Etude théorique et expérimentale d'un jet tournant turbulent

Davoust Samuel (ONERA-DAFE)

Directeur(s) de thèse : Laurent Jacquin (DAFE)
Encadrant(s) ONERA : Benjamin Leclaire (DAFE)
Financement : bourse DGA

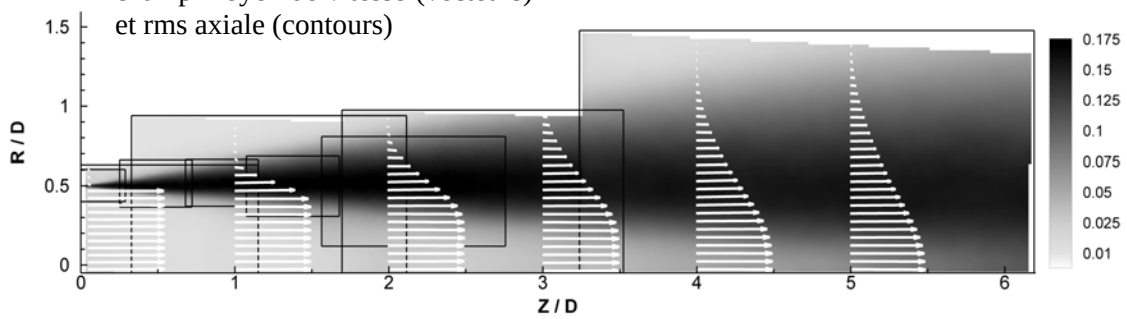
A haut nombre de Reynolds, un jet avec un profil de vitesse initialement uniforme en sortie se déstabilise et il se développe autour d'un coeur de fluide potentiel une couche de mélange axisymétrique turbulente (voir Figure 1), qui envahit progressivement le jet. Cette couche de mélange est le lieu de phénomènes instationnaires complexes, où de larges oscillations cohérentes du coeur de jet [1] interagissent avec des structures de vorticité axiale étirées et de la turbulence de plus petite échelle [2]. Cet écoulement de turbulence cisaillée libre est représentatif de certains mécanismes intervenant dans des applications variées comme le jet issu d'un réacteur, ou un brûleur industriel. Dans ce contexte, l'ajout de rotation (swirl) peut avoir des effets importants qui ne sont pas toujours bien modélisés. Améliorer la compréhension physique de l'effet du swirl sur les jets, est un des objectifs de cette thèse.

La première partie des travaux de cette thèse a consisté à mettre en place le jet et les moyens de mesure nécessaires à l'observation des phénomènes. Le DAFE à développé, en collaboration avec le Département Traitement de l'Information et Modélisation de l'ONERA (DTIM), un nouvel outil de corrélations d'image baptisé FolkiPIV[3][4], porté sur cartes GPU et donc permettant de traiter très rapidement des essais PIV. Mon travail concernant ce logiciel, a principalement porté sur l'estimation de la résolution spatiale et sur l'évaluation de la robustesse expérimentale du nouvel outil. La capacité de FolkiPIV à traiter massivement des données PIV s'est avérée un avantage lors de l'utilisation d'une PIV à haute cadence pour étudier les phénomènes instationnaires. Nous avons ainsi pu utiliser la PIV pour obtenir à la manière d'un fil chaud, des statistiques sur l'ensemble du jet.

Une première campagne de PIV 3 composantes (3C) a permis de qualifier le jet par rapport à la littérature et d'observer les effets de la rotation sur les champs moyens. Nous avons observé un phénomène surprenant, à savoir le fait que l'ajout de rotation n'augmente pas toujours les intensités turbulentes ni le taux d'évasement de la couche de mélange, contrairement à ce qui était décrit par de précédentes études [5][6]. En particulier, comme on peut l'observer sur la Figure 2, autour de S=0.4 (S est le nombre de swirl, à savoir un rapport entre la vitesse azimutale de rotation et la vitesse axiale), l'énergie cinétique turbulente maximale dans la couche de mélange est plus faible que sans rotation (S=0), et le taux de croissance du jet est lui aussi inférieur (Figure 3).

Une seconde campagne, de PIV 3C à haute cadence (2.5 kHz) a été menée afin d'apporter un autre éclairage sur ces effets. Tout d'abord, nous avons validé cet outil de mesure en le comparant au fil chaud. Si il ne permet pas de résoudre toutes les échelles de la turbulence à cause de sa résolution spatiale limitée, il retranscrit parfaitement bien la dynamique des grandes échelles (fréquences ici inférieures à 200 Hz). Ce système de mesure nous a permis de mieux décrire et d'analyser des phénomènes du jet sans swirl: l'oscillation axisymétrique (m=0) du coeur du jet (de type instabilité de Kelvin Helmholtz) et les structures de vorticité axiale sont tous deux visualisées sur la figure 5. Ces structures prennent naissance dans la zone d'étirement entre deux battements m=0 consécutifs. Pour finir, il nous reste à appliquer les outils développés aux acquisitions où le swirl est présent.

