



Caractérisation par technique PIV des écoulements moyens et transitoires dans un modèle à eau d'un réacteur de recherche

Planquart Philippe, Chiara Spaccapaniccia, Jean-Marie Buchlin, Katrien van Tichelen

► To cite this version:

Planquart Philippe, Chiara Spaccapaniccia, Jean-Marie Buchlin, Katrien van Tichelen. Caractérisation par technique PIV des écoulements moyens et transitoires dans un modèle à eau d'un réacteur de recherche. 16ème Congrès Francophone de Techniques Laser pour la mécanique des fluides, CNRS, CentraleSupélec, Université Paris Saclay, IRSN, Sep 2018, Dourdan, France. <hal-02097673>

HAL Id: hal-02097673

<https://hal.science/hal-02097673v1>

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.



HAL Authorization

Caractérisation par technique PIV des écoulements moyens et transitoires dans un modèle à eau d'un réacteur de recherche.

Philippe Planquart¹, Chiara Spaccapaniccia¹, Jean-Marie Buchlin¹, Katrien Van Tichelen²

¹Institut von Karman de Dynamique des Fluides, chaussée de Waterloo, 72 B-1640 Rhode-Saint-Genèse, Belgique

²SCK-CEN, Boeretang, 200, B-2400 Mol, Belgique

Email auteur correspondant : philippe.planquart@vki.ac.be

La modélisation physique du circuit primaire d'un nouveau type de réacteur nucléaire apporte des informations importantes au niveau du comportement thermo-hydraulique. Dans le cadre des études R&D pour le réacteur MYRRHA, développé par le centre belge de l'énergie nucléaire (SCK-CEN), un modèle à eau à échelle réduite a été construit à l'Institut von Karman. Des mesures PIV caractérisent l'écoulement dans différents plans du modèle à eau. Pour obtenir des images de qualité dans un environnement présentant aussi peu d'accès optique, une méthodologie a été développée, basée sur l'utilisation d'images de calibration. L'utilisation d'un ensemenement à base de particules fluorescentes a permis également d'augmenter considérablement le rapport signal/bruit. Les résultats sont présentés pour deux modes de fonctionnement du modèle à eau: condition nominale et convection naturelle. Des informations importantes au niveau du champ de vitesse à l'entrée du réacteur et plus particulièrement sur l'importance de la composante radiale de la vitesse ont pu être extraites. Ces données servent à la validation des codes de simulation numérique.

1 Introduction

Le réacteur de recherche MYRRHA [1, 2], développé actuellement par le centre belge d'étude de l'énergie nucléaire (SCK-CEN), est le premier prototype d'un réacteur nucléaire piloté par un accélérateur de particules. Un des nombreux aspects innovants du réacteur se situe au niveau du circuit primaire; les différents éléments étant immergés dans le liquide de refroidissement, composé d'un alliage Plomb-Bismuth.

Le programme de Recherche et Développement mis en place pour MYRRHA comprend bien entendu des activités de simulation numérique (utilisation de codes système et logiciels CFD) et également des essais sur maquettes réduites. Plusieurs installations ont été construites et sont actuellement exploitées par le SCK-CEN [3].

La modélisation physique apporte une aide précieuse à la conception de ce nouveau type de réacteur. Un modèle à eau à l'échelle 1/5 du circuit primaire de MYRRHA (version 1.2) est disponible à l'IVK pour l'étude du comportement thermo- hydraulique du circuit de refroidissement. Ce modèle a été développé en respectant les nombres sans dimensions caractéristiques des phénomènes physiques [4]. Un accès optique a été prévu dès la conception afin de visualiser les écoulements et de pouvoir appliquer les techniques optiques avancées [5] pour la caractérisation du champ de vitesse (la vélocimétrie par image de particules-PIV) et de température (la fluorescence induite par laser-LIF).

