

UTILISATION DE LA STEREO PIV POUR L'OPTIMISATION DES MESURES DE VITESSE DE FUMÉE D'INCENDIE A UN PASSAGE DE PORTE PAR DES SONDES BIDIRECTIONNELLES

Amine Koched^a, Hugues Prétrel^{a,*}, Olivier Vauquelin^b et Laurent Audouin^a

(a) Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), PSN-RES/SA2I, Laboratoire ETiC, Centre de Cadarache, Bâtiment 346, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance, France

(b) Université Aix-Marseille, IUSTI UMR 6595, Laboratoire ETiC, 5 rue Enrico Fermi, 13453 Marseille, France

*Correspondant: hugues.pretrel@irsn.fr

Résumé : La technique Stéréo PIV est appliquée à un écoulement de fumée d'incendie à un passage de porte afin d'optimiser, par comparaison avec des mesures déprimogènes (de type « Pitot » moyenné), leur nombre et positionnement. L'écoulement de passage de porte est un écoulement de convection mixte combinant les effets de la convection forcée induite par la ventilation mécanique et de la convection naturelle induite par l'incendie. Cette étude met en évidence l'intérêt d'utiliser des techniques de mesure avancées pour l'optimisation des mesures conventionnelles couramment utilisées pour les essais d'incendie à grande échelle.

1 Introduction

Cette étude est menée conjointement par le laboratoire IUSTI (Aix-Marseille Université) et l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN). Elle fait partie d'un projet dénommé PIVFEU qui concerne l'application de la technique de mesure de vélocimétrie par imagerie de particules stéréoscopique (Stéréo PIV ou SPIV [1]) à grande échelle pour caractériser des écoulements de fumée d'incendie. L'écoulement étudié est celui qui s'établit à travers un passage de porte lors d'un incendie dans une enceinte confinée et mécaniquement ventilée. L'écoulement se caractérise par deux flux bidirectionnels de directions opposées, de fumée en partie haute de la porte et d'air frais en partie basse (Figure 1).

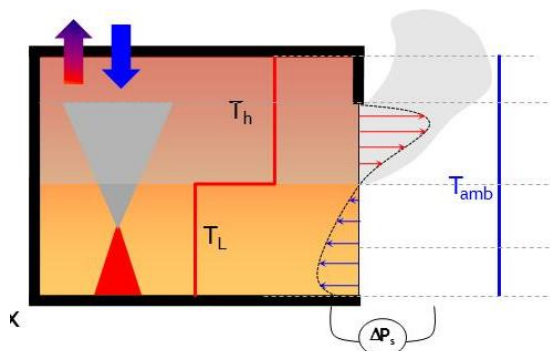


Figure 1 : Illustration d'un écoulement à un passage de porte

Les applications de la PIV aux écoulements rencontrés lors d'un incendie se sont largement développées ces dernières années (entraînement d'air autour d'un feu de nappe [2], [3], écoulement au niveau d'un passage de porte en convection naturelle notamment [4], [5]). Dans le cadre du projet PIVFEU, l'étude de l'influence de la ventilation forcée sur

l'écoulement à un passage de porte a été abordée à petite et grande échelle ([6], [7]).

La technique Stéréo PIV permet de réaliser une description détaillée et instantanée de l'écoulement qui peut être utilisée pour déterminer expérimentalement le débit au passage de porte ainsi que le coefficient de décharge de l'ouverture, données nécessaires pour les modèles de codes à zones par exemple.

Ces travaux ont également permis de mener une étude comparative entre la technique avancée Stéréo-PIV et les techniques de mesures conventionnelles. Une de ces techniques, largement utilisée pour des essais « incendie » à échelle réelle, met en jeu la sonde déprimogène de type « Pitot moyenné » appelée aussi sonde bidirectionnelle (SBD) ou sonde de « McCaffrey » [8]. Ces sondes SBD sont intrusives et sont basées sur la mesure d'une différence de pression proportionnelle à une pression dynamique locale ρU^2 . La forme de la sonde permet une mesure de vitesse dans les deux sens autour d'une même direction. Un coefficient de sonde est nécessaire au calcul de la vitesse. Communément, la mesure d'un écoulement à un passage de porte par SBD consiste à positionner plusieurs sondes (de deux pour les expérimentations les plus sommaires à sept ou huit pour les essais les mieux instrumentés) sur l'axe vertical au centre de la porte. Les débits de fumée et d'air frais sont ensuite évalués par intégration des profils de vitesse. Les mesures PIV montrent qu'en raison du caractère multidimensionnel de l'écoulement, le positionnement et le nombre de sondes bidirectionnelles peuvent être optimisés afin de permettre une détermination plus précise des débits entrants et sortants et de la position de l'interface.

L'objet de cette contribution est d'exploiter les mesures Stéréo-PIV afin d'optimiser la position et le nombre des SBD pour une mesure plus précise des

écoulements à un passage de porte à grande échelle.. L'étude présentée dans cette publication s'appuie sur des résultats expérimentaux obtenus à échelle réduite et à grande échelle. Une première partie décrit les expérimentations. Les deux sections suivantes présentent deux études comparatives entre les techniques SPIV et SBD en convection forcée à température ambiante puis en convection naturelle avec une source incendie. Une dernière partie propose une configuration optimale pour la mesure des écoulements de fumée avec des SBD en s'appuyant sur les mesures SPIV.

