

SIMULATION NUMERIQUE D'UN ECOULEMENT TRANSSONIQUE A TRAVERS UN STATOR D'UNE TURBINE AXIALE

Melle. A. TALAMALI ^{*} (1); Mr. M. HACHEMI (2); Mr. M. BALISTROU (3)

(1), (2), (3) Université de BOUMERDES, 11 Avenue de l'indépendance, BOUMERDES, Algérie

(1) Tel : +213/7.79.00.36.67 – E-mail : atalamali@yahoo.fr

(3) mouradbalistrou@yahoo.fr

Mots clés : CFD, Ecoulement transsonique, turbulence, transfert thermique

Résumé

La prédiction des champs de vitesses, de pression et de température dans un écoulement turbulent est importante pour de nombreux systèmes industriels à savoir l'étude des performances des éoliennes, des aubages de turbomachines, des ailes d'avions et des hélices propulsives. Les fluctuations aléatoires de ces champs sollicitent les structures et peuvent avoir une influence néfaste sur ces dernières, en particulier la fatigue du matériau utilisé. Il est donc important de connaître ces fluctuations qui sont à l'origine de ces phénomènes. Les écoulements considérés sont souvent de nature complexe à cause de l'interaction des processus physiques présents (écoulements bi- ou tridimensionnels, turbulents, ondes de choc, phénomènes de décollement de couches limites etc....).

I. Position du problème

Dans la présente recherche, on s'intéresse à la simulation numérique de l'écoulement transsonique et de transfert de chaleur turbulent tridimensionnel autour du profil VKI-CT2 situé dans un stator d'une turbine axiale.

La simulation numérique de l'écoulement et du transfert de chaleur turbulent est réalisée à l'aide du logiciel CFX à partir des équations de Navier Stokes. La turbulence est prise en compte à l'aide des modèles de turbulence du premier ordre ainsi que du deuxième ordre (k- ω , S.S.T, et R.S.M). La méthode de discrétisation utilisée est celle des volumes finis, le maillage non structuré de type tétraédral a été adopté pour un système de coordonnées cartésiennes généralisées.

II. Mise en équations

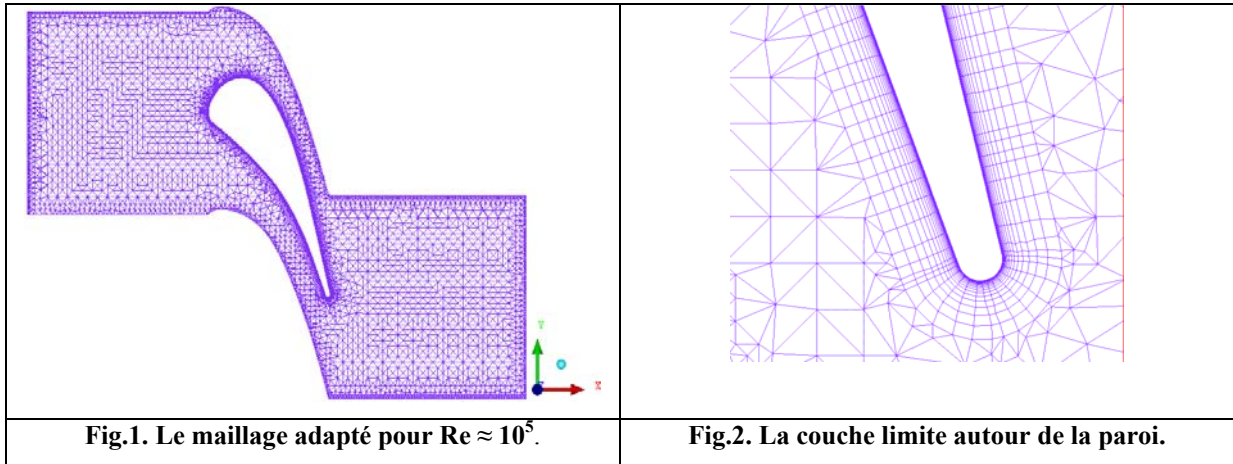
Pour modéliser le phénomène, le système des équations de Navier – Stocks moyennées peut s'écrire sous la forme conservative suivante [1]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \text{div}(F_c(w) - F_d(w, w_x, w_y, w_z)) = S(w)$$

$$w = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho \bar{V} \\ \rho E \\ \rho k \\ \rho \Psi \end{pmatrix}, F_c = \begin{pmatrix} \rho \bar{V} \\ \rho(\bar{V} \otimes \bar{V}) + p \bar{I} \\ \rho E \bar{V} + p \bar{V} \\ \rho k \bar{V} \\ \rho \Psi \bar{V} \end{pmatrix}, F_d = \begin{pmatrix} 0 \\ \overline{\tau^v + \tau^t} \\ (\overline{\tau^v + \tau^t}) \cdot \bar{V} - \bar{q}^v - \bar{q}^t \\ (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \overline{\text{grad} k} \\ (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\Psi}) \overline{\text{grad} \Psi} \end{pmatrix}, S = \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{0} \\ 0 \\ S_k \\ S_\Psi \end{pmatrix}$$

III. Génération du maillage

Pour un calcul visqueux, le traitement au voisinage de la paroi est conditionné par le nombre de Reynolds, et le modèle de turbulence utilisé. Le maillage raffiné, pour un nombre de Reynolds de l'ordre de 10^5 , contient 28945 nœuds et 90750 éléments. (Voir fig.1 et fig.2).



IV. Conditions aux limites

L'écoulement est supposé permanent, compressible et visqueux.