Des mesures du champ de vitesse dans le bassin inférieur, au niveau de l'entrée du cœur, ont été réalisées par la technique PIV. La difficulté s'est située au niveau de l'accès optique et l'obtention d'images de calibration d'une qualité suffisante. Les résultats obtenus sont présentés pour le modèle simulant les conditions nominales de fonctionnement et pour un cas d'arrêt des pompes. Dans cette dernière configuration, l'écoulement est caractérisé par une boucle de convection naturelle. Les résultats obtenus servent à vérifier la pertinence de l'utilisation de calculs CFD pour simuler les écoulements d'un circuit primaire de type immergé.

2 Description du modèle et de l'écoulement

Le modèle à eau, baptisé MYRRHABELLE, a été développé en respectant les nombres sans dimensions caractéristiques des phénomènes physiques [4]. Les différents éléments du circuit primaire sont immergés dans le liquide de refroidissement (figure n°1). Deux pompes assurent la circulation dans le circuit primaire et quatre échangeurs de chaleurs évacuent la chaleur produite par le cœur du réacteur vers le circuit secondaire. Le cœur est simulé par des résistances chauffantes d'une puissance maximale

de 48 kW. Une plaque située au-dessus des résistances chauffantes crée une perte de charge additionnelle pour satisfaire la similitude d'Euler. Deux diaphragmes assurent la séparation entre le bassin inférieur et le bassin supérieur. La surface libre du modèle est à pression atmosphérique.

Le chemin hydraulique est le suivant: L'écoulement en sortie des pompes du circuit primaire passe dans le bassin inférieur au travers ou en-dessous du baffle perforé. Ensuite, il est poussé au travers du cœur du réacteur, situé au centre du modèle, et se répand dans le bassin supérieur en passant par les trous du cylindre perforé situés au-dessus du cœur. L'écoulement pénètre ensuite dans les échangeurs de chaleur avant d'être aspiré par les pompes du circuit primaire.

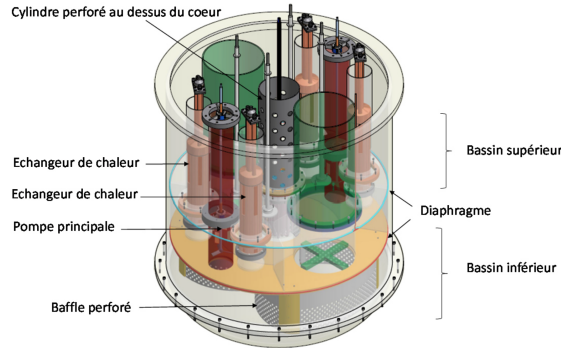


Figure 1: Description de l'installation MYRRHABELLE.

3 Plans de mesures, calibration et ensemencement

Les mesures présentées dans ce papier ont été réalisées dans le bassin inférieur du modèle. Le but de ces mesures est d'une part la compréhension des écoulements à l'entrée du cœur du réacteur et en sortie des pompes pour différentes conditions de fonctionnement et d'autre part l'obtention de données quantitatives pour la validation des calculs numériques. La caractérisation de l'écoulement tridimensionnel en sortie des pompes permet de valider la composante tangentielle de l'écoulement utilisée dans le modèle numérique des pompes.

