

## Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ - Mai 1984 -

Mesure de la répartition spatiale des vitesses d'écoulement de fluides en régime laminaire ou turbulent, par acquisition et traitement d'images.  
Measurement of the spatial distribution of fluid flow rate in laminar or turbulent flow by image acquisition and processing.

C. MAILLOT - C. DRAMAN - V. MEYER - M. ABDEL-MEGED  
P.L. WENDEL

E.N.S.P.S. - Laboratoire des Systèmes et Méthodes en Iconique et Photonique - 7, rue de l'Université -  
67000 STRASBOURG

**RESUME**

Une méthode, permettant d'établir la carte des vitesses d'un écoulement, consiste à injecter dans le fluide des particules et à éclairer, à deux instants consécutifs, un plan de cet écoulement. On photographie ce plan et on obtient une image formée de paires de tâches appelées "doublets". On déduit, à partir de la longueur, de l'orientation et de la position des doublets, la répartition spatiale des vitesses d'écoulement dans un plan.

Un dispositif d'acquisition, de stockage et de traitement numérique d'images a été réalisé (matériel et logiciel) afin de supprimer le processus photographique, d'effectuer automatiquement les mesures géométriques et de tracer la carte des vitesses d'écoulement.

L'image d'un plan d'écoulement est formée sur la photocathode d'un tube de prise de vue SIT. Au début d'une image télévision, un double flash laser est déclenché et l'image est stockée sous forme numérique dans une mémoire. Compte tenu de l'effet mémoire du tube, il est possible d'additionner, en temps réel, un nombre prédéterminé d'images afin d'améliorer le rapport signal à bruit. Après filtrage, les tâches sont encadrées et la position de leur barycentre est déterminée. Une recherche des doublets est effectuée en tenant compte des conditions expérimentales, et la carte des vitesses d'écoulement est tracée sur imprimante.

**SUMMARY**

A method allowing to establish the velocity map of a flow consists in injecting particles in the fluid and in illuminating, with a double flash of light, a plane of this flow. A photographic picture of this plane is taken and an image composed of pairs of dots called "doublets" is obtained. From the length, the orientation and the position of the "doublets", the spatial distribution of the flowing velocity in a plane can be deduced.

A system of acquisition, of storage and of digital image processing has been carried out (hardware and software) in order to suppress the photographic process, to make the geometrical measurements automatically, and to draw the velocity map.

The flowing plane is imaged on the photocathode of a Low Light Level T.V. Tube (SIT). At the beginning of a T.V. frame, a double laser flash is triggered, and the image is stored in a digital memory. Considering the memory effect of the tube, one can add up in real time a preset number of T.V. frames in order to improve the signal to noise ratio. After filtering, the dots are framed and the position of their center of gravity is determined. A research of the "doublets" is made, taking into account the experimental conditions and the flowing velocity map is drawn on a printer.



Mesure de la répartition spatiale des vitesses d'écoulement de fluides en régime laminaire ou turbulent, par acquisition et traitement d'images.  
Measurement of the spatial distribution of fluid flow rate in laminar or turbulent flow by image acquisition and processing.

## I INTRODUCTION

Un plan d'un écoulement fluide est illuminé par 2 flashes laser consécutifs. L'image obtenue est formée de paires de taches appelées "doublets". Le but de cette manipulation est d'obtenir, après un traitement approprié de l'image, une carte des vitesses caractéristique de l'écoulement étudié.

Jusqu'à présent, une méthode traditionnelle d'extraction des vecteurs vitesse, utilisait la transformée de Fourier. Elle nécessitait un temps d'exécution relativement long et la précision requise demeurait insuffisante, ceci étant dû au faible nombre de vecteurs vitesse déterminés.

Un logiciel spécifique a été implanté sur un micro-ordinateur relié à un système performant de traitement numérique d'images.

## II METHODE TRADITIONNELLE

Un écoulement fluide ensemencé de particules, d'un diamètre de l'ordre de  $1 \mu\text{m}$ , est éclairé par 2 flashes laser puissants consécutifs. L'intervalle de temps les séparant, est d'environ  $400 \mu\text{s}$ . Une photographie d'un plan de l'écoulement est prise, puis agrandie. L'image obtenue est donc formée de paires de taches de diffraction correspondant à la lumière diffusée par les particules et appelées "doublets". Cependant, l'exploitation d'une telle image est rendue délicate par l'apparition de plusieurs défauts tels que :

- l'inhomogénéité de la répartition des particules.
- La variation de l'intensité de la lumière diffusée par les particules.
- la présence de poussières de différentes natures, dans l'écoulement, faisant apparaître des taches de diffraction de taille et de luminosité en général supérieures à celles des particules injectées.

