

# Visualisation de gradients de densité par corrélation d'images

Nous pouvons mesurer le mouvement de particules microniques à l'aide d'une caméra et d'un logiciel de PIV (Particule Image Velocimetry). Je m'intéresserai ici à la technique de la BOS (Background Oriented Schlieren) permettant de mesurer les gradients de densité et s'inspirant de l'algorithme de corrélation d'images de la PIV.

On propose de détecter des interfaces d'écoulement avec et sans gradient thermique. L'interaction entre la lumière et un milieu transparent permet de quantifier les gradients de densité dans le fluide. Au niveau macroscopique le milieu semble homogène mais une analyse au niveau microscopique met en évidence son hétérogénéité.

**Professeur encadrant du candidat :**

## Positionnement thématique (phase 2)

*INFORMATIQUE (Informatique pratique), SCIENCES INDUSTRIELLES (Traitement du Signal), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire).*

## Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Corrélation d'images numériques</i>	<i>Digital image correlation</i>
<i>Mécanique des fluides</i>	<i>Fluid mechanics</i>
<i>Optique géométrique</i>	<i>Geometrical optics</i>
<i>Gradient de masse volumique</i>	<i>Density gradient</i>
<i>Strioscopie en rétro-éclairage</i>	<i>Background Oriented Schlieren</i>

## Bibliographie commentée

La mécanique des fluides cherche à appréhender le comportement des fluides sous forme liquide, gaz ou encore plasma. Afin de comprendre leur mouvement, les chercheurs ont besoin de réaliser des mesures précises. Ce sont les avancées technologiques en matière d'imagerie et de traitement informatisé des images qui ont permis de faire évoluer les techniques de mesure en mécanique des fluides. Ces techniques ont fait passer les chercheurs d'une visualisation qualitative à une visualisation quantitative, par couplage entre une caméra et un logiciel de traitement informatique. Les grandeurs telles que la vitesse, la température et la pression sont donc aujourd'hui accessibles par ces nouvelles techniques d'observation.

Ainsi, dans les années 1980 se développe la technique de Vélocimétrie par Images de Particules (PIV) qui permet de mesurer le déplacement de particules portées par un fluide d'après l'acquisition d'images à l'aide d'une caméra. Pour ce faire, des algorithmes de corrélation d'images

ont été développés ouvrant la voie à de nouvelles méthodes d'exploration d'écoulements. C'est ce qui amène en 2003, les chercheurs en mécanique des fluides P. Meunier et T. Leweke à créer un algorithme de PIV sous Matlab [1].

Ces techniques permettent non seulement de mesurer des déplacements réels de fluide mais aussi de quantifier le déplacement virtuel d'un objet qu'on verrait au travers d'un milieu dont l'indice de réfraction varie. C'est par exemple le principe du mirage : les rayons lumineux sont déviés par un gradient thermique. En fait, l'indice de réfraction est lié à la masse volumique du fluide elle même fonction de la température, la pression et la composition du fluide. Cette propriété a été utilisée par des chercheurs dans les années 2000 dans le cas de mélanges de gaz [2], de jets supersoniques avec ondes de choc [3] ou encore d'effet transsonique en bout de pale d'hélicoptère en milieu extérieur [4]. La méthode utilisée par ces chercheurs pour quantifier ces gradients d'indices de réfraction est la technique de la Background Oriented Schlieren (BOS) [5]. Cette technique allie à la fois optique géométrique, acquisition d'images par caméra ou appareil photographique numérique et traitement d'images sur ordinateur. Ce traitement d'images se fait par un algorithme de corrélation inspiré de celui de la PIV [1]. L'optimisation des post-traitements grâce aux Mathématiques est développée pour le traitement du signal permettant ainsi de traiter un grand nombre de données plus rapidement et ce notamment grâce à la Transformée de Fourier Rapide (FFT) [1].

Grâce à la technique de la BOS nous pouvons donc mesurer la variation de température d'un milieu transparent, et notamment celle d'un jet d'air chauffé. En ne faisant varier ni la pression ni la composition du gaz, il est possible de déterminer uniquement sa température. Pour cela, il suffit de prendre deux photographies d'un fond moucheté placé à l'arrière d'un écoulement avec et sans gradients d'indice de réfraction à l'aide d'une caméra sans contact avec l'écoulement [4]. En effet, à l'inverse du thermocouple qui permettrait de mesurer localement la température du milieu, ici aucun objet n'est présent dans l'écoulement, diminuant ainsi l'intrusivité de la mesure. Finalement, l'utilisation d'un algorithme de corrélation permet de traiter les images obtenues et d'en déduire la variation de température.

## **Problématique retenue**

Il s'agit de concevoir sous Python l'algorithme de corrélation d'image inspiré de la technique PIV me permettant de quantifier le champ de température d'un jet d'air chauffé dont j'ai acquis les images avec un montage optique de type BOS.

