



Étude numérique d'une jonction orthogonale anisotherme d'écoulements turbulents à faible rapport d'injection

Sébastien Menanteau

► To cite this version:

Sébastien Menanteau. Étude numérique d'une jonction orthogonale anisotherme d'écoulements turbulents à faible rapport d'injection. CFM 2013 - 21ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2013, Bordeaux, France. <hal-03441443>

HAL Id: hal-03441443

<https://hal.science/hal-03441443v1>

Submitted on 22 Nov 2021

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

Etude numérique d'une jonction orthogonale anisotherme d'écoulements turbulents à faible rapport d'injection

S. MENANTEAU^{a,b}, D. BOUGEARD^{a,b}, J-L. HARION^{a,b}, T. MULLER^c

^a Univ. Lille Nord de France, F-59000 Lille (France)

^b Mines Douai, EI, F-59500 Douai (France)

^c AREVA NP Centre Technique, Espace Magenta, 71205, Le Creusot Cedex (France)

Résumé étendu :

Dans certaines configurations dans lesquelles un mélange de deux écoulements présentant des températures différentes a lieu à proximité d'une paroi, la structure solide est sollicitée par des contraintes thermiques pouvant conduire à un endommagement significatif. Il est alors nécessaire de caractériser les phénomènes de transport de chaleur dans le sillage de la jonction et d'évaluer les gradients de température moyens et fluctuants à la paroi et dans le solide qui sont à l'origine des contraintes imposées.

Dans la littérature, la dynamique moyenne d'un mélange orthogonal de deux écoulements a été étudiée pour des rapports de vitesse de l'écoulement secondaire sur celle de l'écoulement principal supérieurs à 1 et pour des régimes dynamiques laminaires et turbulents [1,2,3]. Pour des configurations dont le rapport de vitesse est plus faible, la plupart des études ont été réalisées en régime laminaire [4,5]. Elles mettent notamment en évidence la présence de structures instantanées en « épingle à cheveux » qui se forment au niveau du bord de fuite du piquage secondaire et interagissent dans le sillage de l'écoulement. La dynamique moyenne de l'écoulement est quant à elle caractérisée par la présence d'une paire de tourbillons contrarotatifs. D'autre part, l'écoulement secondaire est rapidement infléchi le long de la paroi sous l'effet de l'écoulement principal et le mélange reste confiné proche de la paroi. Par conséquent, lorsque les fluides présentent des températures différentes, leur mélange impose des sollicitations thermiques pariétales importantes. Les études relatives à la fatigue thermique mettent en évidence ce phénomène. La large majorité des études expérimentales et numériques menées dans ce domaine concernent notamment des écoulements hydrauliques circulant dans des conduites cylindriques de même diamètre, présentant des régimes dynamiques fortement turbulents (Reynolds de 10^4 à 10^6) et des rapports de vitesse de 0,5 à 5 [6,7,8]. Or, pour de tels régimes dynamiques, les outils expérimentaux ne permettent d'accéder qu'à une information localisée en dehors de la couche limite côté fluide, ou dans la paroi solide. De plus, la mesure des flux thermiques moyens et fluctuants proche de l'interface fluide-solide, données nécessaires pour la caractérisation des contraintes appliquées à la structure, est très délicate. Par ailleurs, du fait des régimes dynamiques très contraignants numériquement, les simulations numériques de ce type de configuration sont réalisées au moyen de simulations numériques stationnaires RANS et ne permettent donc pas de prédire le caractère fluctuant du signal thermique [9]. Les études réalisées par simulations instationnaires ont pour la plupart recours à l'utilisation de lois de parois qui sont insuffisantes pour caractériser pleinement les fluctuations pariétales et les interactions fluide-solide associées [10].

Le présent travail porte sur l'étude par simulations des grandes échelles (LES) d'une jonction orthogonale de deux écoulements de températures différentes, présentant des régimes dynamiques turbulents pleinement développés. L'écoulement principal circule dans un canal de section transversale rectangulaire de telle sorte que l'écoulement soit bidimensionnel au niveau de l'injection de l'écoulement secondaire. Le nombre de Reynolds principal (basé sur le diamètre hydraulique) vaut 77400 tandis que l'écoulement secondaire circulant à travers une conduite cylindrique est caractérisé par un nombre de Reynolds de 3990 (basé sur le diamètre de la conduite). Ces régimes d'écoulement ont été définis de façon à être pleinement turbulents tout en restant réalistes vis-à-vis des configurations réelles et de l'approche LES envisagée. L'originalité de l'étude numérique ainsi proposée est liée au faible rapport d'injection fixé à 0,12 et au caractère turbulent des écoulements, peu étudié antérieurement, mais aussi à la résolution instationnaire fine des phénomènes dynamiques et thermiques pariétaux.