La méthode, couramment employée pour extraire l'information de ces images, consiste à effectuer la transformée de Fourier d'une petite zone, à travers un système optique. Dans le plan de Fourier, on obtient des franges sombres et brillantes dont le profil est ensuite tracé.

La distance séparant 2 extrêmes nous donne la valeur de l'interfrange proportionnelle à la distance entre 2 particules. Plusieurs doublets interviennent dans cette transformée, mais, comme on admet la vitesse constante dans une petite zone, on aboutit alors à une valeur moyenne de la vitesse dans cette zone. On répète cette opération sur toute l'image. Il ressort de cette méthode que le traitement global est lent et qu'il est indispensable d'obtenir une meilleure précision en augmentant plus facilement le nombre de vecteurs vitesse tracés.

Par ailleurs, comme la technique qui permet d'ensemencer le fluide est difficile à maîtriser, il est nécessaire de prendre un grand nombre de photographies et de sélectionner celles qui sont exploitables.

## III METHODE UTILISEE

### III-1 Acquisition de l'image originale

Les 2 flashes laser consécutifs sont déclenchés à partir d'une commande d'un micro-ordinateur Sirius, relié au système ICOTECH, système de traitement graphique et de traitement numérique d'images. Celui-ci possède une mémoire numérique d'images de  $512 \times 512$  mots de 16 bits. L'acquisition de l'image originale ( $512 \times 512 \times 8$  bits) nécessite l'emploi d'une caméra à faible niveau lumineux, de type SIT, une tache correspondant à quelques milliers de photons. Compte tenu de la rémanence du tube, il est possible d'additionner  $n$  fois ( $n$  sélectionné) la même image, en temps réel, afin d'améliorer le rapport signal à bruit. L'acquisition et les flashes sont déclenchés simultanément.

### III-2 Convolution

La tache se présente sous forme granulaire et est formée d'un petit nombre de photons. Selon leur répartition spatiale, la tache peut présenter des discontinuités.

Une convolution locale est effectuée sur l'image originale.

Le masque appliqué est défini comme suit :

$$\text{tab}(i,j) = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Le masque effectue un filtrage passe-bas, réduit le bruit et rend les taches plus uniformes.

### III-3 Segmentation de l'image

Le fond de l'image est relativement uniforme. Un seuil unique est, par conséquent, appliqué sur toute l'image pour segmenter en amplitude les taches.

Trois options sont disponibles :

#### . Choix à partir de l'histogramme

Le seuil est déterminé à partir de l'histogramme visualisé et il est introduit au clavier par l'utilisateur.

#### . Choix par visualisation directe

On applique un seuil ajustable en temps réel et on visualise simultanément le résultat à travers les tables de transfert, ce qui permet une meilleure évaluation de ce seuil.

#### . Choix par introduction directe

Si le seuil est connu à l'avance, il suffit de l'introduire au clavier.



Mesure de la répartition spatiale des vitesses d'écoulement de fluides en régime laminaire ou turbulent, par acquisition et traitement d'images.  
Measurement of the spatial distribution of fluid flow rate in laminar or turbulent flow by image acquisition and processing.

### III-4 Encadrement des taches

Les limites d'une tache sont définies d'après la figure 1.

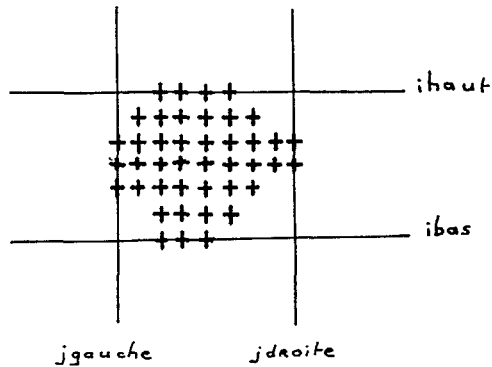


Fig. 1 : limites d'une tache

La détermination de *ibas*, *ihaut*, *jdroite* et *jgauche* se fait sur l'image filtrée puis segmentée.

L'image est balayée colonne par colonne, et on cherche tout d'abord, le premier point d'intensité non nulle, sachant que le fond est noir. Il sert à initialiser "jgauche" et "ihaut". A ce moment, le processus d'encadrement commence. Un balayage de la tache permet de réactualiser "ihaut" et "ibas" chaque fois qu'un point noir est rencontré. La tache est supposée encadrée lorsqu'une colonne noire est trouvée, "jdroite" est alors connu. La tache est supprimée de l'image seuillée, mais les 4 limites restent connues.

### III-5 Calcul du barycentre ou de l'intensité maximale

Ayant isolé une tache, celle-ci sera remplacée par un point unique.

Deux options sont à nouveau disponibles :

#### . Barycentre :

Ce point unique correspond au barycentre de la tache sur l'image seuillée.