## **Objectifs du TIPE du candidat**

- 1) Expérience : réalisation d'un montage optique BOS, génération d'un jet d'air chauffé, acquisition des images sur un capteur numérique et transfert sur ordinateur.
- 2) Modélisation informatique : mise en œuvre d'un algorithme de traitement d'images par une méthode de corrélation directe et une méthode utilisant la FFT.
- 3) Exploitation de l'algorithme : détermination des déplacements virtuels du fond moucheté et lien

entre ces déplacements calculés et le champ de température.

## Abstract

Non intrusive measurement of the temperature field of a hot air jet is a challenge. Is it possible to deduce it by observing the deformation of an image through the variation of refractive index of this heterogeneous medium ? I realized such an experiment with the BOS (Background Oriented Schlieren) optical method, in the case of an axisymmetric hot air jet. By implementing in Python an image correlation algorithm inspired by the PIV (Particle Image Velocimetry), I managed to quantify the observed deformation. Finally, I linked this deformation to the refractive index gradient itself related to the temperature field.

## Références bibliographiques (phase 2)

- [1] MEUNIER P. AND LEWEKE T. : Analysis and treatment of errors due to high velocity gradients in particle image velocimetry : *Experiments in Fluids*, 35 :408-421, 2003
- [2] KLINGE F. ET RIETHMULLER M.L : Mesures locales de concentration par la méthode de strioscopie orientée vers l'arrière-plan ou BOS (Background Oriented Schlieren) : *8ème Congrès Francophone de Techniques Laser*, 2002
- [3] HAERTIG J., SOURGEN F., REY C. : Mesures de champ de masse volumique par "Background Schlieren Displacement" (BSD) : *9ème Congrès Francophone de Vélocimétrie Laser*, 2004
- [4] RICHARD H., RAFFEL M. : Principle and applications of the background oriented schlieren (BOS) method : *Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Germany*, 2001
- [5] GAURAV VASUDEVA, DAMON R. HONNERY, JULIO SORIA : Non-Intrusive measurement of a density field using the Background Oriented Schlieren(BOS) method : *Fourth Australian Conference on Laser Diagnostic in Fluid Mechanics and Combustion The University of Adelaide, Adelaide, Australia 7-9 December 2005*

## Références bibliographiques (phase 3)

- [1] DUBOIS J. ET AL. : Étude de jets sous-détendus axisymétriques d'air et d'hélium par la méthode BOS : *11ème Congrès Francophone de Techniques Laser (CFTL), Futuroscope, 16-19 septembre 2008*
- [2] DELMAS A. : Contribution à l'étude de l'effet mirage : application aux mesures dimensionnelle et thermique par caméra visible proche infrarouge et infrarouge : *Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2012, pages 138-141*

## DOT

- [1] *Rencontre avec l'équipe Turbulence de l'IRPHE et explication par un chercheur du principe PIV (Particle Image Velocimetry) finalement appliqué au principe de la BOS*
- [2] *Recherche sur les modules de traitement d'images sous Python comme Skimage ou Scipy, compréhension de ce qu'est une image, transformation d'une image en niveaux de gris*

- [3] *Implémentation de l'algorithme de corrélation méthode directe, découpage d'une image en plusieurs boîtes, recherche du pic maximum de corrélation, problème de balayage des boîtes finalement résolu, recherche sur la Transformée de Fourier Rapide conseillée par le chercheur pour l'optimisation du calcul de corrélation*
- [4] *Recherche d'une fonction me permettant d'affiner le maximum de corrélation en passant par trois points, trois choix possibles*
- [5] *Familiarisation avec le module Quiver pour représenter le champ de déplacements, mise en place du calcul de corrélation pour chaque boîte et obtention d'une matrice de déplacements exploitable avec Quiver, images fournies par l'équipe turbulence pour appliquer mon algorithme et comparer les résultats, premier champ de vecteur inexploitable car problème de positionnement des vecteurs, problème résolu par la suite*
- [6] *Réalisation d'expériences maison : essai avec un sèche-cheveux, problème de fonte du convergent en plastique et décalage de l'image, nouvel essai avec une bougie plus éloignée du convergent et donnant un jet plus axisymétrique*
- [7] *Familiarisation avec la représentation 3D sous Python, tracé de la fonction de corrélation et des gradients d'indice de réfraction, implémentation d'un algorithme permettant de retrouver les indices de réfraction par intégration (méthode des trapèzes) en utilisant des relations fournies par le chercheur, représentation du champ de température*
- [8] *Réalisation d'une seconde expérience maison utilisant un pistolet à air chaud, résultats inexploitable car jet obtenu non axisymétrique*