



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 3rd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



Influence des caractéristiques géométriques de la fente d'aspiration pour un meilleur contrôle de décollement sur un profil aérodynamique

Mdouki Ramzi^{#1}, Belmadi Ryadh^{#2} et Gahmousse Abderrahmane^{#3}

[#]Laboratoire Energétique et Turbomachines, Université de Tébessa
Rue de Constantine, Tébessa 12002, Algérie

mdouki_ramzi@yahoo.fr

Belmadi@yahoo.fr

abdgah@yahoo.fr

Résumé— Dans ce papier une investigation numérique a été effectuée pour étudier les bénéfices du processus d'un contrôle actif en utilisant une aspiration continue. Le principal objectif de ce travail est d'extraire des règles pour ce type de contrôle en analysant les effets de la position de la fente, la largeur et l'inclinaison de la fente. Gambit et Fluent sont utilisés pour générer les maillages et résoudre les équations gouvernantes, respectivement. L'approche est basée sur une géométrie bidimensionnelle, un régime à faible nombre de Mach, un état stationnaire et un modèle de turbulence k-epsilon standard. Pour décrire et analyser les résultats, le coefficient des pertes totales est adopté comme un paramètre de performance. Les résultats montrent l'efficacité de la technique d'aspiration et les règles générales, liées à la géométrie de la fente, qui mènent à un meilleur contrôle.

Mots clés— cascade linéaire 2D, séparation, contrôle actif, aspiration, géométrie de la fente.

I. INTRODUCTION

Depuis longtemps la technique d'aspiration pour contrôler la séparation de couche limite était utilisée pour les deux types d'écoulement interne et externe. Dans le domaine des turbomachines et en particulier les compresseurs axiaux, l'aspiration est choisie comme un outil performant pour augmenter la plage d'opérabilité du compresseur en améliorant le chargement sur les aubes à des incidences plus élevées où la naissance du décrochage des aubes apparaît et les instabilités telles que le décrochage tournant et le pompage surgissent.

Parmi les travaux menés dans ce domaine, on peut citer l'étude de Godard [3] dans laquelle il a, premièrement,

optimisé la forme aérodynamique de l'aube de telle sorte que la position de décollement ne soit pas sensible à la variation du nombre de Mach amont puis il a appliqué une fente d'aspiration ; en amont, en aval et au voisinage du point de décollement, dans une configuration 2D pour un seul angle d'attaque pour arriver à conclure que la meilleure position est celle voisine du point de séparation. Un autre travail élargi présenté par Chen et al [2] traite plusieurs paramètres liés au processus de contrôle par aspiration tels que la solidité de la cascade, l'angle d'attaque, le débit d'aspiration et autres paramètres. Les auteurs ont choisi huit positions de 40 à 80% de la corde axiale d'aube avec trois taux d'aspiration 0.5%, 1% et 1.5% pour une incidence nulle et une solidité de 1.364. Ils ont trouvé que la position optimale de la fente se localise à 70% de la corde axiale et qu'au fur et à mesure que le débit augmente les performances aérodynamiques s'améliorent.

L'effet de l'aspiration de la couche limite sur les performances aérodynamiques d'un compresseur est intimement lié à la position de la fente, le débit aspiré, la géométrie de la fente et les paramètres de la cascade. Dans ce papier et à travers une étude numérique on cherche à établir les différentes règles qui gèrent un meilleur contrôle par aspiration à iso-débit sur des aubages d'une cascade bidimensionnelle d'un compresseur fortement chargé.

II. INVESTIGATION AVEC CASCADE SANS CONTROLE

A. Définition de la géométrie et génération de maillage

La géométrie ainsi que le maillage sont développés par GAMBIT. La géométrie représente un champ de calcul limité dans la direction longitudinale par une entrée et une sortie localisées à $1.5c$ en amont du bord d'attaque et $2.0c$ en aval du bord de fuite, respectivement, et dans la direction transversale par un couple de deux périodiques séparé par l'intrados à la limite supérieure et par l'extrados à la limite inférieure et identifiés par une solidité $\sigma=1.00$. L'extrados et l'intrados forme une aube fortement chargée de profil NACA 65(27)10. Un programme en FORTRAN a été développé pour générer les coordonnées du profil à partir des caractéristiques citées dans la référence [1]. L'aube est caractérisée par l'angle de calage $\lambda=18^0$ et la corde $c=0.127m$, fig. 1.