2 Expérimentations et moyens de mesure

2.1 Les dispositifs expérimentaux

Les essais ont été réalisés pour une configuration géométrique comprenant une enceinte équipée d'une porte et à l'intérieur de laquelle une source « incendie » est produite par un brûleur à gaz. Deux dispositifs expérimentaux ont été utilisés pour deux échelles géométriques. A échelle réduite, le dispositif expérimental, dénommé NYX, comprend un volume total d'environ 1m^3 ($1.3\text{m}\times 1\text{m}\times 0.8\text{m}$) équipé d'une porte de dimensions $H\times W=0.65\text{m}\times 0.26\text{m}$. A échelle réelle, le dispositif HYDRA (reprenant les dimensions du dispositif normalisé Room Corner Test ISO-9705) comprend un volume total d'environ 21m^3 ($2,4\text{m}\times 3,6\text{m}\times 2,4\text{m}$) équipé d'une porte de dimensions $H\times W=2\text{m}\times 0.79\text{m}$. Les deux dispositifs sont reliés à un réseau de ventilation équipé d'un ventilateur permettant l'application d'un débit de ventilation forcée, en mode « extraction » (l'air entre dans l'enceinte par la porte) ou en mode « soufflage » (l'air sort de l'enceinte par la porte).

Deux types d'expérimentations sont réalisés dans cette étude. Le premier type concerne des essais de convection forcée à température ambiante sans feu. L'écoulement est induit uniquement par la ventilation mécanique. Des expérimentations à petite et grande échelle sont considérées. La ventilation mécanique est appliquée à l'enceinte suivant les deux modes, « extraction » et « soufflage ». Plusieurs débits de ventilation sont considérés dans l'étude ; (100 ; 250) m^3/h pour NYX et (500 ; 2500) m^3/h pour HYDRA. Le second type d'expérimentation concerne des essais de convection naturelle en présence d'un feu à échelle réduite uniquement (dans le dispositif NYX). Les puissances de feu considérées sont 7.8kW, 10.6kW, 15.5kW et 21.7kW.

Des mesures de température à l'intérieur de l'enceinte et au passage de porte ont été réalisées ainsi que des mesures de vitesse au passage de porte (Figure 2). Les températures de gaz sont mesurées par des thermocouples de type K fixés à différentes hauteurs sur des mâts placés à l'intérieur de l'enceinte à deux positions différentes et au passage de porte.

La vitesse de l'écoulement au passage de porte est mesurée par des SBD et par SPIV. Pour les mesures par SBD, sept sondes sont placées sur l'axe vertical au centre du passage de porte. Leurs positions sont respectivement à 10mm ; 115mm ; 220mm ; 325mm ; 430mm ; 535 ; 640mm du sol pour l'installation à échelle réduite et à 30mm ; 360mm ; 700mm ; 1010mm ; 1335mm ; 1660mm ; 1980mm du sol dans l'installation à grande échelle. Un thermocouple pour mesurer la température des gaz est associé à chaque sonde. Cette mesure de température est utilisée pour calculer la vitesse ainsi que le débit massique. Le calcul du débit est effectué par intégration du profil de vitesse sur la hauteur de la section de la porte en associant une surface à chaque point de mesure de vitesse et température. Les vitesses positives sont associées à des flux sortants et les vitesses négatives à des flux entrants.

Le réseau de ventilation est équipé d'une mesure de débit permettant de caractériser le débit d'air apporté par la ventilation mécanique.

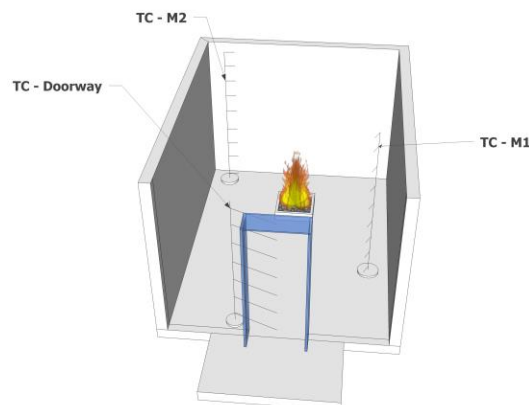


Figure 2: Illustration des deux dispositifs expérimentaux et de la position des mesures de température

2.2 Le système SPIV

La mesure SPIV repose sur un module standard comprenant un laser pulsé Nd-YAG d'une puissance de 200mJ/pulse synchronisé à deux caméras CCD double frames d'une résolution de 11 Mpixels et cadencées à une fréquence maximale de 2Hz. La taille maximale des champs mesurés dans cette étude est d'environ 1.6m^2 pour les essais réalisés à grande échelle et d'environ 0.2m^2 pour les essais à échelle réduite. La nappe laser éclaire le plan dans la section de la porte et les caméras sont placées en face de la porte d'un même côté de la nappe laser. L'écoulement entrant estensemencé par des particules d'huile d'olive et l'écoulement sortant estensemencé par les particules de suies générées par la flamme à l'intérieur de l'enceinte (Figures 3). La durée d'acquisition est fixée à 400 secondes pour avoir la convergence statistique des moments d'ordre 1 et 2. Les champs instantanés de vitesse sont ensuite moyennés dans le temps.

A partir de ces champs de vitesse, les débits des écoulements entrant et sortant sont calculés en associant à chaque vecteur vitesse une section élémentaire de passage. La masse volumique des gaz pour chaque section élémentaire est évaluée à partir des profils de température mesurés. Les amplitudes positives et négatives sont considérées respectivement pour le débit d'air frais entrant et le débit des fumées sortantes.

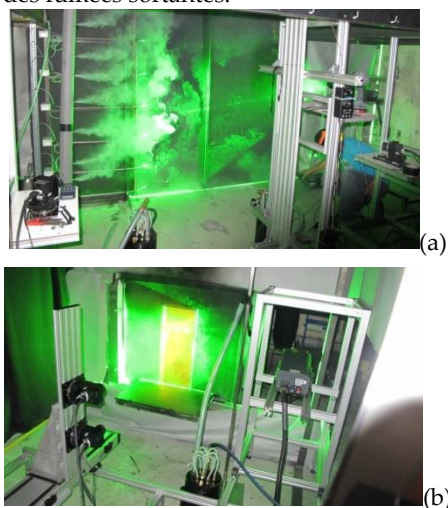


Figure 3 : Mesures SPIV réalisées au passage de porte a) test en convection forcée à grande échelle (HYDRA) b) test en convection naturelle à échelle réduite (NYX)

3 Ecoulement monodirectionnel de convection forcée à température ambiante

Une première étude porte sur la vérification des mesures SPIV en s'appuyant sur l'écoulement de convection forcée monodirectionnel à un passage de porte induit en ventilation forcée uniquement (sans présence de source incendie). Les débits massiques calculés à partir des champs moyens de vitesse SPIV au passage de porte (noté m_{SPIV}) sont comparés aux débits mesurés directement dans le réseau de ventilation (noté m_{Vent}).

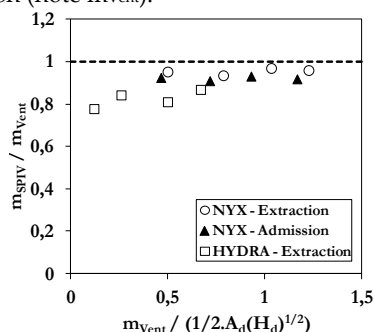


Figure 4 : Vérification des mesures SPIV à petite et grande échelles à température ambiante (sans feu)

La figure 4 présente l'évolution du rapport entre les deux débits en fonction du débit, dit « de référence » mesuré dans le réseau de ventilation (ici adimensionné par les dimensions de la hauteur de porte, H_d et de la section du passage de porte A_d). Les rapports des deux débits tendent vers 1 pour les

essais à échelle réduite et à grande échelle. La précision de la mesure SPIV augmente avec l'amplitude du débit de ventilation et la réduction de l'échelle du dispositif.

Sur la base de cette validation, des essais à grande échelle dans le dispositif HYDRA sont exploités afin de comparer des profils de vitesse issus de mesures SPIV et SBD en ventilation mécanique sans feu à température ambiante. Les débits d'extraction considérés sont $500\text{m}^3/\text{h}$, $1000\text{m}^3/\text{h}$, $2000\text{m}^3/\text{h}$ et $2500\text{m}^3/\text{h}$. La figure 5 présente, pour ces 4 niveaux de débits, le champ de vitesse SPIV ainsi qu'une comparaison des profils verticaux de vitesse SPIV et SBD au centre de la porte.

Les résultats montrent une différence notable entre les mesures de vitesse par SPIV et par les SBD en partie haute et en partie basse de la porte en proche paroi, où les vitesses de l'écoulement sont les plus faibles. A proximité des parois, la différence de pression renvoyée aux bornes de la SBD est trop faible pour être mesurée avec précision par les transmetteurs de pression. Ces résultats montrent la faiblesse des mesures SBD à proximité des parois.

Afin d'évaluer cet effet sur la mesure de débit, une étude comparative sur la méthode d'intégration des profils verticaux SBD est menée. Les débits « expérimentaux », m_{exp} , sont calculés à partir de quatre méthodes d'intégration et sont comparés au débit, m_{vent} , mesuré dans le réseau de ventilation. Les quatre méthodes d'intégration se distinguent par un nombre différent de sondes SBD pris en compte:

- Cas 1 : Les sept SBD sont utilisées,
- Cas 2 : Les cinq SBD centrales sont considérés,
- Cas 3 : Deux SBD à 0,7m et 1,34m sont retenues,
- Cas 4 : Une seule sonde à $z=1,01\text{m}$ est utilisée.

La figure 6 présente la comparaison des débits obtenus avec les SBD suivant les quatre méthodes avec ceux mesurés sur le réseau de ventilation. Le débit obtenu par intégration des mesures SPIV est également présenté (losange). De façon surprenante, la réduction du nombre de SBD (et donc du nombre de points de mesure) permet de réduire l'écart entre le débit calculé à partir des SBD et celui mesuré par SPIV. Dans le cas particulier de ces essais, le recours à une seule SBD (au lieu de sept), placée au centre de la porte, donne, paradoxalement, une bonne représentation du débit d'air à travers la porte et la prise en compte des autres mesures proches des parois conduit à dégrader le calcul du débit. Ce résultat est particulier à ces essais et ne peut bien-sûr être généralisé. Il est à rapprocher des règles de mesure préconisées pour les écoulements internes dans les conduites. Pour l'utilisation de sondes intrusives, il est recommandé de positionner les sondes de préférence dans la zone de vitesse maximale (vitesse débitante) que proche des parois où la vitesse est faible (couche limite) et ainsi la mesure moins précise.

Pour un écoulement à un passage de porte, les zones de faible vitesse sont importantes et le positionnement des SBD dans ces zones doit être

limité afin de réduire l'incertitude dans le calcul du débit.

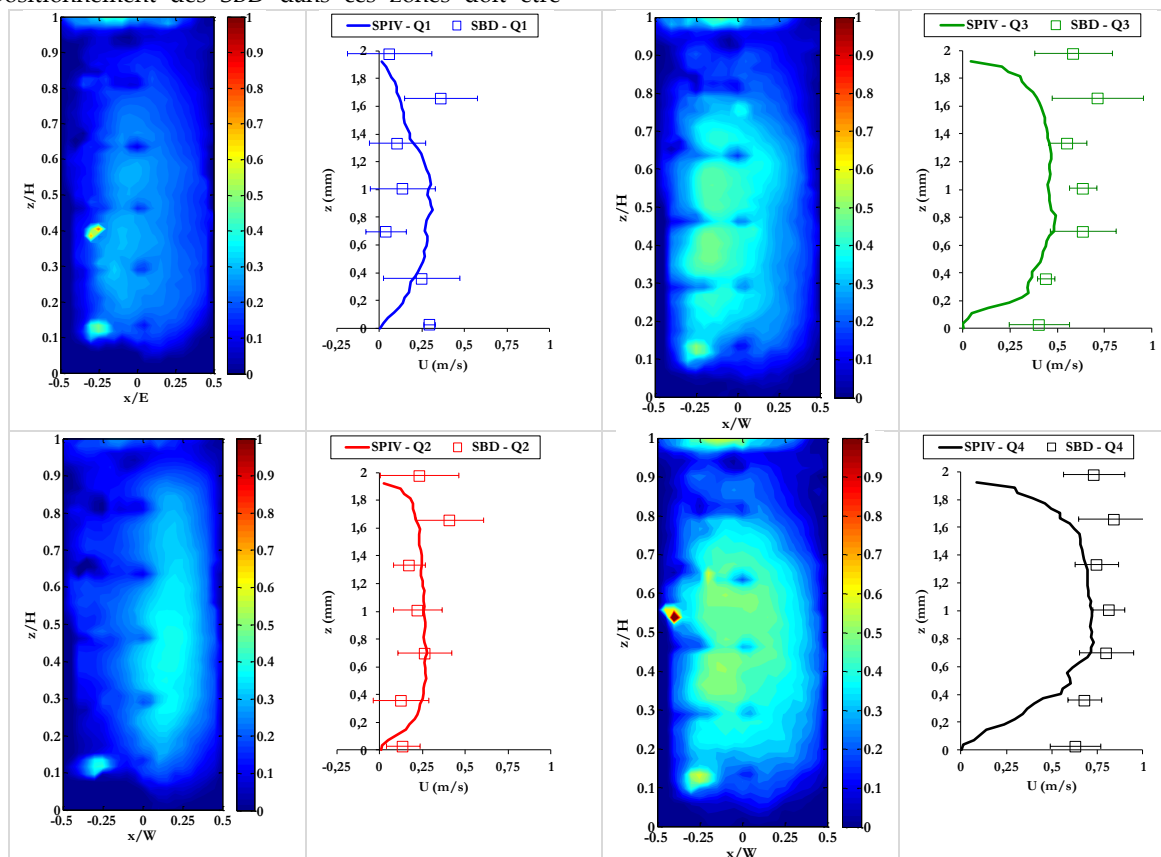


Figure 5 Illustration d'un écoulement monodirectionnel à un passage de porte en convection forcée

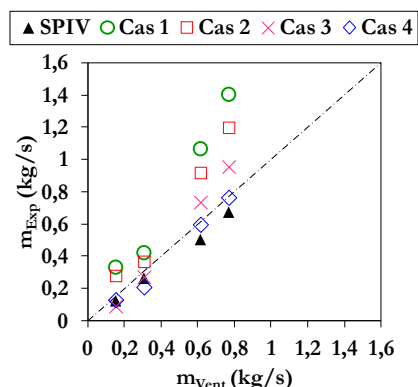


Figure 6: Comparaison entre les débits massiques mesurés avec SPIV et SBD pour quatre méthodes d'intégration et les débits de ventilation

4 Ecoulement bidirectionnel en convection naturelle en présence d'une source incendie

L'étude comparative est ensuite menée sur l'écoulement bidimensionnel de convection naturelle induit par une source incendie. Les mesures sont réalisées à échelle réduite sur le dispositif NYX. Le paramètre d'étude est la puissance du feu [7.8kW, 10.6kW, 15.5kW et 21.7kW] obtenue en variant le débit de gaz du brûleur.

Les champs de vitesse moyenne obtenus par SPIV sont présentés sur la figure 7 pour les quatre puissances de feu.

Pour ces essais, la technique SPIV a présenté des limites pour la mesure des vitesses en partie haute du passage de porte. Dans cette région, la concentration élevée et non contrôlée de suie ainsi que le dépôt de celle-ci sur les parois en verre constituant le pourtour de la porte (figure 2) ont induit des anomalies de mesure sur les vitesses instantanées. En partie haute de la porte ($z/H > 0.8$) et pour les puissances de 10.6kW et 15.5kW, les mesures SPIV présentent des incertitudes non contrôlées. En dehors de cette bande, les mesures sont considérées satisfaisantes. Seuls les débits d'air frais entrant seront ensuite analysés.

Les profils verticaux de vitesse mesurés par SPIV et par les SBD sont comparés sur la figure 8 pour les quatre niveaux de puissance. Les résultats montrent un bon accord sur les amplitudes de vitesse mesurées loin des parois de la porte ainsi que sur l'évaluation de la position de l'interface (altitude pour laquelle la vitesse est nulle). Par contre, en proche paroi, comme pour les essais en convection forcée, les SBD ont tendance à surestimer les vitesses.