Les mesures de PIV ont été obtenues avec le système DaVis 8 de la société LaVision. La dimension du modèle, la présence de nombreux éléments immergés représentatifs du réacteur ainsi que les surfaces courbes en Plexiglass ont nécessité le développement d'une méthodologie particulière pour la calibration des images PIV. Cette méthodologie est basée sur la présence d'une image de calibration immergée dans le réacteur pour des mesures PIV 2D et de deux images de calibration distantes d'une épaisseur connue pour les mesures stéréoscopiques. Des mesures PIV 2D ont été enregistrées dans différents plans verticaux au niveau de l'entrée du cœur du réacteur (Figure 2 et Figure 3), tandis que des mesures PIV stéréoscopiques ont été enregistrées à la sortie des pompes afin de caractériser l'écoulement tridimensionnel produit par celles-ci (Figure 4). Les plans de mesure sont décalés de quelques degrés par rapport aux axes principaux du modèle à cause des différents obstacles présents dans l'écoulement. Les images de calibration des plans 1 et 2 sont représentées à la Figure 5. Elles se situent juste en dessous de l'entrée du cœur du réacteur. La plaque de calibration a été alignée avec le plan lumineux de la tranche laser. Cet alignement est une opération délicate, à cause du peu de manœuvrabilité de la plaque de calibration dans le modèle à eau et du Laser autour du modèle. La plaque de calibration est composée de cercles de 6 mm distants de 10 mm, répartis de manière uniforme. La ligne bleue représente le contour de l'entrée du cœur du réacteur. Lors du traitement des images PIV, un masque est appliqué pour éliminer les informations au-dessus de cette ligne bleue. Cette plaque de calibration est immergée dans l'eau et permet ainsi de prendre en compte simultanément toutes les distorsions. La calibration permet de déterminer la relation entre les pixels et les dimensions géométriques. Avant la mise en route du modèle, la plaque de calibration est retirée sans modifier les différents réglages optiques. L'image de calibration placée au niveau de la sortie d'une des pompes est représentée à la figure 6. Les deux caméras pour les mesures stéréoscopiques sont également visibles dans cette figure. L'image de calibration est composée de deux plans superposés qui glissent l'un par rapport à l'autre afin de calibrer le déplacement dans la troisième direction.

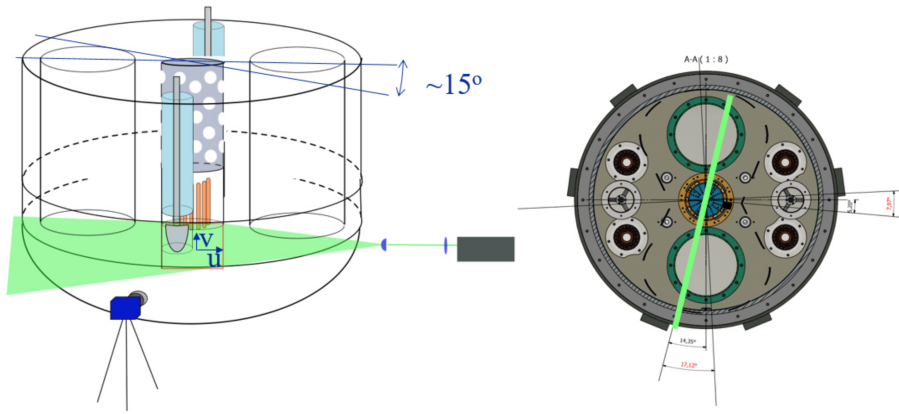


Figure 2: Mesures PIV dans le bassin inférieur de MYRRHABELLE – plan n°1.

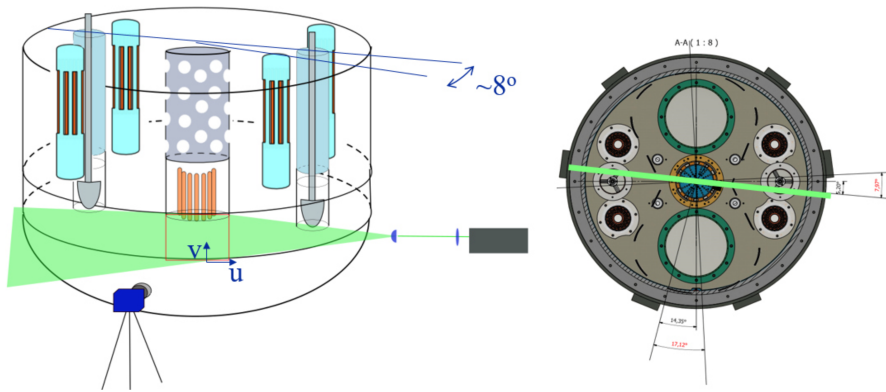


Figure 3: Mesures PIV dans le bassin inférieur de MYRRHABELLE – plan n°2.