Fig. 1. Géométrie de la cascade

La génération du maillage représente une subdivision du domaine d'étude en volumes de contrôle discrets afin d'obtenir une configuration H à bloque unique qualifié de type structuré.

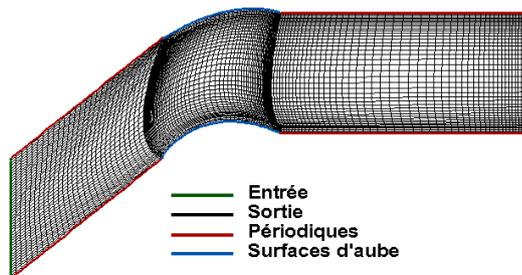


Fig. 2. Maillage du domaine de calcul

Le premier nœud juste à proximité d'aube est ajusté de telle

sorte que la distance adimensionnelle soit $y^+ < 30$ avec un taux d'étirement dans la direction normale égale à 1.1. Le nombre total des cellules au sein de la cascade est d'environ 30000. Le maillage de la configuration sans contrôle est représenté dans la figure 2.

B. Méthode numérique et conditions aux limites

La phase du traitement des équations gouvernantes et du calcul est effectuée en utilisant le solveur commercial FLUENT. L'écoulement est considéré dans cette présente étude comme stationnaire, bidimensionnelle et incompressible avec le modèle de turbulence k-epsilon standard pour fermer le système d'équations gouvernantes. Les équations de continuité, de quantité de mouvement et de transport des quantités turbulentes sont discrétisées par la méthode des volumes finis utilisé par FLUENT. Concernant les conditions aux limites, il est convenable de supposer que l'écoulement dans la direction transversale est périodique et par conséquent un seul passage, limité par ces interfaces, peut être étudié car la cascade linéaire représente un étage avec une infinité d'aubes. Au niveau de ces interfaces ou périodiques, le principe des cellules fantômes est appliqué. La paroi solide et imperméable nous mène à imposer la condition de non glissement et d'imperméabilité. A l'entrée, la vitesse est spécifiée avec les quantités de la turbulence. A la sortie, la condition d'un gradient nul est utilisée.

C. Validation des résultats

Pour valider le modèle numérique, une comparaison est effectuée entre les résultats numériques obtenus et les données expérimentales trouvées dans la référence d'Emery et al [4]. La comparaison est illustrée sur la figure 3 par la distribution de pression dynamique relative $S=2(P_{01}-P)/\rho W_1^2$ le long des surfaces d'extrados et d'intrados du profil NACA65(27)10; où P_{01} est la pression de stagnation amont. L'écoulement est rapporté à un nombre de Mach $M=0.085$ et un nombre de Reynolds basé sur la corde $Re=245000$. La cascade est identifiée par un angle de calage $\lambda=12^0$, un angle d'attaque $\alpha_1=27^0$ et une solidité $\sigma=1.00$. La figure 3 et autres configurations testées donnent une bonne concordance avec les données expérimentales citées dans la référence [4].



**Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 3rd International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014

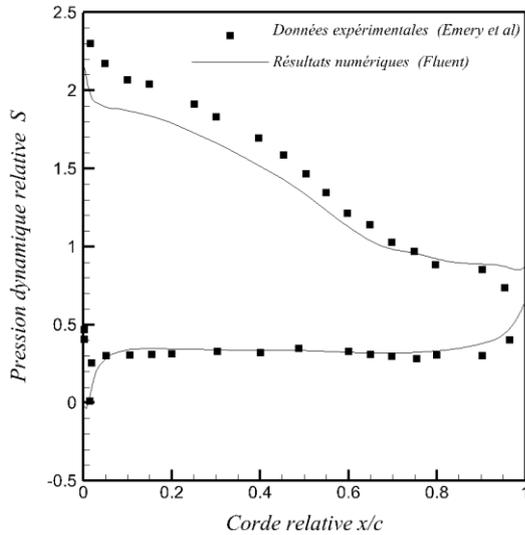


Fig. 3. Comparaison entre l'expérience et la simulation pour la distribution de pression dynamique sur les surfaces d'aubage sans contrôle ($\alpha_1=27^\circ$, $\lambda=18^\circ$, $\sigma=1$)

III. INVESTIGATION AVEC CONTROLE

A. Principe de la méthode active utilisée:

Le contrôle actif par aspiration est basé sur l'idée de faire débarrasser les filets fluides usés de l'écoulement principal par un dispositif d'aspiration et les remplacer par des strates fluides qui possèdent une énergie supérieure. Le contrôle de la couche limite par aspiration fonctionne donc suivant un mécanisme de soustraction-substitution qui permet d'énergiser la couche limite et surmonter le gradient de pression défavorable. La figure ci-dessous nous montre l'aubage étudié avec une fente d'aspiration.

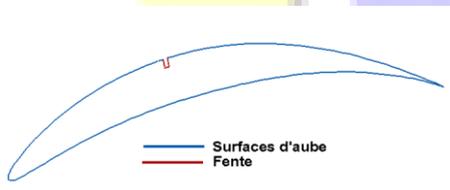


Fig. 4. Comparaison entre l'expérience

B. Etude paramétrique:

Dans cette partie, les effets de la position, la largeur et l'inclinaison de la fente sont examinés à iso-débit. Chaque paramètre d'influence est étudié indépendamment et l'efficacité du contrôle est analysée sur la base du coefficient des pertes totales.

1. Effet de la position de fente :

L'objectif ici est d'identifier la meilleure position de contrôle en fixant la largeur relative, l'inclinaison de la fente et la vitesse relative du jet rapportée à la vitesse d'entrée de la cascade par les valeurs suivantes : $\varepsilon=e/c=0.01$, $\psi=90^\circ$ et $\eta=V_{jet}/V_1=1$, respectivement. On choisit trois configurations identifiées par les trois angles d'entrée suivants ; $\beta_1=45^\circ$, 47.5° et 49° . Ce qui nous mène à obtenir trois zones de décollement développées sur l'extrados. Ces trois zones de décollement sont limitées par le bord de fuite et les points de séparation $X_d=x/c=0.7$, 0.6 et 0.5 , respectivement. Sur chaque cascade on exécute cinq fentes localisées aux endroits : $X_f=0.4$, 0.5 , 0.6 , 0.7 et 0.8 de la corde d'aube.

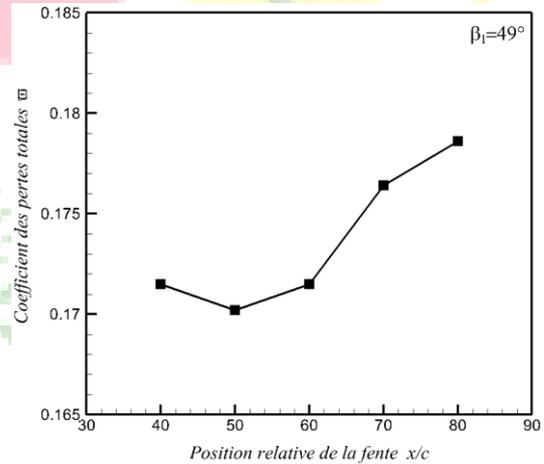


Fig. 6. Evolution du Coefficient des pertes totales en fonction de la position de la fente pour un angle d'entrée $\beta_1=49^\circ$

Dans les trois figures 5, 6 et 7, on peut déceler que la valeur faible du coefficient des pertes correspond toujours au point où la couche limite se décolle, ce qui nous permet de confirmer que la meilleure position de la fente d'aspiration pour contrôler le décollement est de faire placer la fente au voisinage du point de décollement.



**Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 3rd International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014

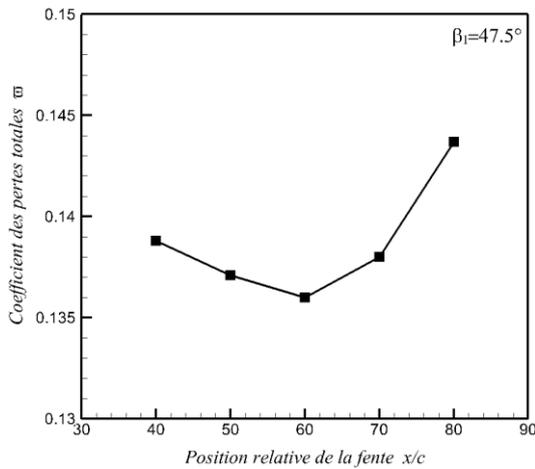


Fig. 7. Evolution du Coefficient des pertes totales en fonction de la position de la fente pour un angle d'entrée $\beta_1=47.5^\circ$

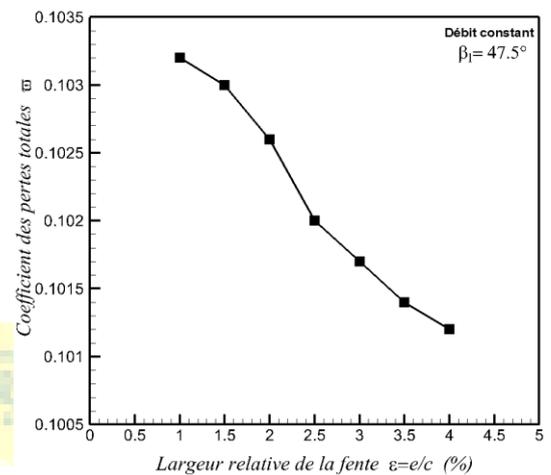


Fig. 9. Evolution du Coefficient des pertes totales en fonction de la largeur relative de la fente pour un angle d'entrée $\beta_1=47.5^\circ$

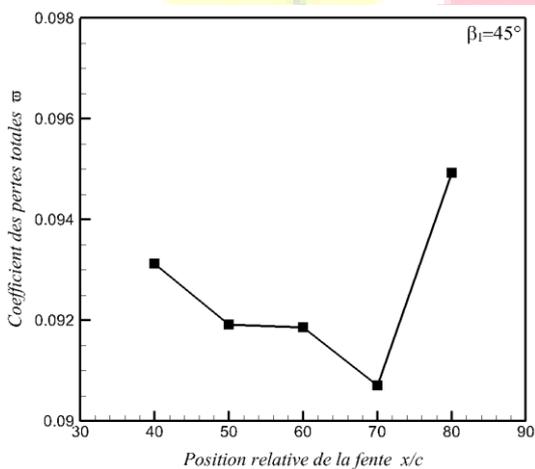


Fig. 8. Evolution du Coefficient des pertes totales en fonction de la position de la fente pour un angle d'entrée $\beta_1=45^\circ$

D'après la figure ci-dessus, qui illustre la variation des pertes de pression totale en fonction de la largeur relative de la fente, on peut constater que l'efficacité de contrôle par aspiration est pilotée par les grandes largeurs pour un débit constant donné.

3. Effet de l'inclinaison de la fente :

L'influence de l'inclinaison de la fente par rapport à la corde est examinée pour des angles compris entre -60° et 75° à iso-débit. La figure ci-dessous montre que la meilleure efficacité de contrôle est atteinte lorsque l'obliquité de la fente

2. Effet de la largeur de fente :

Pour analyser ce paramètre d'influence, on choisit une des cascades citées dans la partie précédente ; soit la configuration caractérisée par l'angle d'entrée $\beta_1=47.5^\circ$. La meilleure position de contrôle convient donc à localiser la fente au niveau de la station $x=60\%c$. La fente d'aspiration est maintenue perpendiculairement à la corde. L'influence du paramètre géométrique représenté par la largeur de la fente à iso-débit est étudiée en variant les valeurs de cette largeur de 1% à 4%.

