



**HAL**  
open science

## Mesure et interprétation des champs de vitesses dans une roue de pompe centrifuge.

François Hureau, Michel Toussaint

► **To cite this version:**

François Hureau, Michel Toussaint. Mesure et interprétation des champs de vitesses dans une roue de pompe centrifuge.. 4ème congrès francophone de vélocimétrie laser, Sep 1994, POITIERS, France. hal-01293871

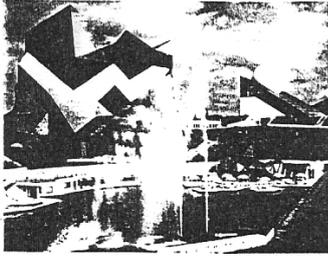
**HAL Id: hal-01293871**

**<https://hal.science/hal-01293871>**

Submitted on 30 Mar 2016

**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.



4<sup>ème</sup> congrès francophone de vélocimétrie laser  
Poitiers - Futuroscope 26-29 septembre 1994.

## MESURE ET INTERPRETATION DES CHAMPS DE VITESSES DANS UNE ROUE DE POMPE CENTRIFUGE.

**François HUREAU**

CETIM

Laboratoire d'Hydraulique Industrielle  
NANTES.

**Michel TOUSSAINT**

CNAM

Laboratoire d'Energétique et de Mécanique des Fluides Interne  
PARIS, ORSAY.

### 1. INTRODUCTION.

L'utilisation de pompes centrifuges dans des applications industrielles de plus en plus automatisées suppose que ces machines puissent fonctionner sur des plages de débits de plus en plus étendues. Cette nécessité ne va pas sans poser de nombreux problèmes dûs principalement à l'existence d'une zone "critique" de fonctionnement aux faibles débits. En effet, une pompe centrifuge s'éloignant vers les faibles débits, de son point de fonctionnement nominal, rencontre à partir d'une certaine valeur de ce débit que nous noterons  $Q_{crit}$  ou  $Q_k$ , une plage où l'écoulement débitant est fortement perturbé par des courants de recirculation qui affectent l'entrée et (ou) la sortie de la roue. Ces recirculations sont la cause de diverses perturbations auxquelles sont liées de fortes dissipations d'énergie.

Dans le but d'analyser ces phénomènes de recirculation, un programme d'essais, défini conjointement par des partenaires français et allemands s'est déroulé à partir de 1989 en France et en Allemagne. Le financement de ces recherches par la CEE a fait l'objet d'un contrat européen de type BRITE. Cette étude officiellement terminée en 1992, a permis l'expérimentation de quatre roues de pompe de vitesses spécifiques ( $N_s$ ) égales à 20, 32, 50 et 80.

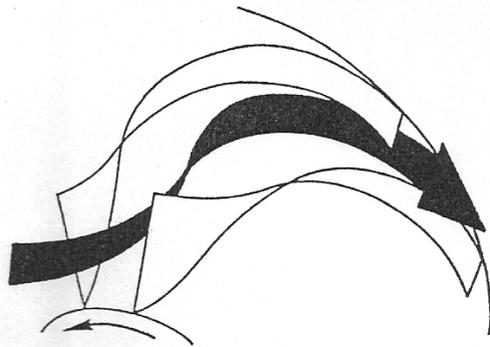
Dans ce document, nous présentons et analysons les résultats complets de la roue de  $N_s$  32, testée au laboratoire d'hydraulique industrielle du CETIM à Nantes.

### 2. DESCRIPTION DE L'ÉCOULEMENT DANS UNE ROUE CENTRIFUGE.

L'étude expérimentale de l'écoulement dans une roue centrifuge de turbomachine, du fait de sa complexité (l'écoulement est en effet tridimensionnel, instationnaire et fortement turbulent), reste peu aisée voire quasiment impossible sans l'aide de la vélocimétrie laser.