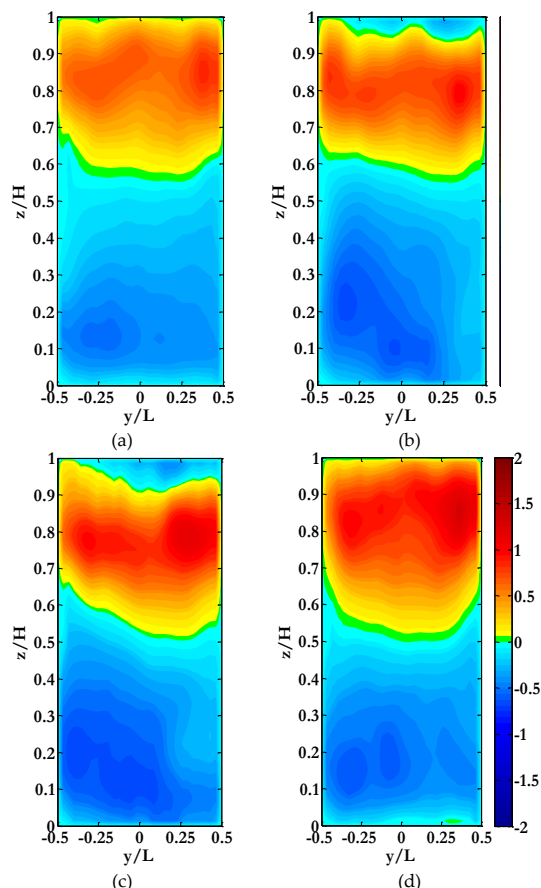


Figure 7 : Champs de vitesse mesurés par SPIV au passage de porte en convection naturelle à échelle réduite pour quatre puissances de feu (a=7.8 kW, b=10.6kW, c=15.5 kW, d=21.7 kW)

Les débits massiques sont ensuite déterminés à partir des deux techniques de mesure SPIV et SBD par intégration des mesures de vitesse.

Suivant la même démarche qu'en convection forcée à température ambiante, quatre méthodes d'intégration sont considérées pour le calcul du débit avec les SBD :

- Cas 1 : Les sept SBD sont utilisées,
- Cas 2 : Les cinq SBD centrales sont considérées,
- Cas 3 : en gardant deux sondes en bas (à $z/H=0,18$ et à $z/H=0,34$) et 2 sondes en haut (à $z/H=0,67$ et à $z/H=0,83$),
- Cas 4 : en utilisant une seule sonde en bas ($z/H=0,18$) et une seule sonde en haut ($z=0,83$).

Les débits massiques entrant et sortant obtenus avec les SBD et uniquement entrant avec la SPIV sont comparés sur la figure 9 pour les quatre méthodes d'intégration et les quatre puissances de feu. N'ayant pas pour cette configuration de mesure de référence du débit comme dans le cas de la convection forcée à température ambiante, la mesure SPIV est considérée ici comme la mesure la plus précise. Un schéma illustrant chacune des méthodes d'intégration est également présenté sur la figure 9.

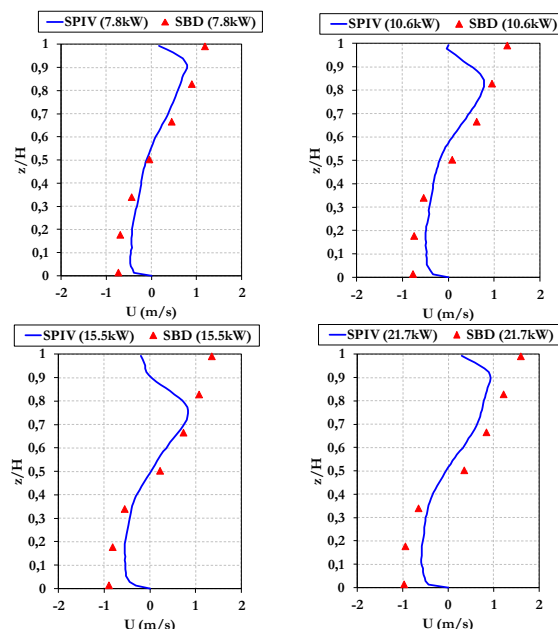


Figure 8 : Profils verticaux de vitesse mesurés au passage de porte par SPIV et les SBD pour quatre niveaux de puissance en convection naturelle et à échelle réduite

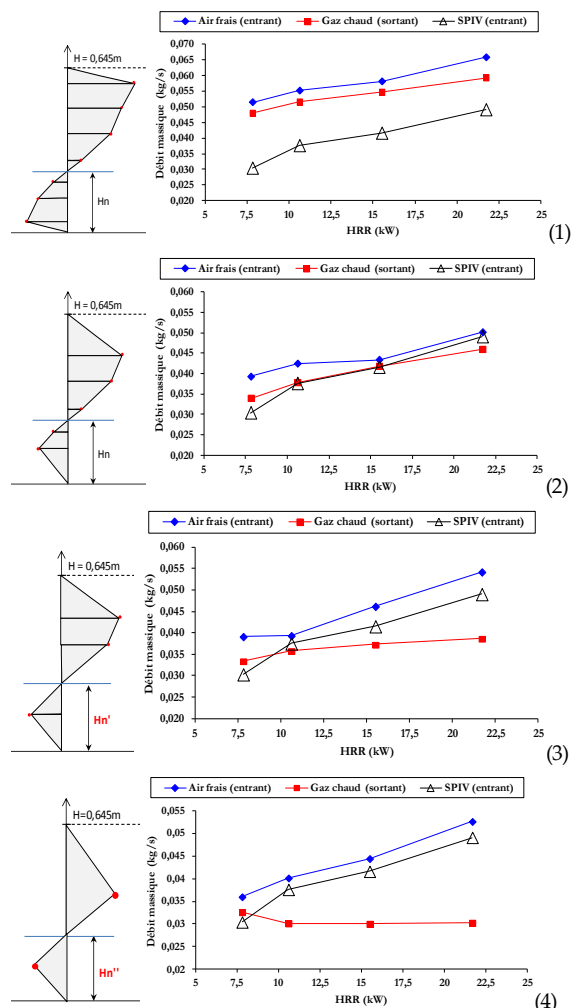


Figure 9 Comparaison des débits massiques calculés à partir des mesures SPIV et par les SBD pour les quatre méthodes d'intégration