#### . Intensité maximale :

Le seul point unique conservé est celui ayant une intensité maximale, dans la tache, sur l'image seuillée.

### III-6 Recherche des doublets

La méthode d'extraction des doublets a été généralisée; elle peut s'appliquer aussi bien à un écoulement laminaire qu'à un écoulement faiblement turbulent. Cette généralisation implique une division de l'image en plusieurs zones d'étude dans lesquelles on peut approximer le vecteur vitesse par une constante.

L'écoulement ne présente pas obligatoirement les mêmes caractéristiques dans chacune d'entre elles. Leur nombre est choisi par l'utilisateur et limité à 256.

L'extraction des doublets se fait donc zone par zone, et en 2 étapes, nécessitant 2 passages successifs sur l'image contenant les barycentres ou les intensités maximales.

L'algorithme de recherche des doublets, pour la première étape, est basé sur 2 critères :

- L'existence de 2 points formant un vecteur d'orientation et de module compris dans des limites prédéfinies.
- La différence d'intensité moyenne ou maximale des 2 points présumés appartenir à un doublet.

### III-6-a 1ère zone

#### 1er passage - 1ère recherche

##### 1) Initialisation des paramètres

Pour la première zone, il est indispensable d'initialiser les différents paramètres. Deux voies sont envisageables :

- Recherche pour autocorrélation du vecteur vitesse dans la première zone (non implanté actuellement).
- Initialisation des paramètres par l'opérateur qui possède une vue d'ensemble de l'écoulement. Ayant ainsi pu isoler un doublet grâce au zoom de la console, il fournit les coordonnées au clavier. Ce point est pris comme référence pour la suite du traitement.

##### 2) Processus de recherche des doublets

Un premier point d'intensité non nulle est d'abord recherché. Il est considéré comme le premier point ( $i_1, j_1$ ) d'un doublet. Ensuite, deux matrices de recherche sont définies de part et d'autre de ce point comme il est indiqué sur la figure 2.

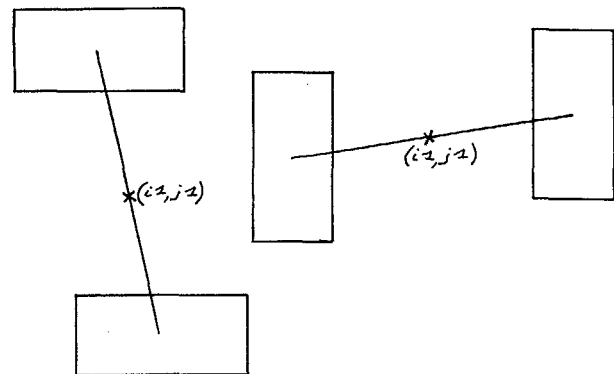


Fig. 2 : matrices de recherche

Selon la position de recherche dans l'image, l'une ou l'autre des matrices ou les deux sont explorées. Leurs dimensions sont variables et sont réajustées suivant la variance obtenue sur les doublets des zones adjacentes. Les points d'intensité non nulle, distincts du fond noir, sont retenus. Tout point isolé est supprimé. Les paires de points assimilés à des doublets, selon les 2 critères précédemment établis, sont conservés. Ils servent à calculer, pour chaque zone, des paramètres statistiques pour les vecteurs vitesse. Les points incertains sont analysés lors du second passage.



Mesure de la répartition spatiale des vitesses d'écoulement de fluides en régime laminaire ou turbulent, par acquisition et traitement d'images.  
Measurement of the spatial distribution of fluid flow rate in laminar or turbulent flow by image acquisition and processing.

### 2ème passage - 2ème recherche

Elle met en oeuvre le même processus que pour la première recherche. Cependant, les deux critères sont modifiés.

En effet, les caractères statistiques sont remis à jour.

Chaque premier point détecté est analysé avec tous les seconds points possibles afin de former les doublets en respectant ces critères. Tous les autres points sont effacés.

### III-6-b Zones suivantes

Pour les autres zones, le principe général de recherche reste le même que pour la première zone.

Mais, on considère maintenant toutes les zones adjacentes à la zone en question afin de recalculer tous les paramètres statistiques. Ceux-ci permettent de déterminer la taille des matrices pour une zone d'étude donnée, ainsi que leur orientation par rapport à chaque premier point trouvé.

### IV - CONCLUSION

Il est à noter que toutes les procédures de traitement ont été écrites en assembleur 8088. Le temps d'exécution du programme est d'environ 15 mn compte tenu du dialogue utilisateur-machine.

Le résultat obtenu est, comme prévu, une carte des vitesses, caractéristique de l'écoulement étudié.

Le matériel d'acquisition, en temps réel, nous a permis de pouvoir choisir, plus rapidement et plus facilement, l'image originale, ce qui est impossible par photographie où l'on doit d'abord agrandir les images et faire ensuite un choix.