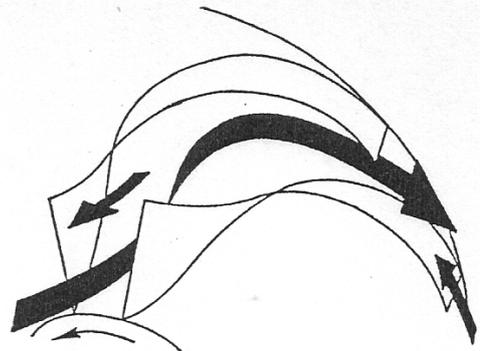
Aux alentours du débit nominal, contraint de suivre les fortes courbures imposées par les aubages, cet écoulement peut être caractérisé, dans un repère tournant avec la roue, par le schéma de la figure 1.

Aux faibles débits, l'écoulement principal "débitant" est réduit et fortement perturbé par des écoulements "secondaires" et des écoulements "recirculants" engendrés par les décollements qui prennent naissance dans les canaux de la roue ou dans l'organe de récupération qui suit cette roue. Cet écoulement présente alors l'allure indiquée sur le schéma de la figure 2.



Schématisme de l'écoulement en mouvement relatif, dans une roue de pompe centrifuge.  
Aux alentours du débit nominal  $Q_n$ .

Figure 1



Aux faibles débits  $Q < Q_{crit}$

Figure 2

### 3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

#### 3.1. Boucle d'essai .

Elle est schématisée sur la figure 3.

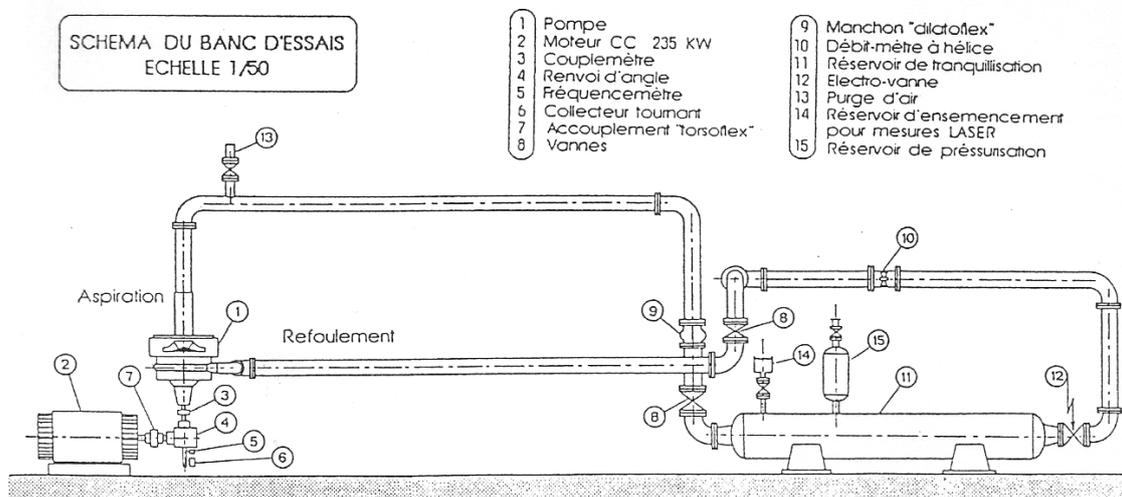


Figure 3: Boucle d'essai CETIM

#### 3.2. Maquette de la pompe de $N_s$ 32.

La maquette, représentée figure 4, est disposée verticalement et reçoit la roue centrifuge définie sur la figure 5.

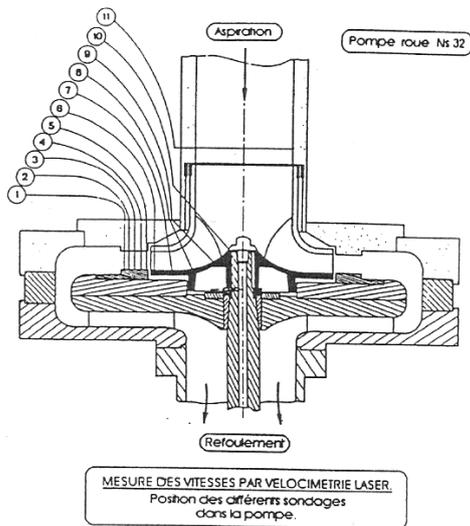


Figure 4.