Le solveur permettant le couplage conducto-convectif a été développé avec la bibliothèque open-source

OpenFOAM. Une attention particulière a été portée à la discrétisation pariétale car il s'agit de la zone d'intérêt afin d'évaluer précisément l'échange de chaleur entre le fluide et la paroi. Ainsi, le premier point de la discrétisation fluide en zone pariétale se situe à $y=7\mu\text{m}$ ($y\sim 0,5$) et 7 mailles sont placées dans la sous-couche visqueuse. Le maillage de la zone de mélange (fluide + solide) cumule ainsi plus de 19,6 millions de mailles. De plus, afin d'obtenir les conditions d'entrée de la zone de mélange, deux simulations LES permettent de générer des champs dynamiques pleinement développés qui sont imposés aux deux entrées de la jonction à chaque pas de temps. Ainsi, la simulation mise en place regroupe deux calculs précurseurs dont les discrétisations spatiales sont identiques aux entrées correspondantes du calcul principal, ce dernier simulant la zone de mélange en incluant le couplage conducto-convectif. Les équations instationnaires et filtrées représentatives de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de la chaleur sont résolues dans le fluide. L'utilisation du modèle dynamique de Smagorinsky pour la viscosité cinématique de sous-maille et le modèle de Prandtl turbulent constant pour la diffusivité de sous-maille permettent de fermer le système d'équations. L'algorithme PISO est utilisé pour le couplage pression-vitesse, l'équation de la chaleur est ensuite résolue dans le fluide puis la condition de conservation du flux et de la température à l'interface permet d'évaluer l'échange thermique avec le domaine solide. L'équation de la chaleur est résolue dans la partie solide après actualisation de la condition limite couplée avec le fluide. Compte-tenu de la discrétisation fine du maillage et de la vitesse débitante des écoulements, le pas de temps est fixé à 10^{-5} seconde pour conserver une contrainte CFL de l'ordre de 1.

Les résultats instantanés et moyens permettent d'observer les structures caractéristiques de l'écoulement identifiées dans la littérature. Le confinement du mélange à proximité de la paroi et la structuration complexe de l'écoulement entraînent un transport de chaleur fortement anisotrope dans le sillage de la jonction. Cette évolution est notamment corrélée à la présence d'un intense échange de chaleur originaire des tourbillons contrarotatifs. Ensuite, l'analyse des gradients de température dans la paroi indique que, proche de la jonction, les composantes longitudinale et transverse du gradient moyen sont du même ordre de grandeur que la valeur moyenne du gradient vertical. Par ailleurs, les niveaux de fluctuations du gradient de température mettent en évidence des valeurs instantanées importantes. La caractérisation de ces fluctuations est essentielle car elles sont à l'origine de contraintes thermiques supplémentaires appliquées au solide. La valeur instantanée du gradient vertical peut ainsi atteindre jusqu'à 1,5 fois la valeur moyenne. Proche de la jonction, les valeurs instantanées du gradient transverse peuvent atteindre jusqu'à 40% de la valeur moyenne.

Références

- [1] Fric T.F., Roshko A., Vortical structure in the wake of a transverse jet, *Journal of Fluid Mechanics*, 279, 1-47, 1994.
- [2] Kelso R.M., Lim T.T., Perry A.E., An experimental study of round jets in crossflow, *Journal of Fluid Mechanics*, 306, 111-144, 1996.
- [3] Lim T.T., New T.H., Luo S.C., On the development of large-scale structures of a jet normal to a crossflow, *Physics of Fluids*, 13, 770-775, 2001.
- [4] Fraticelli R., Jet dans un écoulement transverse à faible nombre de Reynolds - effets de la masse volumique sur la dynamique et le mélange, Thèse de doctorat, Université de Poitiers, Décembre 2008.
- [5] Ilak M., Schlatter P., Bagheri S., Henningson D.S., Bifurcation and stability analysis of a jet in crossflow. Part 1: onset of global instability at a low velocity ratio, *Journal of Fluid Mechanics*, 696, 94-121, 2012.
- [6] Chapuliot S., Gourdin C., Payen T., Magnaud J.P., Monavon A., Hydro-thermal-mechanical analysis of thermal fatigue in a mixing tee, *Nuclear Engineering and Design*, 235, 575-596, 2005.
- [7] Kamide H., Igarashi M., Kawashima S., Kimura N., Hayashi K., Study on mixing behavior in a tee piping and numerical analyses for evaluation of thermal striping, *Nuclear Engineering and Design*, 239, 58-67, 2009.
- [8] Kuhn S., Braillard O., Niceno B., Prasser H.M., Computational study of conjugate heat transfer in T-junctions, *Nuclear Engineering and Design*, 240, 1548-1557, 2010.
- [9] Hoda A., Acharya S., Predictions of a film coolant jet in crossflow with different turbulence models, *Int. Gas Turbine & Aeroengine Congress & Exhibition*, Indianapolis, Indiana, ASME, June 1999.
- [10] Jayaraju S.T., Komen E.M.J., Baglietto E., Suitability of wall-functions in large eddy simulation for thermal fatigue in a T-junction, *Nuclear Engineering and Design*, 240, 2544-2554, 2010.