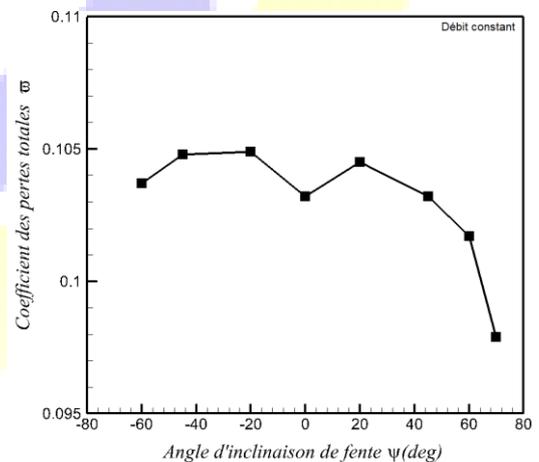


Fig. 10. Evolution du Coefficient des pertes totales en fonction de l'inclinaison de la fente pour un angle d'entrée $\beta_1=47.5^\circ$

soit la moins raide possible et la fente doit être orientée dans le



**Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 3rd International Seminar on New and Renewable
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014**



sens opposé de l'écoulement principal.

IV. CONCLUSION

Dans cette investigation, un contrôle actif est appliqué sur un aubage NACA65(27)10 dans une cascade linéaire d'un compresseur axial fortement chargé afin de manipuler le décollement de la couche limite développé sur l'extrados. Une étude paramétrique est effectuée en analysant l'influence des caractéristiques géométriques de la fente ; position, largeur et inclinaison à iso-débit. Les résultats trouvés nous mènent à savoir les règles liées aux caractéristiques géométriques de la fente d'aspiration pour un meilleur contrôle. En ce qui concerne la règle de la position, on doit placer la fente juste à proximité du point de séparation. Quant à la largeur, le processus d'aspiration convient mieux avec les fentes les plus larges. La troisième règle nous informe que le décollement est bien piloté par la technique d'aspiration si la fente est orientée contrairement du sens d'écoulement principal et leur inclinaison soit la moins raide possible. Finalement, on peut citer que ces règles sont exploitables dans les études de contrôle par aspiration sur les profils aérodynamiques où se manifeste le phénomène de décollement de la couche limite sous l'influence des gradients longitudinaux défavorables.

RÉFÉRENCES

- [1] Abbott, I.H., Von Doenhoff, A.E., 1959, Theory of Wing Sections, Dover Publication, Inc, ISBN-486-60586-8.
- [2] Chen, F., Song, Y., Chen, H., and Wong, Z., 2006, "Effect of Boundary Layer Suction on the Performance of Compressor Cascade" Proceedings of GT2006, ASME Turbo Expo: Power for Land, Sea and Air, May 8-11, 2006, Barcelona, Spain.
- [3] Godard, A., Burguburu, S., and Leboeuf, F., 2007, "Parametric Study of an aspirated diffuser" Proceedings of the 7th European Turbomachinery Conference, Athens, Greece, pp. 100-111, 2007.
- [4] Emery, J.C., Herrig, L.J., Erwin, J.R., and Felix, A.R., 1958, "Systematic Two-Dimensional Cascade of NACA 65-Series Compressor Blades at low Speeds," NASA report 1368.
- [5] Wennerstrom, C.G., 1990, "Highly Loaded Axial Flow Compressors: History and Current Developments," ASME Journal of Turbomachinery, Vol. 112, pp. 567-578.

- [6] Mdouki, R., Bois, G., Gahmousse, A., 2011, "Numerical Study of Passive Control with Slotted Blading in Highly Loaded Compressor Cascade at Low Mach Number" International Journal of Fluid Machinery and Systems, Vol. 4, pp. 105-111.