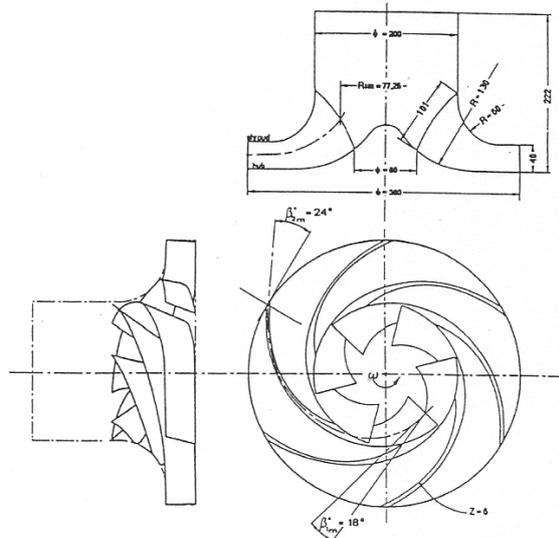


Figure 5.

L'écoulement en sortie de roue est récupéré par un diffuseur lisse ou à aubes, puis collecté dans un caisson relié à la tuyauterie de refoulement. Cette disposition assure l'axisymétrie de l'écoulement à l'entrée et à la sortie de la roue, en configuration de fonctionnement avec diffuseur lisse (sans aubes). Dans ce cas, l'écoulement relatif (dans un repère lié à la roue) est également, comme nous allons le voir, quasi stationnaire. Des photographies de la machine d'essai sont présentées sur la page suivante.

### 3.3 Instrumentation.

Outre l'instrumentation classique d'un tel banc d'essai (fréquence de rotation, couple, débit...), l'installation comporte un collecteur tournant permettant les mesures de pressions ou températures fournies par des capteurs embarqués. La maquette est également équipée de capteurs à quartz pour les mesures des fluctuations de pressions en amont et en aval de la roue.

Réalisés en plexiglas, la partie supérieure de cette maquette et le flasque de roue permettent éventuellement la visualisation des phénomènes de prérotation, recirculation et cavitation. Disposés comme indiqué sur la figure 4, onze hublots en verre donnent l'accès aux mesures des vitesses dans la roue à l'aide d'une sonde à fibres optiques. Le système utilisé est un vélocimètre laser Doppler à 2 réseaux de franges d'interférence, utilisant une source COHERENT à Argon (puissances toutes raies 6W). L'ensemble opto-électronique TSI, composé de compteurs, d'un encodeur et d'un conditionneur RMR (Rotating Machinery Resolver) permet l'acquisition simultanée de 2 composantes de vitesse et de la position angulaire de la roue. De fines particules (diamètre = 1 à 10 microns) de dioxyde de titane servent de traceurs pour l'écoulement.

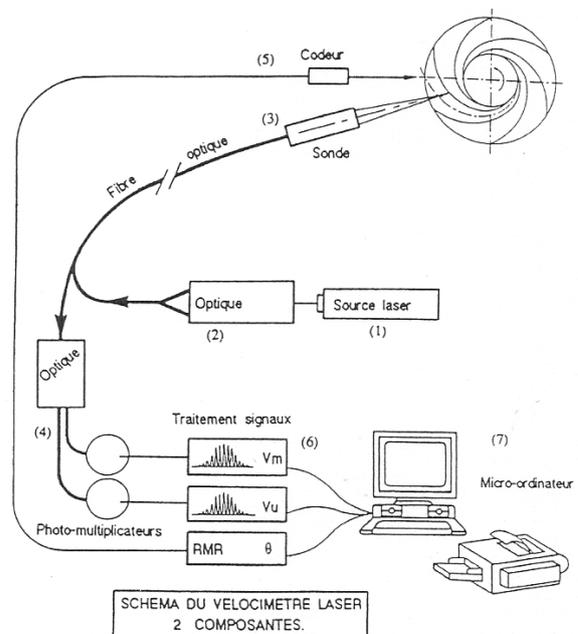
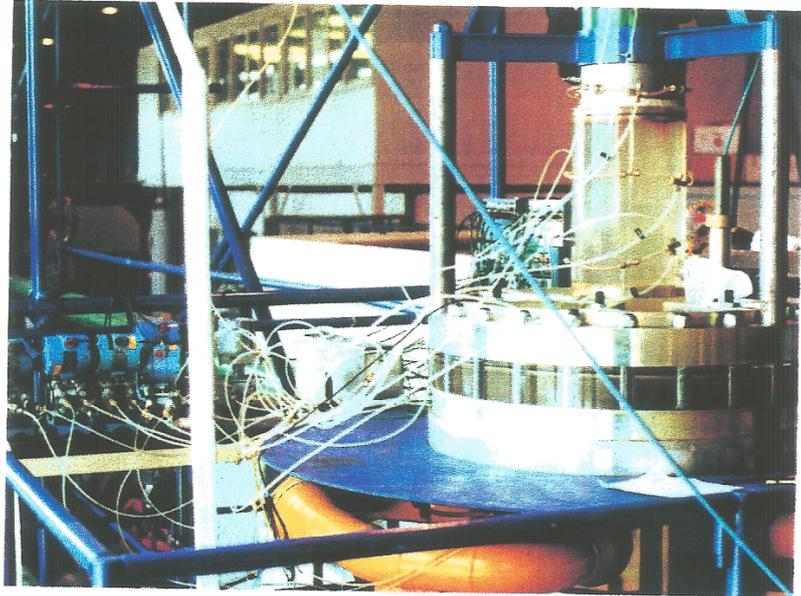


Figure 6



La figure ci-dessus montre une vue générale de la maquette d'essai. On distingue à droite de la tuyauterie d'aspiration, le support réglable de la sonde laser. Ci-contre est représentée une vue du couvercle supérieur de la maquette muni de logement pour les hublots en verre. La roue centrifuge Ns32 est photographiée ci-dessous avec son flasque en plexiglas poli.

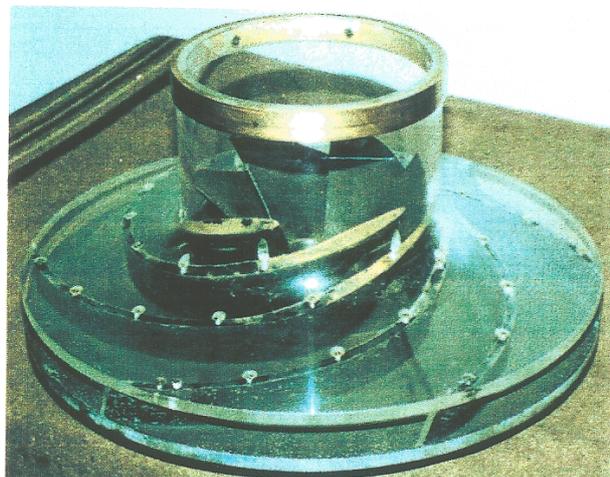


Figure 7

## 4. PRESENTATION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX.

### 4.1. Généralités.

Rappelons que le but principal de cette étude reste la compréhension des phénomènes physiques conduisant à l'établissement de recirculations au sein de l'écoulement dans une roue centrifuge. L'approche expérimentale de l'écoulement relatif dans la roue, grâce à la vélocimétrie laser est la principale voie d'accès pour y arriver, la seconde étant le calcul numérique par résolution des équations de Navier-Stokes.