Figure1: Evolution axiale du champ moyen de vitesse (vecteurs) et rms axiale (contours)



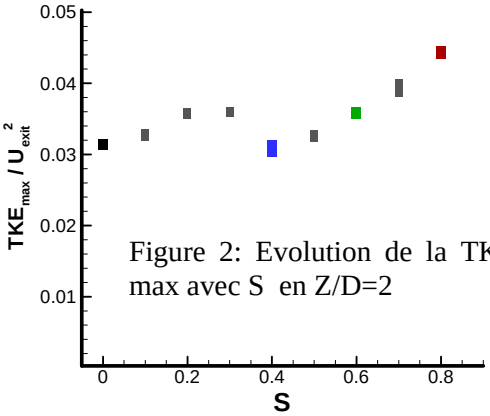


Figure 2: Evolution de la TKE max avec S en Z/D=2

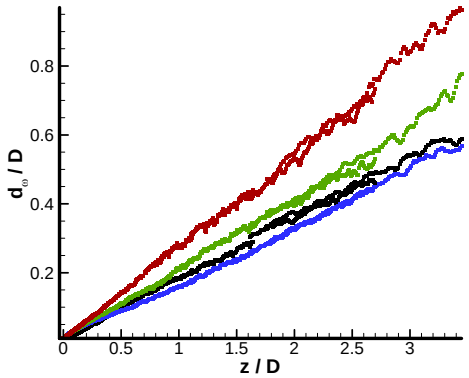
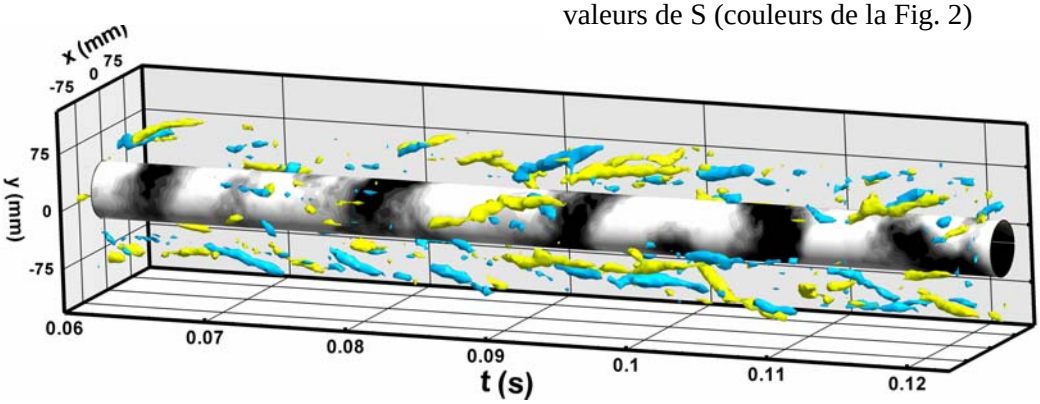


Figure 3: Evolution axiale de l'épaisseur de vorticité pour différentes valeurs de S (couleurs de la Fig. 2)

Figure 4: Acquisition PIV haute cadence: +/- iso-countours de vorticité axiale, et oscillations du coeur du jet (noir et blanc)



Références bibliographiques :

[1] Zaman, K. and Hussain, A. Natural large-scale structures in the axisymmetric mixing layer. JFM 1984.
[2] Citriniti, JH. and George, WK. Reconstruction of the global velocity field in the axisymmetric mixing layer utilizing the proper orthogonal decomposition. JFM 2000.
[3] Champagnat, F., Plyer, A., Le Besnerais, G., Leclaire, B.,Davoust, S., and Le Sant, Y. Ultra-fast PIV vector field computation using a highly parallel iterative correlation maximization algorithm. Submitted to Experiments in Fluids.
[4] Leclaire, B., Le Sant, Y., Davoust, S., Champagnat, F., Le Besnerais, F. FOLKI-SPIV: a new, ultra-fast approach for stereo PIV. Submitted to Experiments in Fluids.
[5] Mehta, RD. and Wood, DH. and Clausen, PD. Some effects of swirl on turbulent mixing layer development. PoF 1991.
[6] McIlwain, S. and Pollard, A. Large eddy simulation of the effects of mild swirl on the near field of a round free jet. PoF 2002.

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB