HAL
open science

Simultaneous Temperature and Velocity measurements by LIF and PIV in a complex geometry

Mira Chitt, David Guenadou, Benjamin Cariteau, Guillaume Ricciardi, Lionel Rossi

To cite this version:

Mira Chitt, David Guenadou, Benjamin Cariteau, Guillaume Ricciardi, Lionel Rossi. Simultaneous Temperature and Velocity measurements by LIF and PIV in a complex geometry. 16ème Congrès Francophone de Techniques Laser pour la mécanique des fluides, CNRS, CentraleSupélec, Université Paris Saclay, IRSN, Sep 2018, Dourdan, France. hal-02097811

HAL Id: hal-02097811

https://hal.science/hal-02097811v1

Submitted on 12 Apr 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.

Mesures simultanées de température et vitesse par PLIF et PIV en géométrie complexe.

Mira CHITT[1], David GUENADOU[1], Benjamin CARITEAU[2], Guillaume RICCIARDI[1], Lionel ROSSI[1]

[1]CEA Cadarache, DEN, DTN, STCP, LTHC, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance, France
[2]CEA Saclay, DEN, DM2S /STMF /LIEFT, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France.

Email auteur correspondant : Mira.chitt@cea.fr

Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration ASTRID is a project of construction of a 4th generation reactor cooled by sodium .There are thermal-hydraulic issues of upper plenum of ASTRID which can't be studied from past reactors feedback and numerical simulations since the calculation codes do not allow to model these problems with sufficient confidence .Thus in order to validate the numerical approaches and systems concept of ASTRID, it is important to measure temperature and velocity simultaneously using optical measurement techniques. For these reasons, a prototype is developed to study the thermal hydraulic behavior of ASTRID. Sodium experiments are very complicated to perform since sodium is opaque and reacts violently with water. Thus it is more practical to perform measurements on a water model since both have similar physical properties concerning viscosity and density. From what preceded, the MICAS mockup was designed . It is a water model of the ASTRID, made up of PMMA for optical measurements since laser methods will be implemented to measure both temperature and velocity. The challenge in implementing non-intrusive optical techniques to simultaneously measure temperature and velocity on the MICAS mock up resides in designing the experiments so that they are carried out under ambient optical conditions with accuracy and precision attained as much as possible during the execution. Laser Induced Fluorescence LIF and Particle Image Velocimetry PIV are used to measure temperature and velocity respectively. In the LIF technique, a dye absorbs a portion of the excitation energy and spontaneously re-emits a portion of the absorbed energy as fluorescence. Calibration experiments using one color LIF were carried out to choose the right dyes. The fluorescence response of three dyes: FL27, RhWT and Rh6G was studied as function of three parameters: dye concentration, laser power and temperature variation from 20°C till 60°C. After that, two color LIF technique will be carried out using two dyes, one temperature dependent and the other insensitive using a pulsed 532 nm Nd:YAG laser .The temperature is determined from the ratio of the signal of two dyes, which have highly different temperature sensitivities. When pulsed lasers are used for the excitation of the fluorescence, their irradiance usually exceeds the saturation intensity of common fluorescent dyes. Therefore, the fluorescence signal loses its linear dependence on the laser irradiance. Studies have shown that this loss of linearity is not necessarily an important source of error for the ratio metric methods. Experiments are followed by coupling between PIV and LIF on a simple aquarium and then on the complex geometry MICAS. The same optical approach will be applied on another experiment which is in progress of preparation. It is a representative prototype and a dimensional analysis of the thermal hydraulics of the core in the MICAS mock up. The mixture of the two jets of different temperatures must be studied. The first jet is being hot and the second cold. The prototype aims to study the interaction between two jets at different temperatures