Notre propos dans ce document est donc de présenter les résultats des mesures de vitesses dans la roue et d'en tirer une description des phénomènes se produisant au sein de l'écoulement lorsque décroît le débit.

Les résultats de cette étude ont déjà fait l'objet de publications [1], [2], [3] et [4] et sont en cours d'analyse. Nous ne présentons ci-après qu'une sélection des champs de vitesses obtenus dans l'une des deux configurations de fonctionnement de la pompe (roue + diffuseur lisse).

### 4.2. Champ de vitesses relatives dans un canal de roue.

Sur les deux vues ci-dessous (Figures 8a, 8b) sont présentés les profils de vitesses dans un canal de la roue, pour deux valeurs du débit : le débit nominal et le débit partiel de  $0,18 Q_n$ . Si la distribution des vitesses relatives  $W$  au débit nominal suit parfaitement la direction principale imposée par la courbure du canal interaube, il n'en est pas de même pour le débit réduit ou l'on observe, le long de l'intrados de l'aubage, une giration de la vitesse  $W$ . Ce phénomène induit une recirculation qui se propage jusque dans la conduite d'aspiration de la pompe.

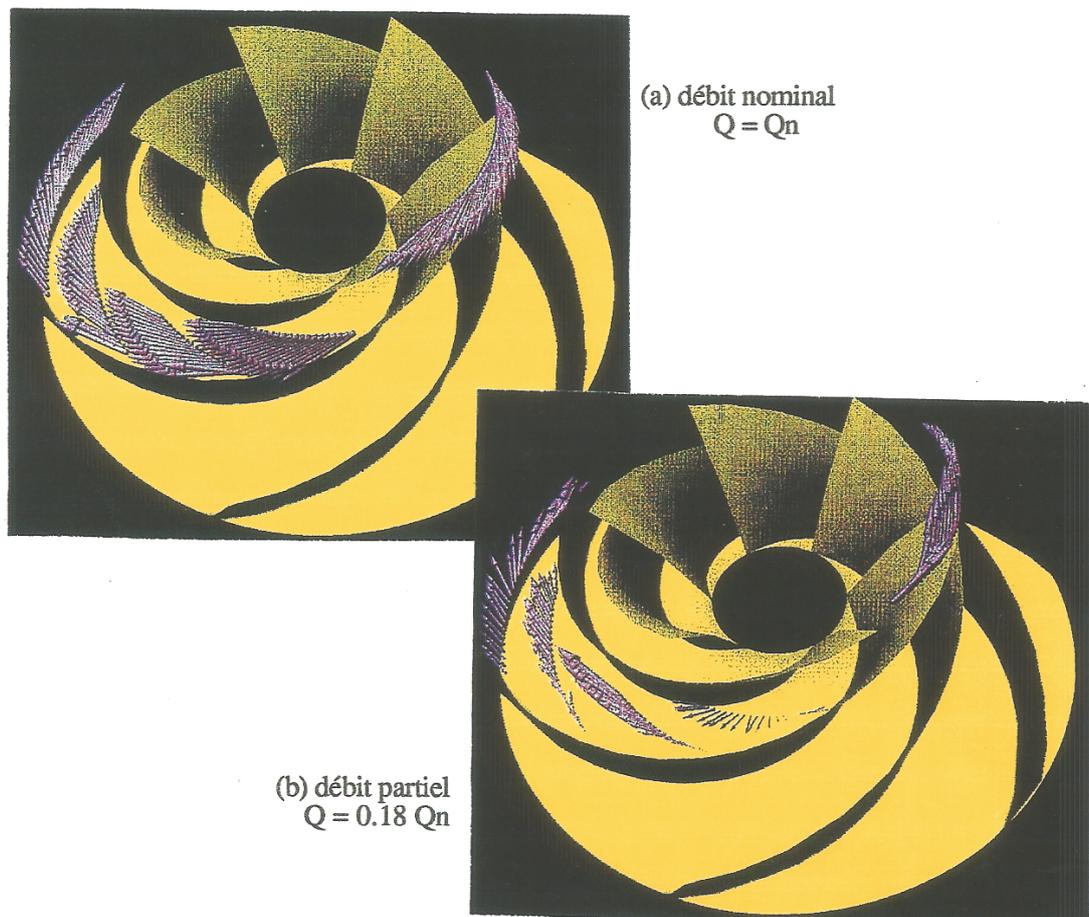


Figure 8

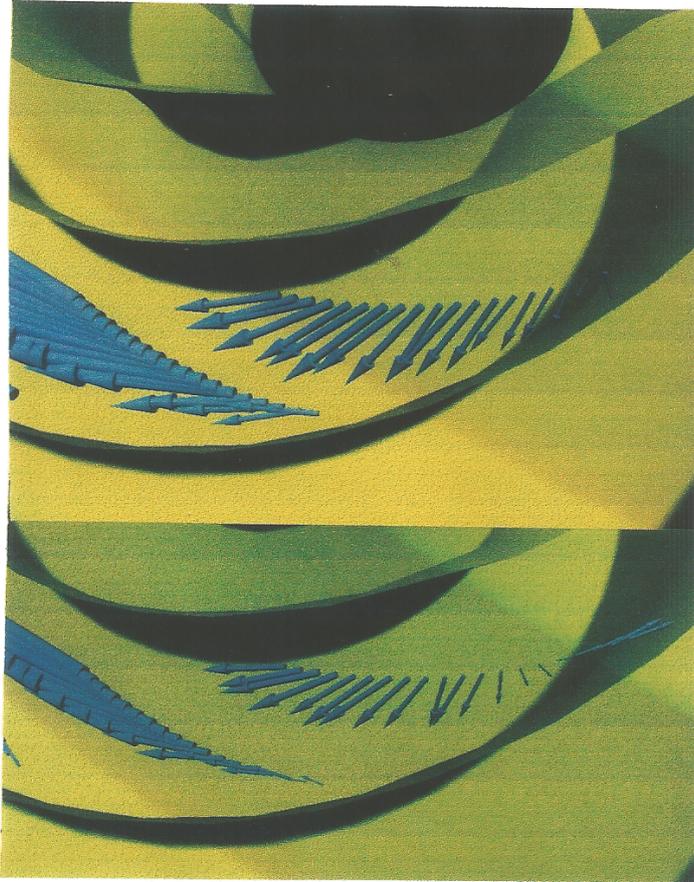


Figure 9

Sur les deux vues ci-contre qui représentent un zoom du champ de vitesse relative à mi-canal en tête d'aubage on distingue:

- à  $0.37 Q_n$ : les premières apparitions du phénomène de giration de l'écoulement dans la zone proche de l'entrée du canal.

- à  $0.18 Q_n$  la naissance de décollements le long de l'intrados de l'aubage dès le milieu du canal jusqu'en sortie de roue (voir figure 8)

Les deux effets combinés s'accompagnent d'une augmentation des vitesses dans le reste du canal. Cette visualisation de l'écoulement confirme bien l'inadaptation du profil des aubes lorsque le débit est fortement réduit.

