**Title : Impact of Shrouded Stator Cavity Flow on Axial Compressor Performance and Stability**

**Titre : Impact de l’écoulement de Cavité Sous Stator sur la Performance et la Stabilité des Compresseur Axiaux**

**Résumé :**

Dans les compresseurs axiaux, des aubes de stator à pied "shrouded" sont utilisées comme solution pour garantir le jeu de fonctionnement axial et radial avec l’assemblage rotor. L’augmentation de pression statique de l’amont vers l’aval du compresseur induit un écoulement de recirculation dans les cavités sous veine ainsi créées. Cet écoulement de fuite est ensuite réinjecté dans la veine principale, au détriment de la performance de l’étage.

L’objectif principal de ce travail a été d’évaluer l’impact des écoulements de fuite cavité sur la performance et la stabilité des compresseurs axiaux. Pour ce faire, des activités de recherche expérimentales et numériques ont été conduites sur l’étage de compresseur H25 et sa cavité sous stator (nombre de Reynolds Rer = 2.2\*106 et rapport d’aspect G = 0.06, en moyenne) disponibles au von Karman Institute for Fluid Dynamics. La sensibilité de la performance de l’étage H25 et de l’écoulement cavité ont été évalués en fonction des conditions d’injection, du vannage du compresseur, et de sa vitesse de rotation, fournissant une base de données sans précédent.

Les résultats obtenus indiquent qu’il existe une dépendance de la performance de l’étage en fonction du débit d’injection dans la cavité. Par exemple, une chute de rendement isentropique de 0,97% pour un débit cavité de 0,56% du débit machine est mesurée au point de dessin du compresseur. Cette chute de la performance est attribuée à une augmentation du blocage de l’écoulement, une augmentation de l’asymétrie de la couche limite, et une augmentation de la température totale en amont de l’aube stator. Il a également été mesuré que les effets des écoulements de fuite cavité sont contenus proche paroi moyeu, et ce, jusqu’à 20% de la hauteur de veine. Par ailleurs, la stabilité de l’étage du compresseur, i.e. marge au pompage, n’est pas affectée par le débit d’injection dans la cavité. Les données obtenues montrent que dans le volume cavité, l’organisation du champ moyen est induite par une interaction réciproque entre la géométrie et l’écoulement. Il est également démontré que l’injection tend à homogénéiser le champ de pression dans la cavité. La comparaison de l’instationnarité de l’écoulement cavité et veine principale indique que la connexion cavité/veine agit comme un filtre pour les instabilités les plus énergétiques issues de la cavité. Parmi ces instabilités, les mesures indiquent une forte présence de l’effet de l’assemblage rotor, qui génère une paroi cavité non lisse. Une analyse de la dynamique de l’écoulement révèle une forte dépendance spatiale des modes cavité, ce qui indique la présence de sources ponctuelles d’instabilité. L’ajout d’injection provoque une augmentation de l’amplitude des modes à basses fréquences, i.e. inférieur à 15% de la fréquence de passage des aubes, pour les points situés dans le passage de l’écoulement d’injection. Pour finir, une évaluation des modes non synchrones de la cavité indique que la fréquence et l’amplitude de ces derniers sont faiblement impactées par le débit de recirculation. Cependant, la fréquence de certaines instabilités varie en fonction des conditions opératives du compresseur. Il est également montré que la vitesse de rotation des modes non synchrones cavité, qui se situe à une vitesse de groupe inférieure à la moitié de la vitesse de rotation du disque, est fortement dépendante de la vitesse de rotation du compresseur.

En conclusion, il a été possible de quantifier la chute de performance du compresseur étudié causée par l’écoulement de fuite cavité. En parallèle, la base de données expérimentale collectée a permis de caractériser les instabilités présentes dans la cavité sous stator. A partir de ces résultats, les recherches futures auront pour objectif de prouver l’origine précise des instabilités cavité. Cela permettra de mieux cerner l’importance de cet écoulement de fuite dans le fonctionnement des compresseurs axiaux tout en autorisant des avancées pour les approches de modélisation basse fidélité des cavités sous stator.

**Mots clés : Compresseur axial, Cavité, Ecoulement de cavité, Ecoulement de fuite, Turbomachine.**

**Abstract :**

In axial compressors, shrouded stator blades are used to clear the rotor assembly axially and radially. As a consequence, the cavity volumes that are created under the stator platform experience a downstream-to-upstream flow recirculation triggered by the static pressure increase in the main channel. The leakage flow is then re-injected in the power stream, altering the stage performance.

This work objective was to evaluate the impact of cavity leakage flow on the performance and stability of axial compressors. This research used experimental and numerical activities conducted on the von Karman Institute for Fluid Dynamics H25 stage and associated cavity, with average Reynolds Rer = 2.2\*106 and average aspect ratio G = 0.06. Unprecedented experimental investigation of the cavity flow and its interaction with the power stream was performed. The sensitivity of H25 stage performance and stability as well as the cavity flow were evaluated against injection conditions, compressor throttling and compressor speed. Parametric steady RANS simulations of the stage under injection and full annulus unsteady simulation of the cavity were used to support the findings and state on the relevance of such approach in the preliminary design phase of axial compressors components.

Stage performance is highly affected by the cavity leakage flow. As an example, a stage efficiency reduction of 0.97% is measured for a leakage fraction of 0.56% at machine design point. This performance drop is attributed to the effect of cavity flow on: the blockage ratio, the boundary layer skewness, and total temperature increase at stator row inlet. It is also demonstrated that these effects are contained in the main channel low span region, up to 20% span. The stability, i.e. stall margin, of the machine is found not to be affected by the level of injection. In the cavity, it is showed that there is a mutual interaction between geometry and the cavity flow field organization. The injection homogenizes the cavity flow field and the associated pressure gradient. The comparison between the cavity and main flow unsteadiness indicates that the cavity trench acts as a filter on the most energetic instabilities from the cavity. Among these instabilities, flow measurement present clear traces of the periodic geometrical effect that are induced by the rotor disk mechanical assembly, which causes the cavity walls to be non-smooth. A deeper analysis of the cavity dynamics reveals that there is a strong spatial sensitivity for cavity modes amplitude which indicates the presence of local sources of unsteadiness. The leakage injection also triggers an amplitude increase of the low frequencies, typically below 15% of the blade passing frequency, for the points in the leakage flow path. To finish, an evaluation of the disc non-synchronous modes in the cavity indicates that the frequency and amplitude of cavity modes are few sensitive to the leakage fraction. However, the frequency of some of these instabilities is affected by the compressor operating condition. It is also shown that the azimuthal travelling speed of the cavity modes, measured at a group velocity inferior to half of the disc rotation speed, is highly sensitive to rotor disk rotation speed variations.

As a conclusion, it has been possible to quantify the compressor performance degradation induced by the cavity leakage flow. In the same time, the large experimental database collected allowed to characterize the instabilities in the stator shroud cavity. Based on the obtained results, future research aims to proof the origin of the measured cavity instabilities. This will allow to better describe the implication of the cavity flow in the axial compressor flow field and also create new progress for cavity flow low order modelling.

**Keywords: Axial Compressor, Cavity, Cavity Flows, Leakage Flow, Turbomachine.**