1 Introduction

ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) est une projet de construction d'un réacteur de 4ème génération refroidi au sodium. Des problématiques thermo-hydrauliques du plénum supérieur d'ASTRID ne peuvent être étudiés à partir du retour d'expérience des réacteurs et des simulations numériques puisque les codes de calcul ne permettent pas de modéliser ces problèmes avec une confiance suffisante. Ainsi, afin de valider les approches numériques et la conception d'ASTRID, il a été identifié des besoins en maquettes expérimentales. La figure 1 est une présentation de la conception actuelle d'ASTRID. Le sodium s'écoule de la cuve externe vers le plénum supérieur à travers le cœur où il est chauffé. Environ 90% du sodium éjecté du cœur est dévié par le bouchon couvercle cœur (BCC) vers le plénum supérieur. L'autre partie traverse le BCC, puis le plénum supérieur. Le sodium chaud (550 °C) du plénum supérieur pénètre à l'intérieur des échangeurs des échangerais intermédiaires (EI) pour chauffer le circuit de sodium secondaire. Ce dernier est connecté à un générateur de vapeur. Ce schéma évite que le sodium primaire soit en contact avec de l'eau en cas de fuite. La sortie de l'EI est connectée à la cuve externe où le sodium est pompé et renvoyé vers cœur.

Les manipes utilisant de sodium sont très compliquées à réaliser car le sodium est opaque et réagit violemment avec l'eau. Il est donc plus pratique d'effectuer des mesures sur une maquette en eau. L'eau et le sodium ont en effet des propriétés physiques similaires en termes de viscosité et de densité.

La maquette MICAS représentative du plenum supérieur a été conçue à cette fin (Figure 2). Elle mesure environ 2,5 m de diamètre et 1,7 m de hauteur. Elle est fabriquée en PMMA pour les mesures optiques. Un défi de cette maquette est la mise en œuvre de techniques optiques non intrusives pour

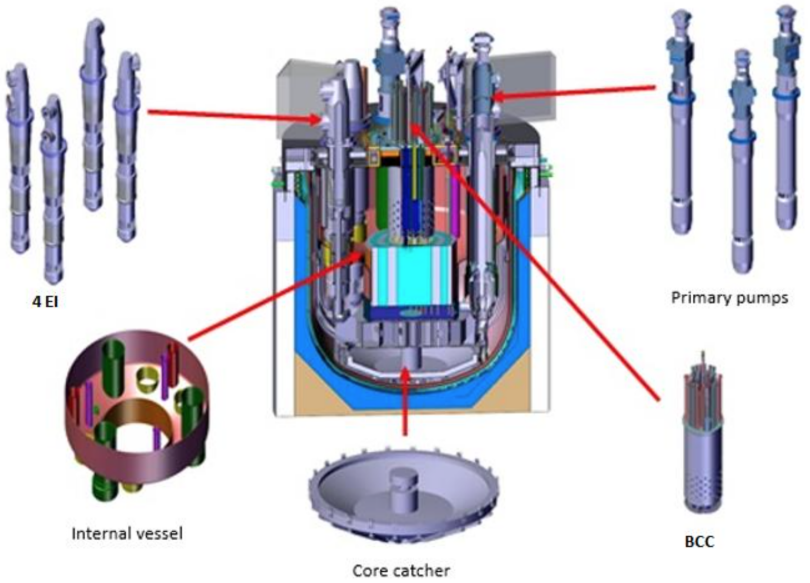

Figure 1: Le circuit primaire d'ASTRID.

mesurer simultanément la température et la vitesse.

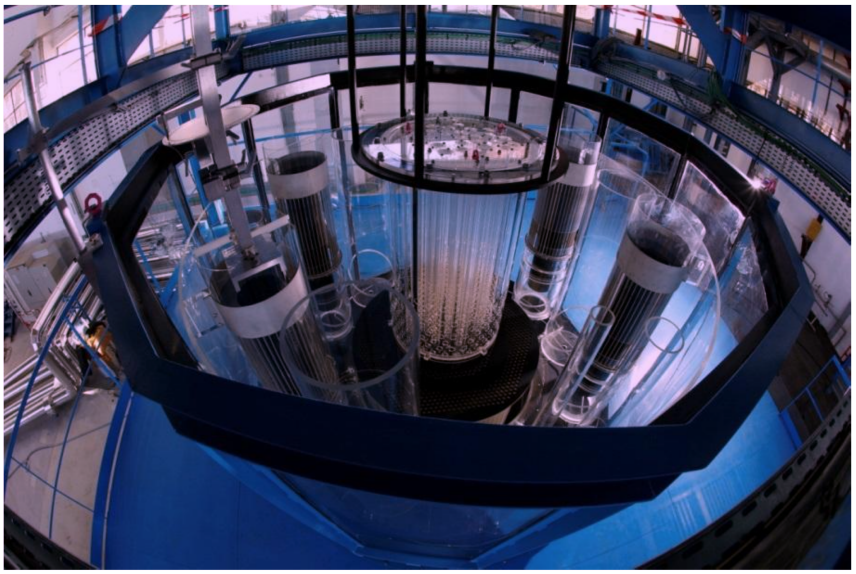

Figure 2: Vue de dessus de la maquette de MICAS.

La fluorescence induite par laser LIF et la vélocimétrie par image de particules PIV sont utilisées pour mesurer la température et la vitesse respectivement.

2 Mesures de température et de vitesse par LIF et PIV

2.1 La fluorescence induite par laser

La fluorescence induite par laser est une technique de mesure quantitative utilisée en particulier dans le domaine de la mécanique des fluides et des phénomènes de transport. La fluorescence correspond à

la désexcitation spontanée d'un état singulet excité d'une espèce atomique ou moléculaire. L'état excité peut être provoquée de différentes façons en utilisant l'absorption d'un rayonnement électromagnétique. En l'occurrence l'utilisation d'un rayonnement laser permet de délivrer une énergie considérable sur une bande spectrale extrêmement réduite.

L'intensité de fluorescence F à un point donné est modélisée par l'équation 1.

$$F = I_0\phi(1 - \exp -\epsilon bC) \quad (1)$$

$$F = I_0\phi\epsilon bC \quad (2)$$

Dans quel I_0 est le flux lumineux incident, ϕ est l'efficacité quantique, ϵ est un coefficient d'absorption, b est l'épaisseur de la rappe du laser et C est la concentration de la solution de colorant. Ainsi, une équation linéaire est obtenue lorsque le produit ϵ est petit comme on le voit dans l'équation 2.

Un colorant est un composant nécessaire à la LIF. L'aptitude d'un colorant est basée sur un spectre d'absorption compatible avec la longueur d'onde d'excitation laser. Le traceur fluorescent doit être soluble dans l'eau avec une efficacité quantique élevée de sorte que la force du signal soit maximisée. Il doit présenter une dépendance à la température suffisante sur une plage de température appropriée et doit être photostable dans des conditions expérimentales qui produisent une émission détectable. De plus, l'absorption et l'émission du colorant doivent être séparées spectralement. La technique de LIF à un colorant est la méthode dans laquelle un seul colorant fluorescent et une bande de détection spectrale sont utilisés. En général, la linéarité du signal de fluorescence par rapport à l'énergie laser incidente et la concentration de colorant est rapportée. De telles expériences ont été les premières à être menées dans le domaine de la mesure de la température. A partir de ces expériences, les chercheurs ont pu identifier les caractéristiques des colorants organiques tels que la longueur d'onde d'excitation, le pourcentage d'émission dépendant de la température et la plage de température.

Dans les techniques LIF à deux colorants LIF, la température est déterminée à partir du rapport du signal de deux colorants, qui ont des sensibilités à la température très différentes. L'un des colorants doit être sensible à la température et l'autre non pas ou très faiblement. Cette technique élimine la dépendance de l'intensité laser rencontrée dans le LIF un colorant.

Dans nos expériences et à partir de ce constat, les techniques de LIF à deux couleurs et à un colorant sont très intéressantes pour notre application à la maquette MICAS. Il est également intéressant en premier lieu de faire une comparaison entre ces deux techniques. A cette fin, des expériences à un colorant LIF ont été réalisées.

2.2 LIF à un colorant

Des expériences d'étalonnage ont été réalisées pour étudier la réponse de fluorescence de trois colorants: FL27 (ou Fluorescéine 548, $C_{20}H_{10}Cl_2O_5$), Rh6G et RhWT en fonction de trois paramètres principaux: concentration de colorant, puissance du laser et température.

Les colorants sont sous forme de poudre. Afin de préparer une solution homogène, une solution concentrée pour chaque colorant d'abord est préparée, puis on la dilue plusieurs fois pour obtenir la gamme de concentration requise pour l'étude, (Figure 3).

Par exemple concernant RhWT, des expériences ont été effectuées sur des concentrations comprises entre $2*10^{-5}$g/L et $2*10^{-4}$ g/L. La solution est bien agitée avant chaque expérience et à chaque concentration, la température a varié entre 18°C et 50°C.