La méthode d'intégration n°2 donne le meilleur résultat concernant la conservation des débits entre les flux entrant et sortant ainsi que pour la comparaison avec la mesure SPIV. La méthode n°1 donne une bonne conservation de débit mais surestime l'amplitude du débit probablement en raison de la surestimation des vitesses proches du sol et du haut de la porte. Les méthodes n°3 et n°4 donnent des résultats trop dégradés par rapport à la mesure SPIV.

Ces résultats confirment les conclusions obtenues en convection forcée sans feu indiquant la nécessité de ne pas placer les SBD à proximité des parois. Cependant, ces résultats montrent également que dans le cas d'un écoulement bidirectionnel, un nombre suffisant de sondes doit être placé au centre de l'écoulement afin d'appréhender l'interface nécessaire à un calcul précis des débits entrant et sortant.

5 Optimisation de la position des SBD sur la base des mesures SPIV

Afin de poursuivre l'amélioration de la position des SBD, une distribution des SBD sur des positions autres que celles situées sur l'axe du passage de porte est étudiée. N'ayant pas de mesures SBD disponibles ailleurs que sur l'axe vertical au centre de la porte, une méthode d'optimisation basée sur les champs de vitesse SPIV est proposée. La méthode consiste à sélectionner un nombre limité de points de mesure (entre 4 et 8) sur le champ de vitesse SPIV et de calculer ensuite, uniquement à partir de ce nombre réduit de points, les débits des gaz entrant et sortant ainsi que la hauteur du plan neutre.

Six schémas de mesure ont été sélectionnés. Les points sont choisis en gardant les mêmes hauteurs au sol que celles des SBD utilisées précédemment sauf pour certains cas où des positions sont rajoutées dans les coins supérieurs et inférieurs de la porte ($z/H = 0,1$ et $0,9$; $y/L = \pm 0,25$). La Figure 10 présente l'ensemble des six schémas de mesure. Pour chaque schéma, sont présentées les positions des sondes fictives (croix), le découpage du plan de la porte (pour le calcul des débits par intégration des vitesses).

Différentes positions de l'interface entre les gaz entrant/sortant sont également présentées (points rouge), calculées par interpolation linéaire entre différents points du schéma. Plusieurs positions d'interface sont ainsi trouvées. La figure 11 présente la valeur minimale de l'interface pour les 6 schémas de mesure et pour les quatre puissances de feu.

Les débits massiques des gaz entrant/sortant sont calculés par intégration de la vitesse sur la surface correspondant à chaque point de mesure et en considérant une température de gaz égale à celle mesurée à l'altitude des SBD. La figure 12 présente les débits massiques entrant et sortant obtenus avec les six schémas de mesure (en considérant le nombre réduit de points) ainsi que le débit entrant obtenu à

partir du champ complet. Pour chacun des six schémas de mesure, le calcul est effectué pour les 4 puissances. La courbe représentant les valeurs du débit entrant considérant la totalité du champ de vitesse SPIV est identique sur les 6 graphes de la figure 12.

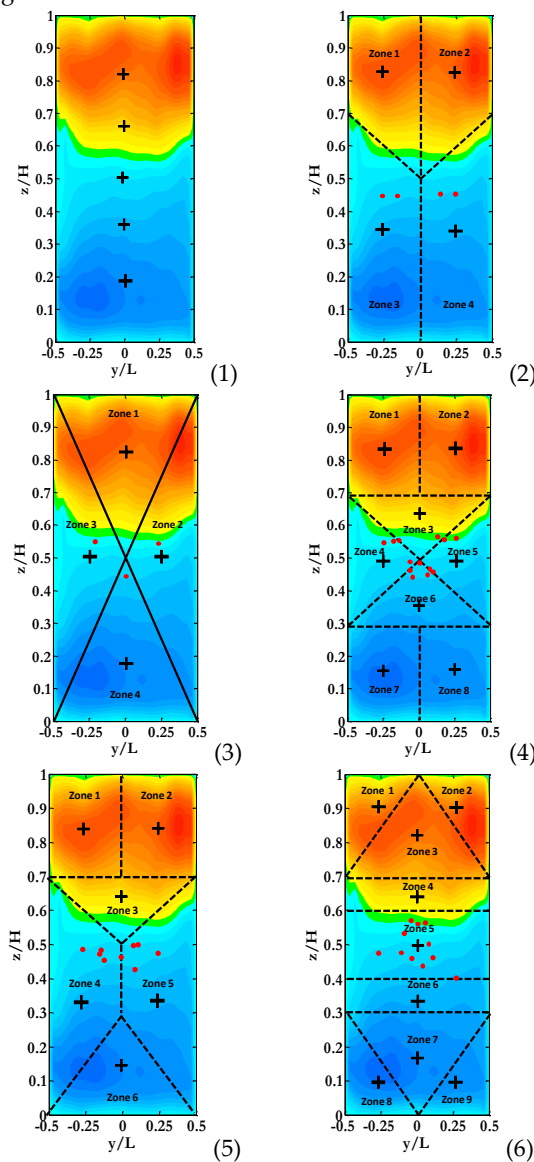


Figure 10 : Illustration des six schémas de mesure présentés sur le champ de vitesse pour la puissance de 7.8kW