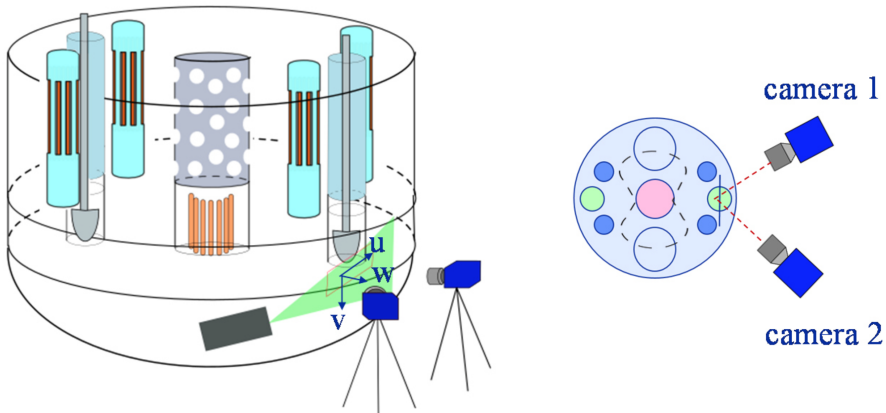


Figure 4: Mesures stéréo-PIV dans MYRRHABELLE – sortie des pompes.

L'ensemencement du liquide est réalisé à l'aide de particules fluorescentes d'un diamètre de 45 μm . L'utilisation d'un filtre passe-haut permet d'éliminer la lumière parasite provenant des éléments immergés. Des images de haute qualité sont ainsi obtenues avec un rapport signal/bruit fortement amélioré.

Les champs moyens sont obtenus à partir de 2400 paires d'images enregistrées à une fréquence de 15Hz, ce qui correspond à un temps d'acquisition de 160 secondes.

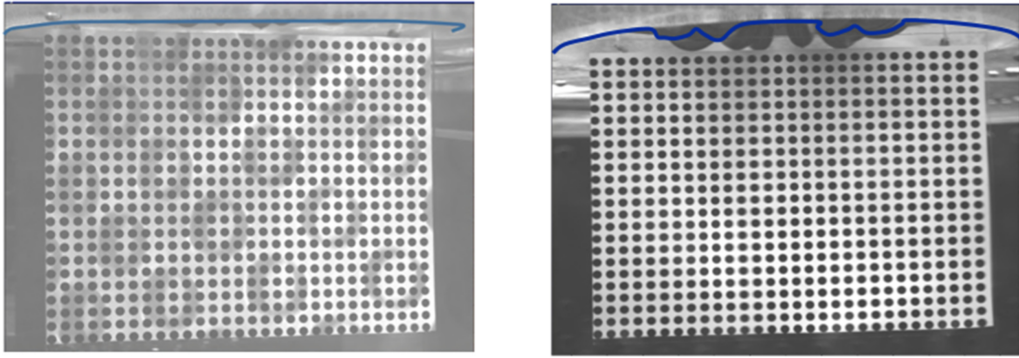


Figure 5: Image de calibration (plan 1 et plan 2).