La configuration expérimentale représentée à la figure 4 consiste en un laser EverGreen de TSI pulsé Nd: YAG de 532 nm, une caméra POWERVIEW 8 MP optique NIKKOR 28mm f 1:2, un appareil de chauffage Julabo GmbH, un thermocouple et un aquarium de volume expérimental 30 L. Le logiciel pour le traitment des images utilisé est INSIGHT 4G. La puissance du laser a été maintenue constante et 100 à 1000 images ont été prises à chaque condition pour le post- traitement. Mais avant chaque expérience, une image sombre et autre référence (solution sans colorant) sont prises pour le de post-traitement des images pixel par pixel sur Matlab. Les images brutes sont traitées pour supprimer l'arrière plane existant déterminés en capturant une image sombre sans lumière et en la soustrayant à l'image initiale. Les mêmes expériences ont été réalisées avec Rh6G et FL27.

Figure 5 montre la réponse de fluorescence des colorants FL27, RhWT et Rh6G en fonction de température (°C). Les résultats montrent que la variation de la réponse diminue très lentement avec l'augmentation de température pour Rh6G et que RhWT n'est pas sensible à la variation de température. Ces deux colorants peuvent être pris pour référence.

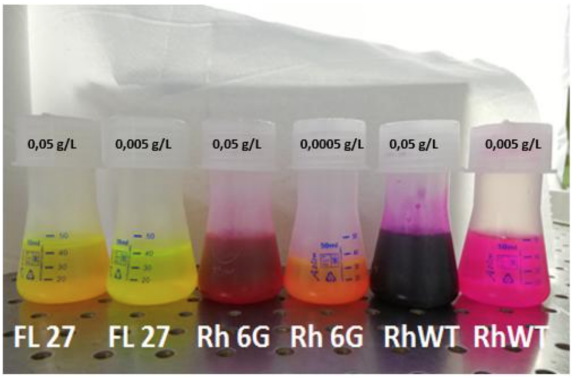

Figure 3: Les colorants préparés.

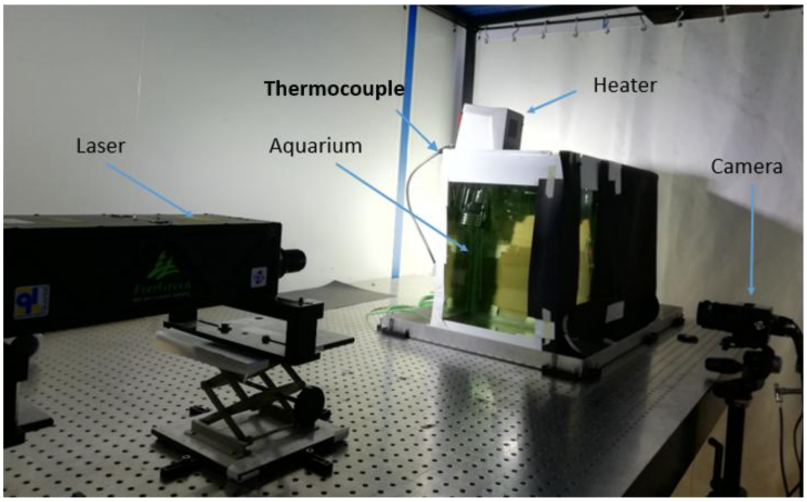

Figure 4: La configuration expérimentale.

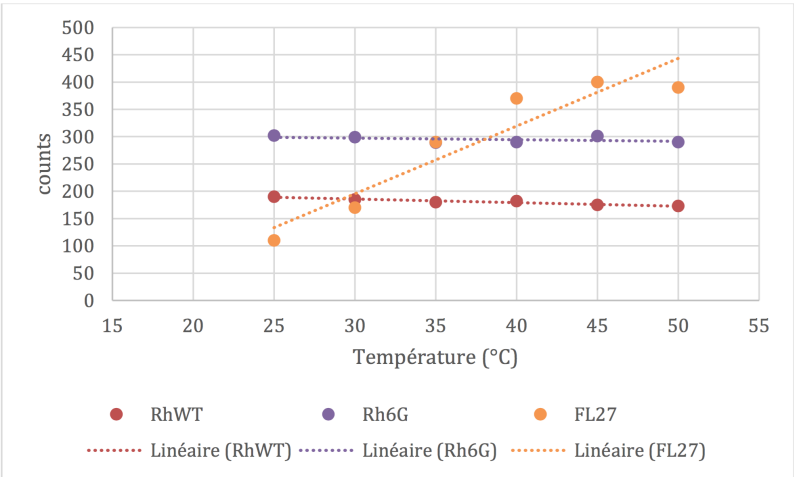

Figure 5: Réponse de fluorescence des colorants FL27, RhWT et Rh6G en fonction de la variation de température (° C).