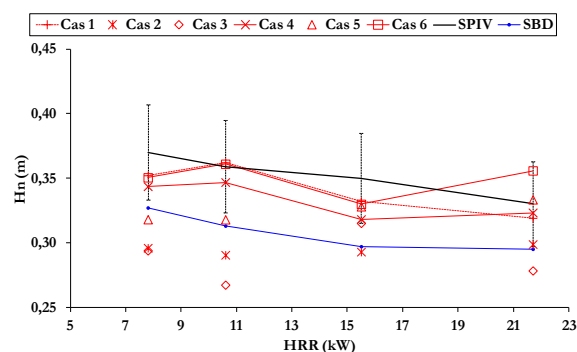


Figure 11: Evolution des hauteurs de plan neutre pour les six schémas de mesure

Pour le schéma de mesure (1), les points extraits des champs SPIV correspondent aux mêmes positions que celles de SBD utilisées précédemment en éliminant les deux positions en haut et en bas de la porte. La comparaison des débits massiques montre une sous-estimation des débits massiques (entrant/sortant) par rapport à la SPIV sans amélioration notable sur la forme et la hauteur du plan neutre.

Un deuxième schéma de mesure (2) est proposé en considérant un arrangement très simple de quatre positions. Malgré une amélioration dans l'estimation des débits massiques des gaz entrant/sortant par rapport au débit de référence mesuré par SPIV, ce schéma sous-estime la hauteur du plan neutre et ne permet pas d'appréhender sa forme courbe.

Une troisième proposition (3) a consisté à diviser le plan de la porte suivant les diagonales en quatre régions en considérant un point de mesure dans

chaque région. Ce schéma a permis une meilleure précision sur la détermination du plan neutre. Cependant, elle n'a pas conduit à une bonne estimation de la conservation des débits.

Le schéma de mesure (4) est plus élaboré en combinant les cas (2) et (3). Deux points latéraux en haut et en bas de la porte sont rajoutés et quatre points sont concentrés à proximité de l'interface. Ce schéma donne une bonne estimation des débits massiques entrant/sortant et confirme les résultats trouvés pour le cas 2 concernant la hauteur du plan neutre. En effet, une bonne estimation de la hauteur du plan neutre est obtenue par interpolation entre les points les plus rapprochés de l'interface pour l'ensemble des puissances de feu considérés (Figure 11). Cette configuration comprend un point de mesure supplémentaire que les sept sondes initialement positionnées.