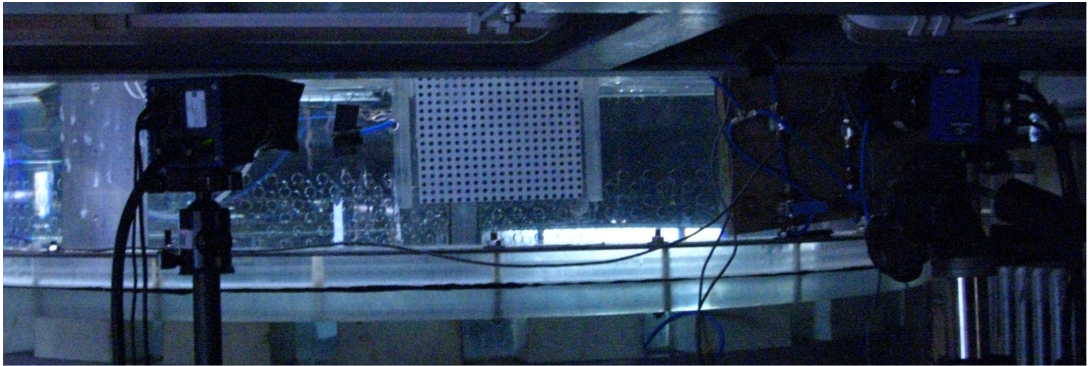


Figure 6: Image de calibration - sortie d'une des pompes.

4 Résultats

Les mesures sont enregistrées en fonctionnement nominal, lors de phénomènes transitoires et lors de scénarios d'accident. Les mesures présentées ci-dessous se limitent au fonctionnement nominal et au mode de fonctionnement en convection naturelle, qui correspond à l'arrêt des pompes du réacteur. Les résultats servent à valider les simulations numériques.

La figure 7 présente le champ de vitesse à l'entrée du cœur dans la fenêtre représentée à la figure 5 (image de gauche), après traitement des images. La figure 7 illustre le champ de vitesse superposé à l'amplitude de la composante horizontale de vitesse (figure de gauche) et superposé à la composante verticale de vitesse (figure de droite). L'écoulement est quasi symétrique. On observe à l'entrée du cœur du modèle une vitesse verticale quasi uniforme atteignant 8 cm/s. Les deux zones de plus basse vitesse correspondent à la présence des résistances chauffantes situées à l'entrée du cœur. Cette observation est également valable pour la composante verticale de vitesse dans le plan n°2 (figure 8). Les résultats dans le plan n°2, plan quasi aligné avec le plan formé par les deux pompes, sont représentés à la figure 8. On observe une composante radiale de vitesse (figure de gauche) plus marquée par rapport au plan n°1. L'écoulement rentre dans le cœur du modèle à eau principalement par les côtés. La base de l'image ($y=200$ mm) est située à un niveau inférieur à un diamètre du cœur. A cette distance, les vitesses sont inférieures à 2 cm/s.

Lors de l'arrêt des deux pompes, une boucle de circulation naturelle s'établit dans le modèle à eau. Les vitesses sont bien entendu plus faibles. Les mesures PIV ont été réalisées dans les mêmes plans, en ajustant l'intervalle de temps entre deux images afin de garantir un déplacement des particules de minimum 10 pixels dans les zones de haute vitesse, ce qui amène à des déplacements de l'ordre du pixel dans des zones de très basse vitesse. La figure 9 illustre le champ de vitesse dans le plan n°1 (composante horizontale dans la figure de gauche et composante verticale dans la figure de droite). On observe une diminution des vitesses de quasi un ordre de grandeur et un écoulement quasi exclusivement radial, ce qui est une information importante au niveau de l'écoulement dans le bassin inférieur du modèle à eau. La composante verticale de vitesse à une distance de 200 mm de l'entrée est quasi nulle, tandis