#### 4.3. Champ de vitesses débitantes en sortie de roue

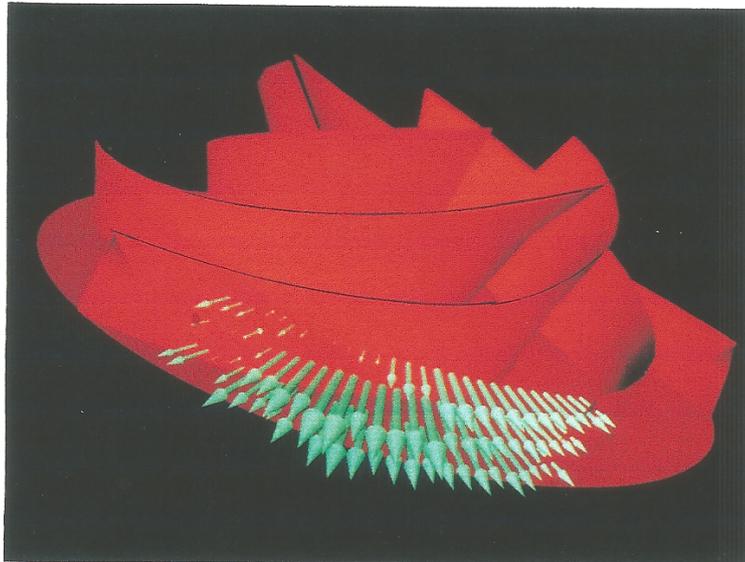


Figure 10

La figure ci-dessus représente les composantes débitantes de la vitesse en sortie de roue (15 mm avant le rayon de sortie  $R_2$ ) (Axe 6 de la figure 4). Pour ce faible débit ( $0.18 Q_n$ ) on observe une recirculation du fluide sur toute la hauteur de l'aubage du côté de l'extrados, provenant à la fois de décollements dans la roue et de retours d'écoulement du diffuseur. Cet écoulement refluant du diffuseur semble essentiellement localisé en paroi supérieure.

## 5. DISCUSSION ET PERSPECTIVES.

A l'aide d'une représentation tridimensionnelle le comportement particulier d'une pompe centrifuge fonctionnant à débit partiel a pu être décrit. Les mesures réalisées par vélocimétrie laser dans le repère tournant apportent de nombreux renseignements sur la nature de l'écoulement entre les aubes. Ainsi ont pu être observés les phénomènes de décollements, de recirculation ou de sillage qui apparaissent lorsque le débit est fortement réduit. La compréhension de ces phénomènes et de leur évolution nécessite encore une analyse approfondie notamment à l'aide de modélisations numériques. Des travaux sont actuellement en cours sur ce sujet en France et en Allemagne.

La mise en oeuvre de la vélocimétrie laser dans l'optique de caractériser l'écoulement d'un fluide traversant une roue centrifuge de turbomachine pose de nombreux problèmes. Certains ont d'ores et déjà été résolus d'une façon très satisfaisante d'autres ont reçu une solution spécifique qui ne semble pas être la mieux adaptée et quelques uns n'ont à l'heure actuelle et à notre connaissance, pas encore été solutionnés. C'est le cas notamment des problèmes d'accessibilité dans les zones fortement incurvées des aubages: une sonde plus petite déplacée dans l'espace en fonction de la courbure des parois permettrait d'augmenter le nombre de points d'accès dans la pompe. Une deuxième sonde serait nécessaire pour la mesure du champ de vitesse tridimensionnel, mais ce dispositif se heurte à l'étroitesse des canaux de la roue. Enfin, en ce qui concerne le traitement des mesures, il faut souligner ici l'importance des moyens informatiques à utiliser pour extraire de la masse de données accessibles les informations essentielles.

## REFERENCES.

- [1] TOUSSAINT Michel : "Contribution à l'étude des recirculations dans les pompes rotodynamiques." Thèse de doctorat Université P et M Curie PARIS décembre 1993.
- [2] TOUSSAINT Michel et HUREAU François : "Etude expérimentale de l'écoulement instationnaire dans une pompe centrifuge fonctionnant à débit partiel" 6th International Meeting of AIRH. LAUSANNE Septembre 1993.
- [3] HUREAU François, KERMAREC Jean, STOFFEL Bernd and WEISS Klaus : "Study of internal recirculation in centrifugal impellers." 2nd Pumping Machinery Symposium ASME. WASHINGTON juin 1993.
- [4] HUREAU François, KERMAREC Jean, et FOUCHER Didier : "Etude de l'écoulement instationnaire dans une pompe centrifuge fonctionnant à débit partiel." 1st International Symposium on pump noise and vibrations." SHF. CLAMART juillet 1993.