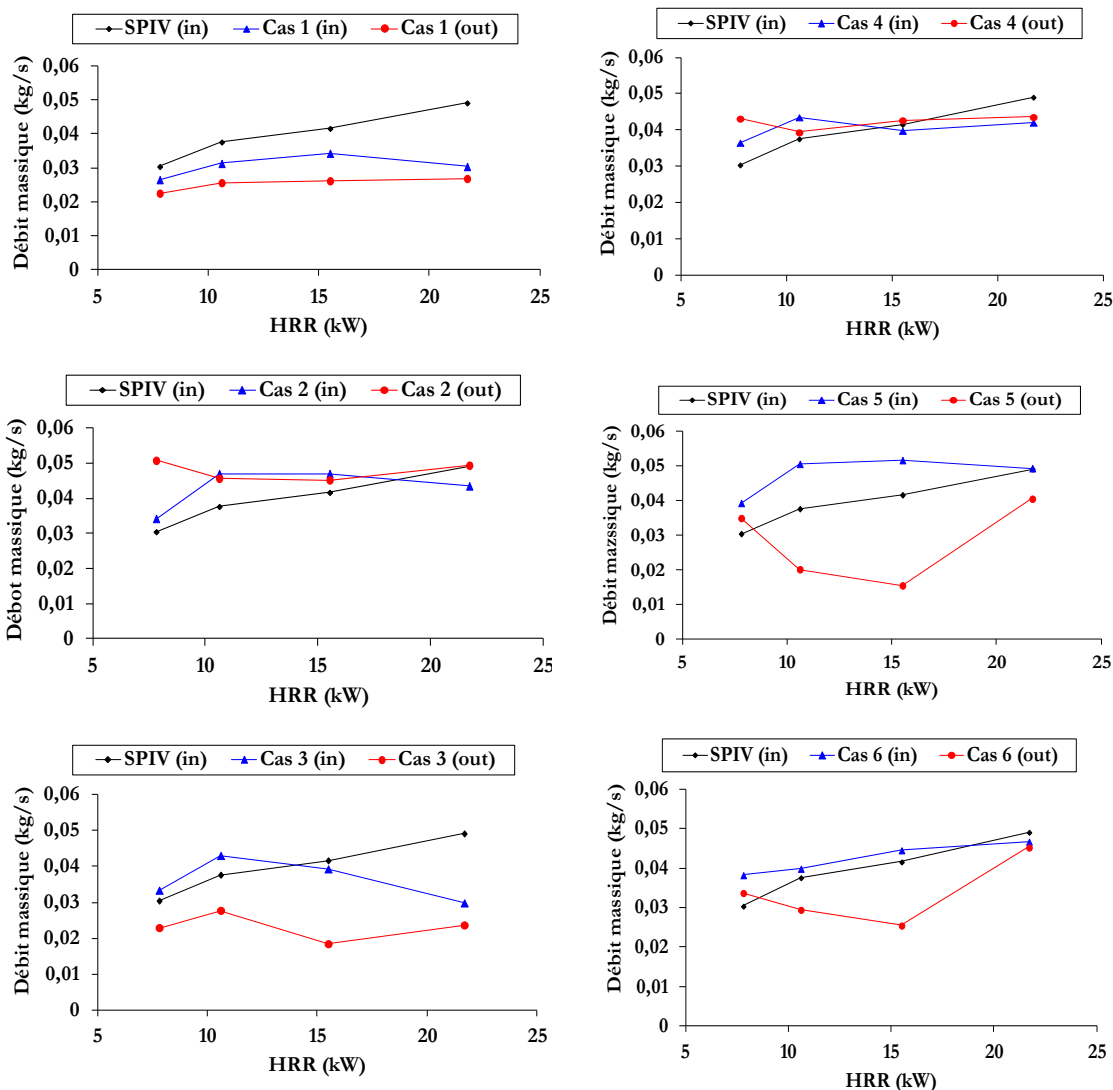


Figure 12 : Comparaison des débits massiques calculés pour les six schémas de mesure par rapport aux débits mesurés sur le champ complet SPIV

Deux autres schémas (5) et (6) ont été proposés afin de réduire le nombre de points de mesure par rapport au schéma N°4. Dans les deux cas, cette diminution n'a pas permis d'atteindre la qualité des résultats du cas (4) concernant la bonne estimation des débits et la position de l'interface.

Sur la base de ces six propositions de positionnement de mesure, le schéma (4) est celui qui permet de se rapprocher au plus près des résultats obtenus en considérant le champ complet de vitesse. Ce résultat montre l'intérêt de répartir des sondes sur la largeur du passage de porte ainsi qu'au niveau de l'interface.

6 Conclusion

Cette étude a mis en évidence l'apport de la technique Stéréo PIV pour aider à optimiser le positionnement de mesures conventionnelles pour caractériser des écoulements de fumées d'incendie au passage d'une porte. Les mesures SPIV d'un écoulement à un passage de porte, en convection forcée à température ambiante et en convection mixte en présence d'un feu, ont été réalisées. Ces mesures ont permis de mettre en évidence de façon détaillée le caractère multidimensionnel de l'écoulement d'air frais entrant et de fumée sortante. A partir de cette connaissance, diverses configurations de positionnement optimum de sondes individuelles intrusives de type SDB pour la mesure de l'écoulement ont pu être testées.

Pour un écoulement à un passage de porte, les résultats montrent que les zones proches des parois ne doivent pas être instrumentées avec les sondes SDB en raison de résultats erronés dus aux faibles amplitudes des vitesses et aux interactions du gaz avec la paroi. Dans le cas de l'écoulement bidirectionnel en convection naturelle, la position de l'interface est une donnée importante pour le calcul des débits à travers la porte (d'air frais entrant dans la zone inférieure et de fumées sortant dans la partie supérieure de la porte) et un positionnement approprié des SDB dans cette région doit être recherché. A partir de ces enseignements et sur la base de la connaissance du champ complet de vitesse (mesure SPIV), un schéma de mesure avec un nombre réduit de sondes est proposé. Cette configuration comprend un total de huit sondes. Quatre sont placées dans les coins de porte suffisamment espacées et éloignées des parois et quatre sont réparties symétriquement autour du centre de la porte. Ce schéma a permis d'obtenir des débits à travers la porte très similaires à ceux obtenus avec l'ensemble du champ de vitesse. Ces résultats montrent que la mesure d'un profil vertical de vitesse sur un seul axe vertical au centre de la porte n'est pas

toujours la meilleure configuration pour caractériser l'écoulement à un passage de porte.

Ces résultats peuvent être utilisés pour améliorer la mesure des écoulements au passage de portes lors d'expérimentations d'incendies à grande échelle impliquant plusieurs enceintes reliées par des portes.

References

- [1] R.D Keane et R. J. Adrian, «Theory of Cross-Correlation Analysis of PIV Images», Applied Scientific Research, Vol.49, Issue 3, pp.191-215, (1992).
- [2] X.C. Hou, Jayavant P. Gore, Howard R. Baum, «Measurements and prediction of air entrainment rates of pool fires», Symposium (International) on Combustion, Vol.26, Issue 1, 1453-1459, (1996).
- [3] S. R. Tieszen, T. J. O'hern, R. W. Schefer, E. J. Weckman, T. K. Blanchat, «Experimental study of the flow field in and around a meter diameter methane fire», Combustion and Flame, Vol.129, Issue 4, 378-391, (2002).
- [4] R. A. Bryant, «The application of stereoscopic PIV to measure the flow of air into an enclosure containing a fire», Experiments in Fluids, Vol.47, 295-308, (2009).
- [5] R. A. Bryant, «Evaluating practical measurements of fire-induced vent flows with stereoscopic PIV», Proceedings of the Combustion institute – Vol.33, 2481-2487, (2011).
- [6] A. Koched, H. Pretrel, L. Audouin, O. Vauquelin et F. Candelier, Application de la PIV sur un écoulement de fumée à un passage de porte induit par une source incendie, 13ième Congrès Francophone de Techniques Laser, CFTL 2012 - ROUEN, 18 – 21 Septembre 2012
- [7] A. Koched, H. Pretrel, O. Vauquelin, L. Audouin, Experimental determination of the discharge coefficient of a doorway using SPIV technique for fire induced flow applications, Proceedings of the 2013 Interflam conference, Interscience Communications Limited, (2013)
- [8] B.J. McCaffrey, G. Heskestad, Robust Bidirectional Low-Velocity Probe for Flame and Fire Application, Combustion and Flame, Vol.26, Issue 1, p.125-127, (1976)