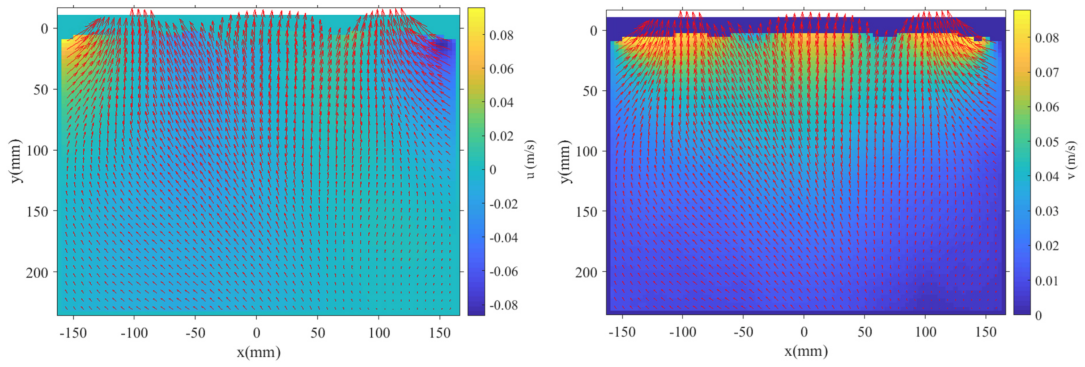


Figure 7: Champ de vitesse dans le plan n°1.

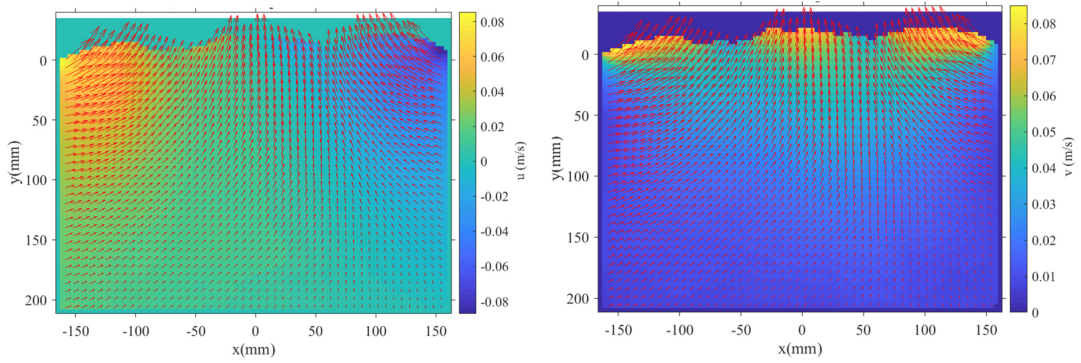


Figure 8: Champ de vitesse dans le plan n°2.

que proche de l'entrée, celle-ci atteint une valeur maximale, liée à la présence d'un écoulement radial important. Les mêmes remarques peuvent être faites pour les résultats du plan n°2. L'amplitude des vitesses est cependant légèrement plus faible dans ce plan. Le champ de vitesse en sortie des pompes

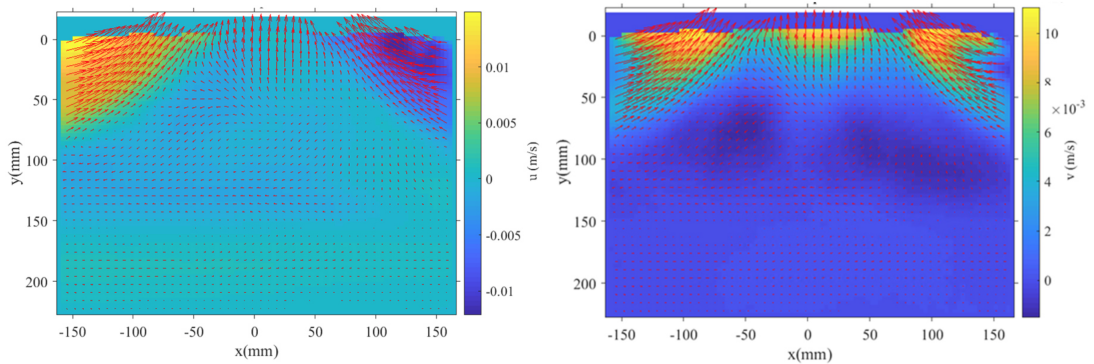


Figure 9: Champ de vitesse dans le plan n°1 – convection naturelle.

