibration, on obtient les paramètres  $a$  et  $b$ . Chaque valeur de tension du fil chaud se verra ainsi associée à une valeur de vitesse dans l'écoulement. Cette calibration est rendue nécessaire de façon quotidienne car la mesure par anémométrie à fil chaud est très sensible aux conditions atmosphériques (température, pression).



**Figure 5.** Calibrateur de la vitesse de l'air

### 3.3 Mesures laser :

La veine d'essai est composée de quatre parois transparentes qui permettent accès optique complet pour faire de la visualisation.

Des mesures pour visualiser la turbulence sont réalisées : capture d'image à haute vitesse avec injection de gouttelettes pour visualiser la turbulence.

Nous utilisons également des lasers pour faire de la PIV : Particle Imaging Velocimetry et du PDI : Phase Doppler Interferometry pour remonter à la taille des gouttes et à la vitesse du fluide.

La zone de la soufflerie est protégée des rayonnements laser par l'installation d'une cabine en cuir qui nous permet d'utiliser le laser en toute sécurité.

### 3.4 Le système 3D de déplacement :

Un système 3D de déplacement des sondes (fil chaud, anémomètres soniques ou à coupelles...) est installé dans la veine d'essai (Cf Figure 6). Il a récemment été calibré pour afficher la position réelle des sondes sur les trois axes. Il est désormais possible d'effectuer ces déplacements grâce à un développement logiciel récent qui permet de piloter les variateurs de vitesses par un module d'acquisition. Le logiciel LabVIEW gère les arrêts de déplacement et synchronise ces arrêts avec le démarrage des acquisitions des vitesses par anémométrie à fil chaud.



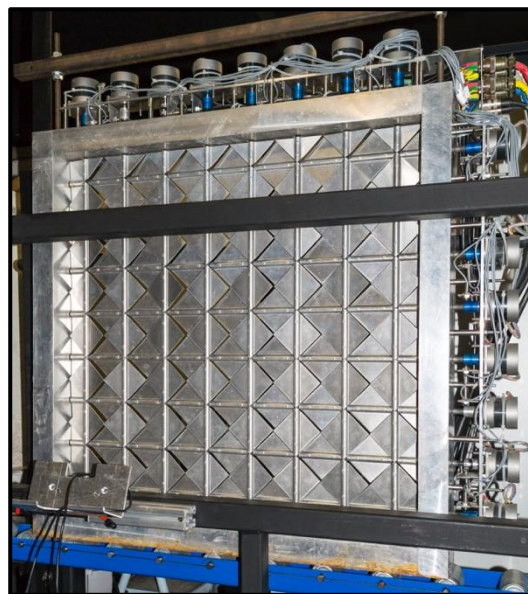
**Figure 6.** Le système 3D de déplacement des sondes

### 3.5 Divers :

- Il est possible d'ajouter entre le convergent et la veine d'essai de la soufflerie un réseau d'injecteurs pour l'injection de gouttelettes. La soufflerie est alors utilisée pour l'étude des écoulements diphasiques.
- Il y a un capteur de forces gamma ATI qui permet mesurer les 3 composantes de la force et le couple associé.
- Une sonde Pitot multi-trou Cobra (by Turbulent Flow Instrumentation Pty Ltd), pour mesurer les 3 composantes de la vitesse avec une résolution temporelle de 600Hz.

## 4. La grille active

La grille active (Cf Figure 7) peut être insérée entre le convergent et la veine d'essai. Elle est constituée de 16 axes (8 horizontaux et 8 verticaux). Chaque axe est piloté de façon indépendante par un variateur relié à un moteur. Ces moteurs permettent de piloter la vitesse et la direction des lames grâce à une interface utilisateur multi langage (anglais, français, espagnol) développé sous LabVIEW au laboratoire.



**Figure 7.** La grille active en position fermée

La grille active permet de générer une turbulence sur mesure : turbulence instationnaire, couche limite atmosphérique ... Grâce au pilotage indépendant de chaque moteur, il est possible de générer plusieurs écoulements inhomogènes et/ou instationnaires. Aussi, la grille est compatible avec des études des écoulements diphasiques.

## CONCLUSION :

La soufflerie est utilisée pour des projets de recherche et d'enseignement depuis sa construction en 1965. Elle a récemment été modifiée (changement des deux turbines contra rotatives en 2013, remplacement de la veine d'essai en 2015, rajout d'un mode de fonctionnement local pour piloter les deux moteurs en même temps par une alimentation externe en 2017). De nouvelles perspectives s'offrent à nous et sont en cours de développement pour l'instrumentation de ce grand équipement : régulation PID de la vitesse par l'utilisation de la sortie analogique du micro manomètre, pilotage du système de déplacement tridimensionnel par le logiciel LabVIEW.

## 5. Références

1. Georges Lespinard. Contribution à l'étude de la transition en couche limite : effet de l'aspiration pariétale. PhD thesis, Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble, 1968.
2. Nicolas Mazellier. Dynamique spatio-temporelle du champ de vorticité en turbulence. PhD thesis, Université Joseph Fourier, 2005.
3. Sholpan Sumbekova, Alain Cartellier, Alberto Aliseda and Mickael Bourgoin, Preferential Concentration of Inertial Sub-Kolmogorov Particles. The roles of mass loading of particles, Stokes and Reynolds numbers. *Phys. Rev. Fluids* 2, 024302 (2017).
4. Martin Obligado, Alain Cartellier and Mickael Bourgoin, Superclustering of heavy particles in active grid generated turbulence, *EPL Europhysics Letters*, 112(5), p. 54004 (2015a).
5. Martin Obligado, Tomas Teitelbaum, Alain Cartellier, Pablo Mininni and Mickael Bourgoin, Preferential concentration of heavy particles in turbulence, *Journal of Turbulence*, 15 (5), 293-310 (2014).
6. Sholpan Sumbekova, Clustering of inertial sub-Kolmogorov particles: Structure of clusters and their dynamics. PhD thesis, Universit  Grenoble Alpes, 2016.
7. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:An%C3%A9mom%C3%A8tre\\_%C3%A0\\_fil\\_chaud,\\_hot-wire\\_anemometer.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:An%C3%A9mom%C3%A8tre_%C3%A0_fil_chaud,_hot-wire_anemometer.png)