Par contre, il y a une dépendance croissante de FL27 en fonction de température entre 25°C et 45°C. La réponse de la fluorescence entre la température 45°C et 50°C est instable et cela peut être à cause

de certaines erreurs dans la configuration expérimentale ou la saturation du colorant ou des effets de bruit. Par conséquence le rapport entre FL27 et Rh6G ou RhWT peut être étudiée dans le cadre d'une technique LIF à deux couleurs pour éliminer l'effet de l'intensité du laser.

3 Section d'essais du mélange de deux jets

La maquette MICAS présente de mélange des jets complexes. Une section a été conçue pour étudier de telles configurations (figure 6). L'objectif de cette expérience est de concevoir un prototype représentatif de l'analyse dimensionnelle de la thermo hydraulique (jet, flottabilité, ...) du cœur de la maquette MICAS, afin d'étudier, le mélange des deux jets à températures différentes.

Le mélange des jets est étudié aux moyens des méthodes optiques de mesure de température (LIF) et de vitesse (PIV) appliquées simultanément. L'interaction entre les deux jets à différentes températures peut être verticaux ou horizontaux. Dans cette étude, trois valeurs adimensionnelles principales sont considérées, les nombres de Reynold, de Richardson et de Froude. Un jet est laminaire, l'autre turbulent. Plusieurs cas sont étudiés tels que l'interaction entre une fontaine et un jet, des panaches flottants dans un environnement turbulent, ... Ces études seront réalisées par la variation du nombre de Richardson en changeant la distance séparant les deux jets qui est un facteur principal ici. Un autre défi existe dans l'application de la LIF et la PIV simultanément sur cette plate-forme: le système de caractérisation nécessite deux faces transparentes perpendiculaires. Le prototype consiste en un réservoir ayant des parois transparentes pour l'accès optique permettant la mise en œuvre simultanée la LIF et la PIV. Il est relié à une boucle hydraulique composée de trois réservoirs. L'accès optique est de dimensions 1*1 m^2. Le côté non transparent est amovible pour permettre une configuration de jets horizontales et étudier les effets de flottabilité. Le côté supérieur de la section de test est équipé d'un bac de débordement pour atteindre des conditions de sortie identiques.

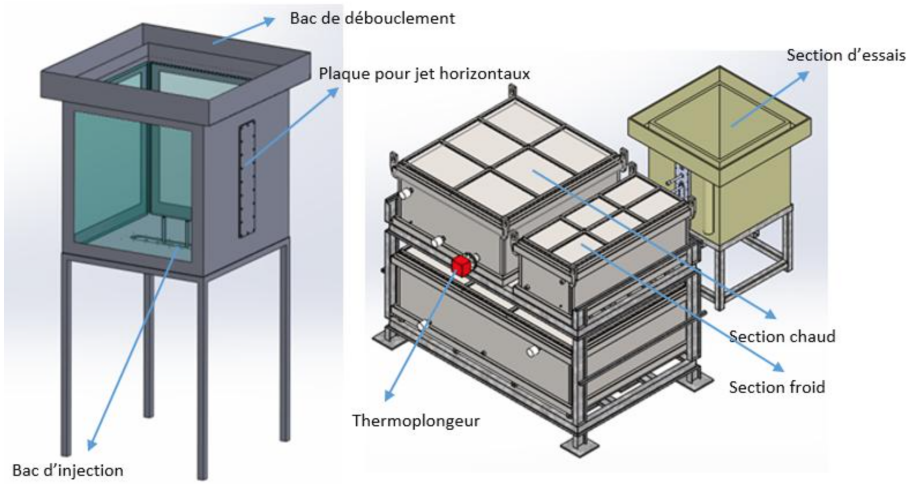

Figure 6: Section d'essais de deux jets.