(plan de mesure de la figure 4) n'était pas disponible au moment de l'écriture de cette communication. Les résultats seront néanmoins présentés oralement.

5 Conclusions

La construction d'un modèle à eau transparent du circuit primaire d'un nouveau réacteur de recherche a permis l'utilisation de techniques de mesure non-intrusives pour la caractérisation du champ de vitesse.

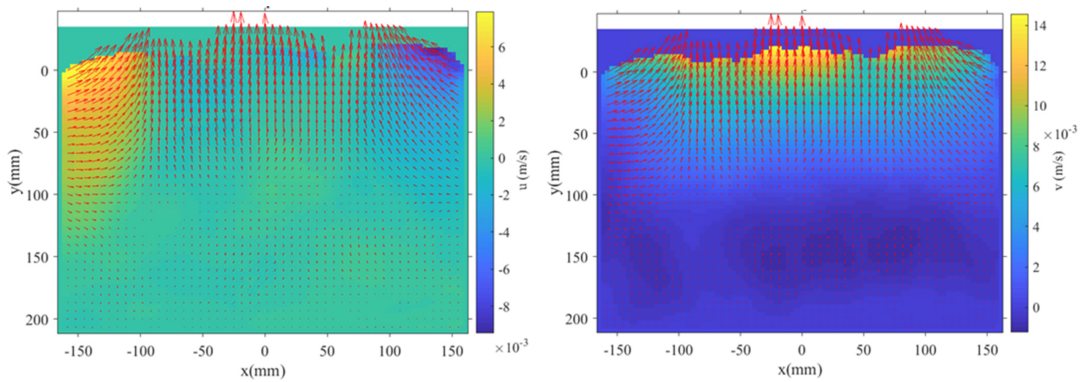


Figure 10: Champ de vitesse dans le plan n°2 – convection naturelle.

Cette caractérisation se fait pour des conditions nominales de fonctionnement et également lors de la simulation physique de scénarios d'accident.

Malgré un accès optique difficile, lié à la présence de nombreux obstacles dans le bassin inférieur, des images PIV de bonne qualité ont été obtenues. L'utilisation de particules fluorescentes a également permis d'augmenter considérablement le rapport signal bruit.

Cette caractérisation hydraulique a permis de caractériser la structure de l'écoulement à l'entrée du cœur du modèle pour deux modes de fonctionnement. Les mesures ont mis en évidence une composante radiale de l'écoulement importante proche de l'entrée du cœur. Cette composante radiale est la composante principale dans le mode de fonctionnement en convection naturelle.

Les résultats servent de base de validation pour les simulations numériques qui sont réalisées en parallèle.

References

- [1] H. Ait Abderrahim, K. Nakajima (Ed.), Nuclear Back-end and Transmutation Technology for Waste Disposal, pp. 59-71, Springer, Japan (2015).
- [2] http://sckcen.be/en/Technology_future/MYRRHA
- [3] K. Van Tichelen, G. Kennedy, F. Mirelli, D. Rozzia, E. Cascioli, A. Marino, A. Toti, S. Keijers, Ph. Planquart, "Advanced Liquid-metal thermal-hydraulics research for MYRRHA", Proceedings of the ANS Winter Meeting, Orlando, FL, USA, November 11-15 (2018).
- [4] C. Spaccapaniccia, P. Planquart, JM. Buchlin, M. Grecco, F. Mirelli, K. Van Tichelen, "Experimental results from a water scale model for the thermal-hydraulic analysis of a HLM reactor", The 16th International Topical meeting on Nuclear reactor Thermal Hydraulics, NURETH-16; Chicago (USA), 2015
- [5] C. Spaccapaniccia, Experimental study of natural convection internal flows PhD Thesis, Université Libre de Bruxelles (2016).