

3A104 - Projet numérique

Détection et suivi de particules

Encadrant : Jean-Francois Krawczynski

Sommaire

Introduction	2
Mesures Intrusives	2
Mesures non - intrusives	2
Objectif	3
Modélisation numérique	3
Etude préliminaire	3
Détermination des positions des particules	5
Suivi des particules sur deux images successives	6
Exploitation des résultats	6
Conclusion	7

Introduction

Mesures Intrusives

Pour obtenir des informations sur les caractéristiques d'un écoulement de fluides, il existe de nombreuses méthodes. La plupart d'entre elles sont des méthodes intrusives c'est à dire qu'elles sont présentes physiquement dans l'écoulement et peuvent possiblement perturber ce dernier. Par exemple les thermocouples utilisés pour mesurer la température d'un milieu ou encore les tubes de Pitot servant à mesurer la vitesse d'un avion à partir de données de pression. Ces outils sont simples à utiliser et relativement peu cher mais ils peuvent modifier l'écoulement étudié et donner des informations erronées (tube de Pitot givrés, sondes défectueuses). Pour remédier à cela il fallait trouver de nouvelles méthodes moins intrusives mais au moins aussi précises.

Mesures non - intrusives

Parmi les nombreuses méthodes non intrusives existantes, l'une d'elle très utilisée, est la PTV (Particle Tracking Velocimetry). Cette technique consiste àensemencer des particules pour les rendre plus facilement détectables puis d'illuminer une portion de l'écoulement à étudier et le sonder pour en déterminer des caractéristiques comme les champs de vitesses via la détection de ces particules par une caméra. Pour fonctionner, les particulesensemencées doivent être de petites dimensions devant les plus petites échelles de l'écoulement. Une fois illuminées, les informations collectées correspondent aux niveaux d'intensité de gris de ces particules. L'intensité varie plus ou moins selon la position des particules avec le laser. Une particule parfaitement alignée avec le laser aura une intensité maximale, alors que les autres auront une intensité décroissante suivant l'éloignement avec la source lumineuse.

Cette technique non intrusive permet donc d'obtenir des informations sur un écoulement (ici le champ de vitesse) mais sans pénétrer dans ce dernier. En effet les particules ne modifient pas l'écoulement initial. Néanmoins elle nécessite plus de matériel (laser, caméra) et un travail de traitement d'image à posteriori.

Objectif

Reconstituer le champ de vitesse de l'écoulement potentiel se développant autour d'un cylindre à partir de la détection et du suivi de particules préalablementensemencées.

Pour répondre à cet objectif on étudie un écoulement autour d'un cylindre pour lequel on dispose de 100 images contenant les différentes répartitions des particules au cours d'un court laps de temps. Pour résoudre ce problème nous devons nous assurer que les particules suivent bien le mouvement du fluide.

Une fois que nous aurons déterminé les positions précises d'un maximum de particules pour les 100 images, nous associerons à chaque particule son image des instants successifs afin d'obtenir des vecteurs vitesses. Une fois tous les vecteurs de chaque particule obtenue, on aura un champ de vitesse autour du cylindre. Le résultat attendu est le suivant :

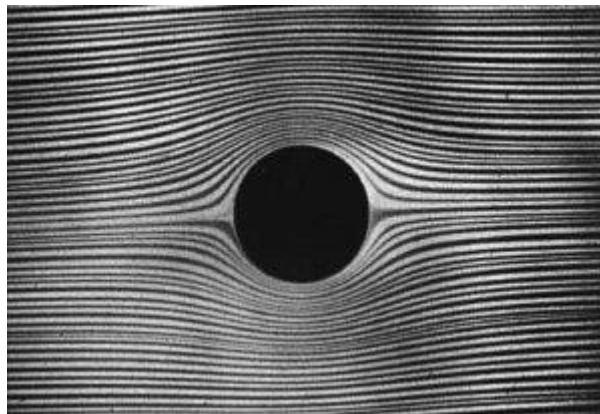


Figure 1 : Représentation d'un écoulement laminaire autour d'un cylindre¹

Modélisation numérique

Etude préliminaire

En observant une des 100 images mises à notre disposition pour réaliser l'étude on se rend compte qu'une particule est formée de plusieurs pixels ayant des niveaux de gris différents. Le pixel central est plus clair que les pixels en périphérie et la taille de la particule est de 5x5 pixels.