La LIF à deux colorants sera directement appliqué sur cette configuration à l'aide de deux colorants FL 27 et Rh6G. Le laser utilisé pour ces essais est un modèle à double impulsion Evergreen 200 de Quantel Laser. Il délivre un faisceau pulsé à 15 Hz d'une énergie maximale de 200 mJ à une longueur d'onde de 532 nm et jusqu'à 3 caméras peuvent être mises en place pour mesurer à la fois la vitesse et la température comme présenté dans la figure 7. La camera 1 est POWERVIEW 8 MP, camera 2 est ZYLA sCMOS 16 Bit et camera 3 est POWERVIEW 16 MP. En ce qui concerne l'optique, des miroirs dichroïques et semi transparents à différents taux de transmission seront testés.

4 Conclusion

Les mesures de température non intrusives basé sur la fluorescence induite par laser sont possibles en utilisant le laser pulsée Nd: YAG. Une technique ratiométrique dans laquelle l'intensité de fluores-

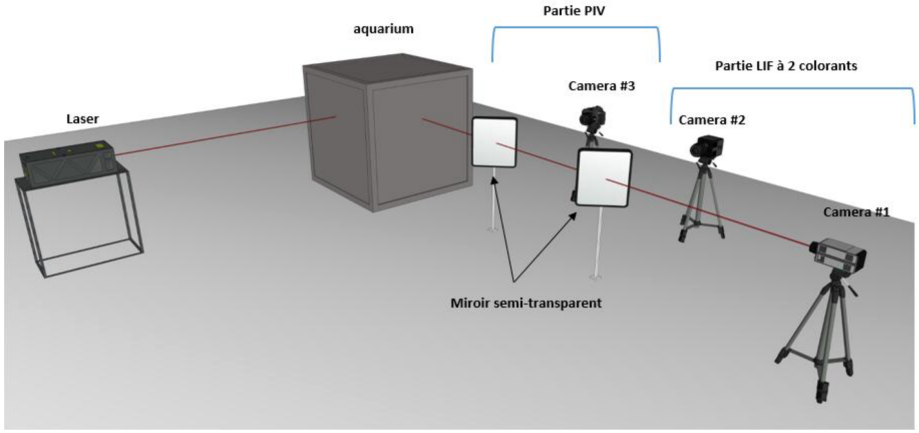

Figure 7: La position des matériaux optiques.

cence de FL27 est divisée par la fluorescence l'intensité de Rh6G ou RhWT permet de s'affranchir du milieu ambiant et d'être plus précis. La LIF à 2 colorants FL27 et Rh6G ou RhWT et le PIV permettra de mesurer simultanément la température et la vitesse sur les géométrie complexe représentative du MICAS. L'utilisation de faibles concentrations de colorants et une approche optique appropriées pour positionner les trois caméras et le laser vers l'accès optique de l'aquarium sont des facteurs importants pendant les mesures. Pour les images de post-traitement, il est important de prendre des images sombres et de référence avant de commencer les expériences, ce qui élimine les effets de bruit pour obtenir des résultats précis.

References

[1] Guenadou D, Tkatschenko I, Aubert P (2015) Plateau Facility in Support to Astrid and the SFR Program: An Overview of the First Mock-Up of the Astrid Upper Plenum, Micas.

[2] Crimaldi P(2008) Planar laser induced fluorescence in aqueous flows, Experiments in Fluids, Vol. 44, Issue 6, pp. 851-863.

[3] Sutton J, Fisher and Fleming J (2008) A laser induced fluorescence measurement for aqueous fluid flows with improved temperature sensitivity, Experiments in Fluids, Vol. 45, pp. 869-881.

[4] Copetta J and Rogers C (1998) Dual emission laser induced fluorescence for direct planar scalar behavior measurements, Experiments in Fluids , Vol. 25, Issue 1, pp. 1-15.

[5] Lemoine F, Guillard F and Bruchhausen M (2005) Instantaneous measurement of two-dimensional temperature distributions by means of two-color planar laser induced fluorescence (PLIF), Experiments in Fluids, Vol. 38, pp 123-131.

[6] Coolen M, Kieft R, Rindt C and Steenhoven A (1999) Application of 2-D LIF temperature measurements in water using a Nd : YAG laser, Experiments in Fluids 27,pp 420-426.