

Étude de la transition laminaire-turbulente de couches limites dans les tuyères soniques de débitmétrie

Résumé

La débitmétrie gazeuse haute pression présente des enjeux majeurs pour un grand nombre de procédés industriels. En particulier, la mesure de précision des volumes échangés lors du transport de gaz, tel que le gaz naturel ou l'hydrogène, sont parmi les applications les plus importantes compte tenu des volumes en jeu aux échelles industrielles. Les débitmètres de références pour ces mesures sont des tuyères convergentes-divergentes en régime critique, utilisées comme étalon sur des bancs de calibrations. La confiance dans la mesure du débit par des tuyères-étalons est établie sur des mesures empiriques complémentées par des modèles qui reposent sur nos connaissances de l'aérodynamique de ces mêmes tuyères.

Le développement d'une couche limite, entre autres, est un facteur qui influence considérablement le débit d'une tuyère. Lors de l'utilisation des tuyères dans différents régimes de fonctionnement, la couche limite peut se trouver dans un état laminaire ou turbulent. Si la modélisation de chacun de ces régimes dans les tuyères est aujourd'hui avancée, la transition d'un régime à l'autre reste inexplorée et cause une incertitude quant au choix du modèle de couche limite à utiliser pour des conditions de fonctionnement données.

Cette étude vise à comprendre les mécanismes de transition en jeu dans les tuyères pour établir les fondamentaux permettant d'identifier et modéliser les régimes de transition. Dans un premier temps, une campagne expérimentale est conduite pour identifier le rôle de la forme et de l'état de surface des tuyères sur la transition. Nous montrons que si dans certains cas la transition est induite par la rugosité de surface, ce n'est pas le cas pour les tuyères dont l'état de surface suit les standards industriels. Pour ces dernières, la géométrie et la turbulence naturellement présente dans l'écoulement jouent un rôle déterminant dans l'occurrence de la transition. Dans un second temps, nous utilisons les outils de la stabilité linéaire des écoulements pour montrer que le mécanisme de transition est associé à de la croissance non-modale de perturbations présentes dans l'écoulement. Cette croissance transitoire est modulée par la force centrifuge qui s'exerce due à la courbure de la paroi des tuyères, conduisant à des stries instationnaires. Finalement, un modèle de transition est établi en s'appuyant sur l'étude de stabilité et les résultats expérimentaux.