Etant donnée que la répartition de l'intensité de niveau de gris des pixel de la particule est fonction de la position exacte de son centre il nous faut d'abord comprendre comment cette répartition d'intensité s'opère pour pouvoir déterminer les centres de chaque particule.

Pour cette étude préliminaire on écrit un script réalisant les étapes suivantes :

¹ <http://images.math.cnrs.fr/quand-les-maths-donnent-des-ailes.html>

- génération d'une matrice 32x32 pixels
- détermination aléatoire des coordonnées du centre de notre particule
- répartition des intensités de niveau de gris autour du centre préalable défini sur une distance correspondant à la taille estimée d'une particule

A cette dernière étape on étudie une répartition gaussienne des intensités de niveau de gris en fonction de la distance du centre du pixel aux coordonnées de la particule.

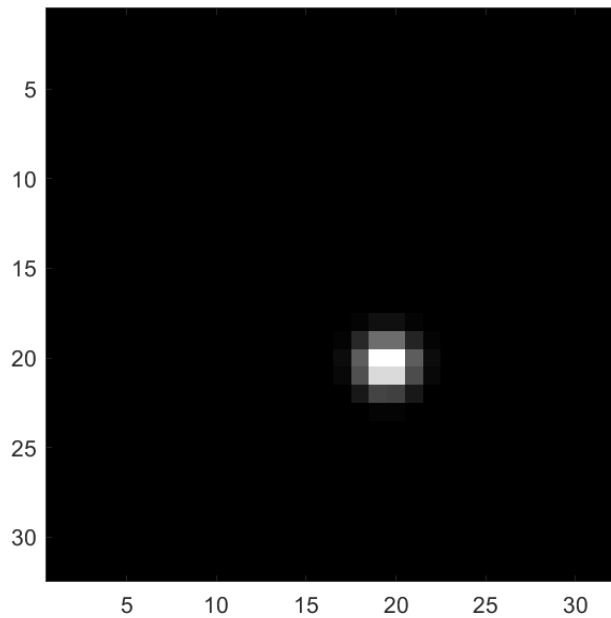


Figure 2 : Particule modélisée par une répartition gaussienne des niveaux de gris en fonction de son centre

La particule ainsi modélisée est visuellement semblable aux particules présentes dans sur les images de l'écoulement à étudier. Pour retrouver les positions des particules on considérera donc que l'intensité des pixels de la particule suit une répartition gaussienne autour de son centre.

Toujours dans notre script d'étude préliminaire et connaissant le modèle mathématique de répartition des intensités des niveaux de gris autour du centre on éprouve une méthode de résolution permettant de retrouver le centre de la particule à partir de ces intensités. Connaissant son centre exact nous pouvons discuter de la précision de notre méthode.

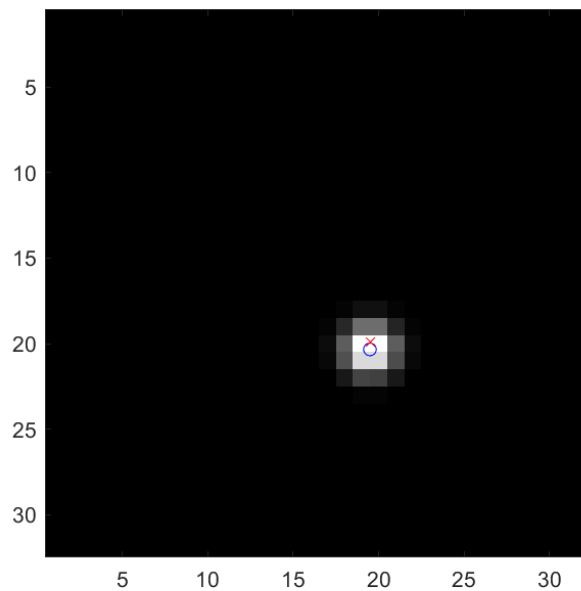


Figure 3 : Particule modélisée. Le rond bleu représente la position exacte du centre de la particule, la croix rouge la position du centre retrouvée par notre méthode de résolution linéaire d'une répartition de Gausse des intensités de niveau de gris.

La position retrouvée avec notre méthode coïncide à peu près avec la position exacte. Mais au vu de la taille de la particule le calcul utilisé n'est pas entièrement satisfaisant. On s'attendait à un résultat plus précis. La méthode conseillée n'a donc pas bien été programmée.

Détermination des positions des particules

Il nous faut à présent appliquer la méthode précédente aux particules présentes sur les images.

Dans un premier temps nous repérons les maximums locaux représentant les particules à partir d'un certain seuil calculé préalablement. Puis, en faisant des zooms sur chaque maximum local d'intensité, on calcul les coordonnées des centres des particules.

Nous pouvons évaluer la qualité de ces positions trouvées sur la première image puisque nous disposons des coordonnées exactes des centres de chaque particule.

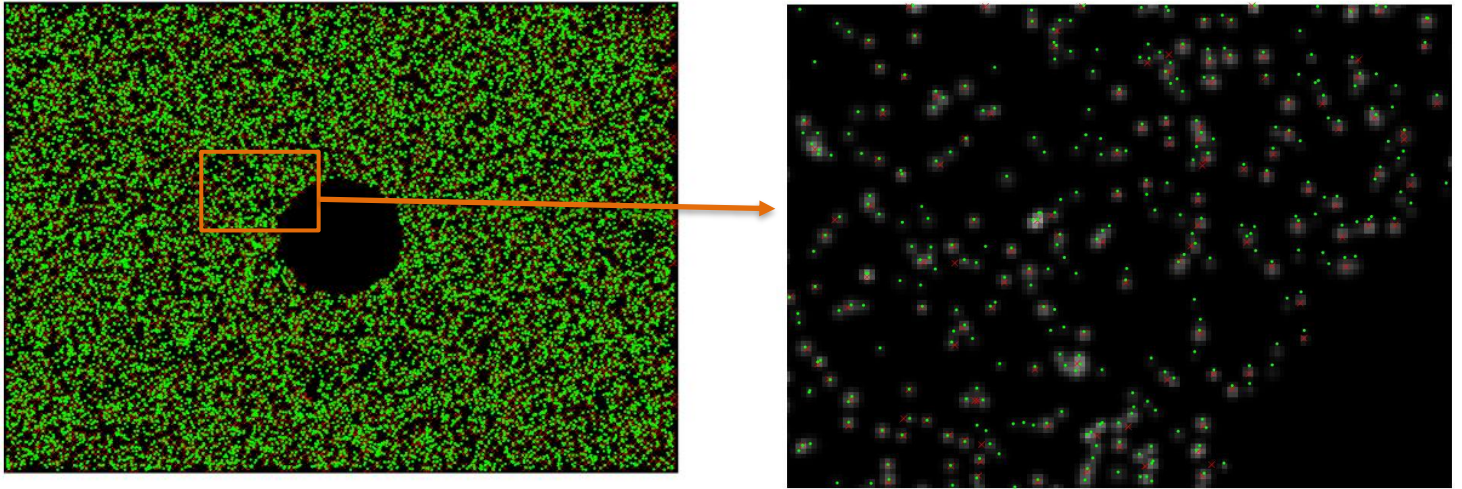


Figure 4 et 5 : Représentation sur l'image 1 des positions exactes des particules, points verts, et des positions calculées, croix rouges

On constate que les croix rouges sont fréquemment loin de la position exacte de la particule. Cela confirme encore une fois que la méthode de calcul a été mal programmée. Cependant, et afin de continuer l'étude, on prendra les positions calculées de chaque particule par cette méthode "faussée" pour chaque image.

Suivi des particules sur deux images successives

Afin de suivre une particule au cours du temps il faut la reconnaître d'une image sur l'autre.

On estime visuellement que les particules se déplacent de deux pixels d'une image sur l'autre.

Pour chaque particule de l'image 1 on procède aux étapes suivantes :

- zoom de 5 pixels autour d'une particule de l'image 1
- report du zoom précédent au même endroit sur l'image 2
- calcul des maximums locaux dans le zoom de l'image 2
- zoom rapproché sur chaque particule et calcul de la corrélation entre la particule de l'image 1 et les particules repérées dans l'image 2 dans les environ des coordonnées de la particule de l'image 1

Cette boucle est répétée pour toutes les particules repérées (maximum locaux calculés) sur l'image 1. Afin d'avoir unicité de la solution entre les corrélations des particules de l'image 1 et 2, tous les résultats sont enregistrés dans une matrice puis analysés.

Les maximums locaux sur l'ensemble de l'image 2 doivent également être repérés pour associer à une même particule les coordonnées d'une image à l'autre.

Exploitation des résultats

Le procédé de calcul expliqué précédemment est répété pour toutes les images. Ainsi deux matrices, l'une contenant les coordonnées x de chaque particule pour toutes les images et l'autre pour les coordonnées y sont créées.

A noter que tout au long du processus des particules sont "perdues", c'est à dire que sur une image donnée on n'arrive plus à les repérer.

Finalement, pour l'exploitation des résultats, on ne garde que les particules qu'on a pu traquer de la première à la dernière image. Il nous en reste plus d'un millier ce qu'il est suffisant pour caractériser l'écoulement. On obtient, par représentation graphique des coordonnées des particules sur chaque image, le résultat suivant :

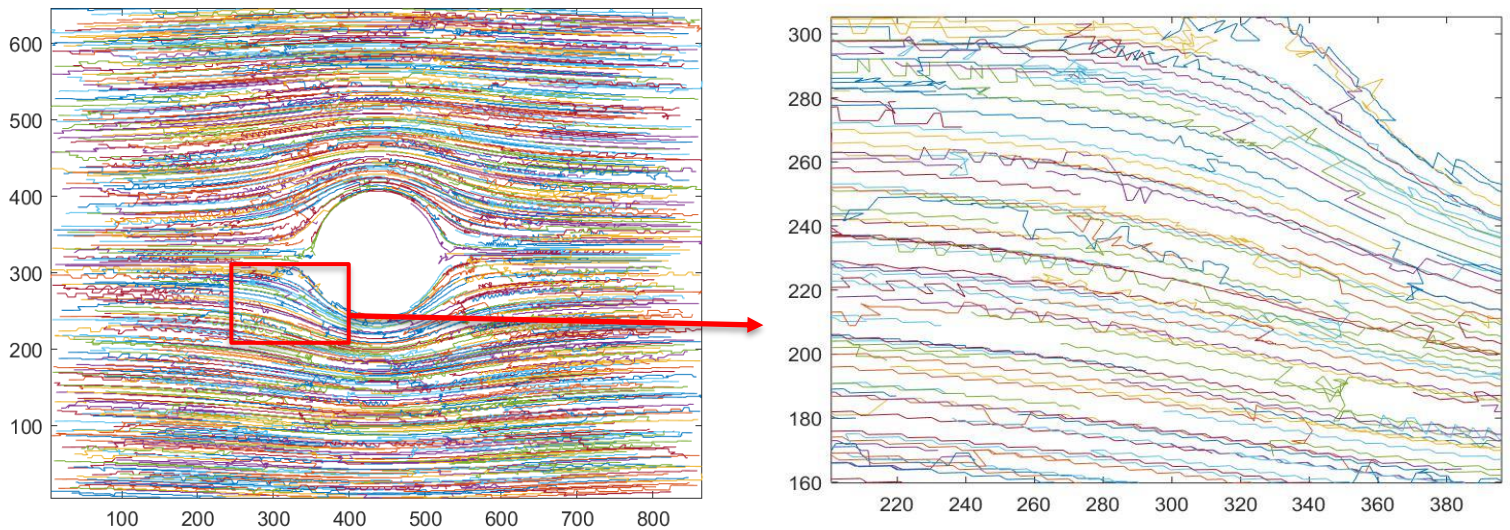


Figure 6 et 7 : Représentation graphique des lignes de courant obtenues par la simulation numérique

On remarque que les lignes de courant suivent grossièrement ce à quoi on s'attendait (cf. Figure 1). Néanmoins, dans le détail, les lignes de courant ne sont pas "droites". Les points ayant été reliés par des droites l'approximation faite est linéaire.

Conclusion

Les lignes de courant obtenues grâce à la méthode PTV sont de même allure que le résultat attendu. Mais le résultat n'est pas non plus assez proche pour qu'on puisse conclure à une viabilité de la méthode PTV pour caractériser les écoulements.

Les imprécisions viennent pour une part de mauvais calcul des centres des particules. Il faudrait donc revoir notre programme pour pouvoir aboutir à une conclusion plus satisfaisante. De plus, il faudrait éprouver cette méthode sur d'autres exemples d'écoulement pour s'assurer que la méthode PTV puisse effectivement caractériser les écoulements fluides.

La méthode PTV présente l'avantage de pouvoir caractériser un écoulement sans le perturber puisqu'elle n'est pas intrusive. Toutefois, et cela même si le calcul avait été juste, le centre des particules traquées est estimé par un calcul statistique basé sur une répartition de Gauss. On pourrait se demander si cette répartition est correcte. Comme indiqué précédemment, les coordonnées des centres des particules ne sont pas justes, or comme nous pensons que la programmation du calcul est fautive nous ne pouvons pas conclure sur l'exactitude du calcul statistique utilisé.