De plus, les nombreuses fonctions offertes par ce système, ont contribué à l'amélioration du traitement, et ceci, aussi bien du point de vue temps d'exécution que du point de vue précision.

### BIBLIOGRAPHIE

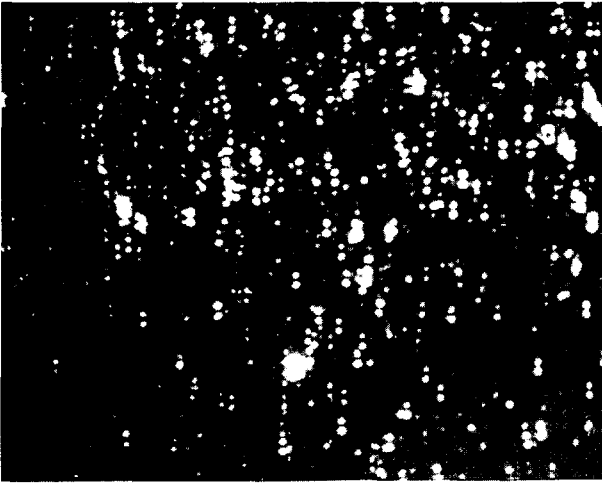
- (1) O. SCRIVENER, "Etude de l'influence des solutions de polymères sur la structure de l'écoulement turbulent dans une conduite lisse", Thèse d'Etat, mars 1975.
- (2) AZZI El-Hadi, "Ecoulement autour d'une sou-pape d'admission; étude de la couche limite", Rapport de stage, juin 1981.
- (3) D.E. DIMOTAKIS, F.C. DEBUSSY, M.M. KOCHESFAHANI, "Particle Streak Velocity Field Measurements in a Two-Dimensional Mixing Layer", Physics of fluids, November 1980.
- (4) W.K. PRAT, "Digital Image Processing", Wiley Interscience, 1978.
- (5) R. KOHLER, "A Segmentation System Based on Thresholding", Computer Graphics and Image Processing, 15, p. 319-338, (1981).
- (6) T. PELI, D. MALAH, "A Study of Edge Detection Algorithms", Computer Graphics and Image Processing, 20, p. 1-21, (1982).
- (7) LARRY S. DAVIS, "A Survey of Edge Detection Techniques", Computer Graphics and Image Processing, 4, p. 248-270, (1975).



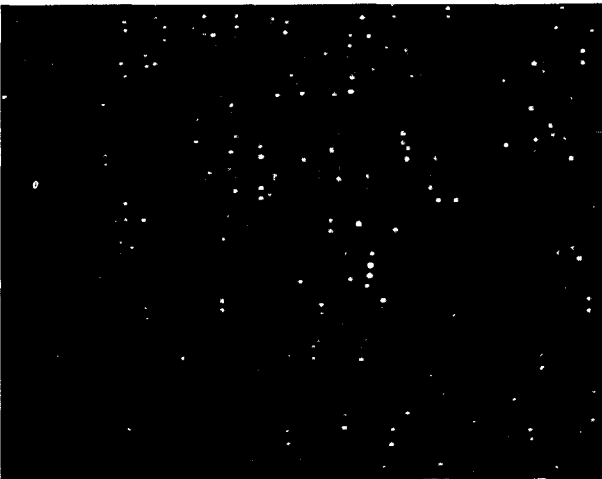
Mesure de la répartition spatiale des vitesses d'écoulement de fluides en régime laminaire ou turbulent, par acquisition et traitement d'images.  
Measurement of the spatial distribution of fluid flow rate in laminar or turbulent flow by image acquisition and processing.

---

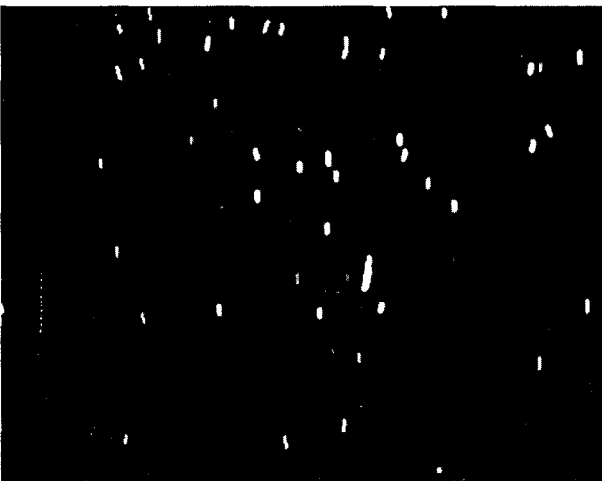
Exemple de traitement



a - Image originale  
(zoom de 2 d'une région)



b - Barycentres des taches



c - Vecteurs vitesse