A l'entrée du domaine on considère la vitesse et la température statique du fluide, à la sortie on saisit la pression statique du fluide et sur la paroi, on suppose que la température est connue.

Les résultats numériques obtenus sont validés avec les cas tests suivants : mur 228 [1]

V. Résultats et interprétations

Les résultats ont été obtenus en utilisant trois modèles de turbulence deux du premier ordre (SST, k – oméga) et un du deuxième ordre (ORS).

1. Résultats de simulation

a. Y plus

Tant que la couche limite est visqueuse, y^+ doit être inférieure à 5 sur tout le profil, ce qui est vérifié avec les résultats obtenus par (Voir Fig.6-a).

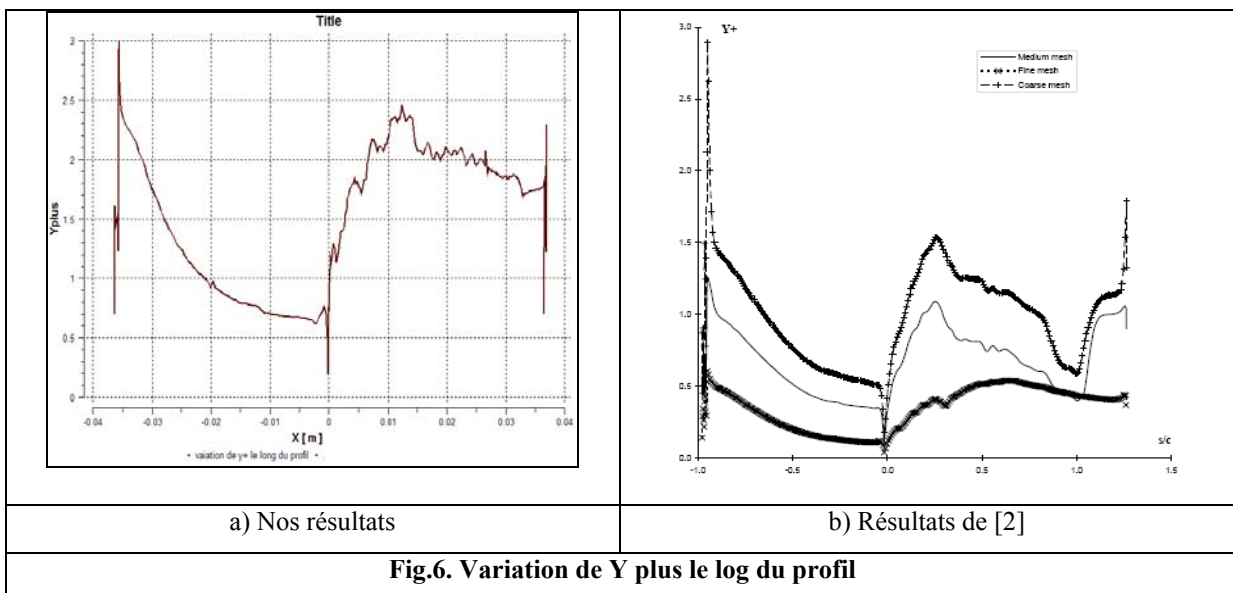
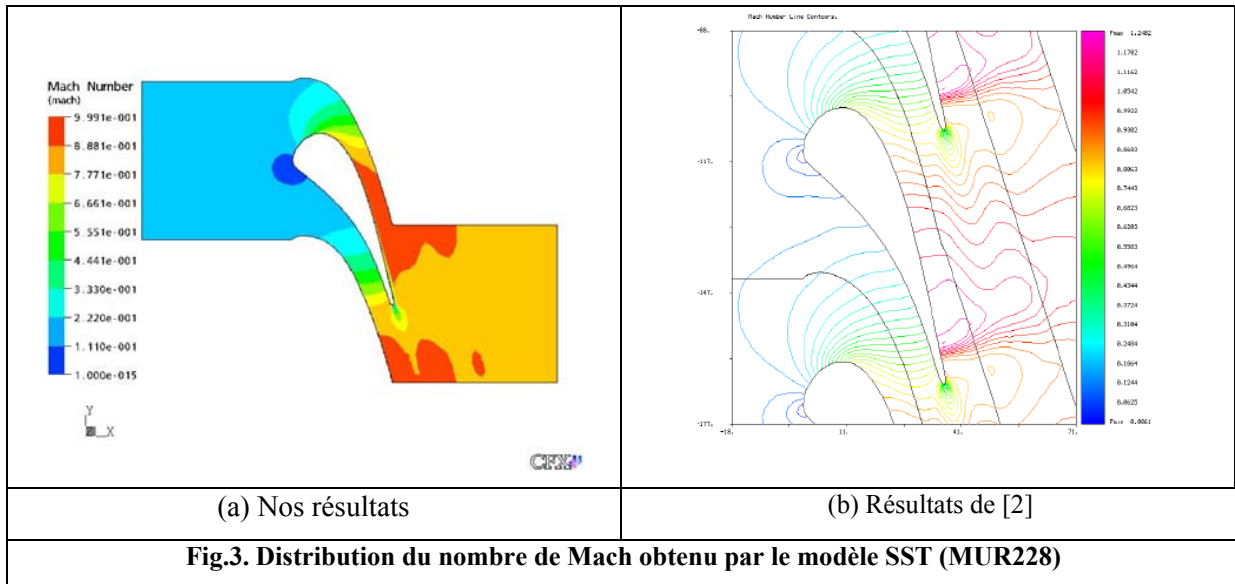


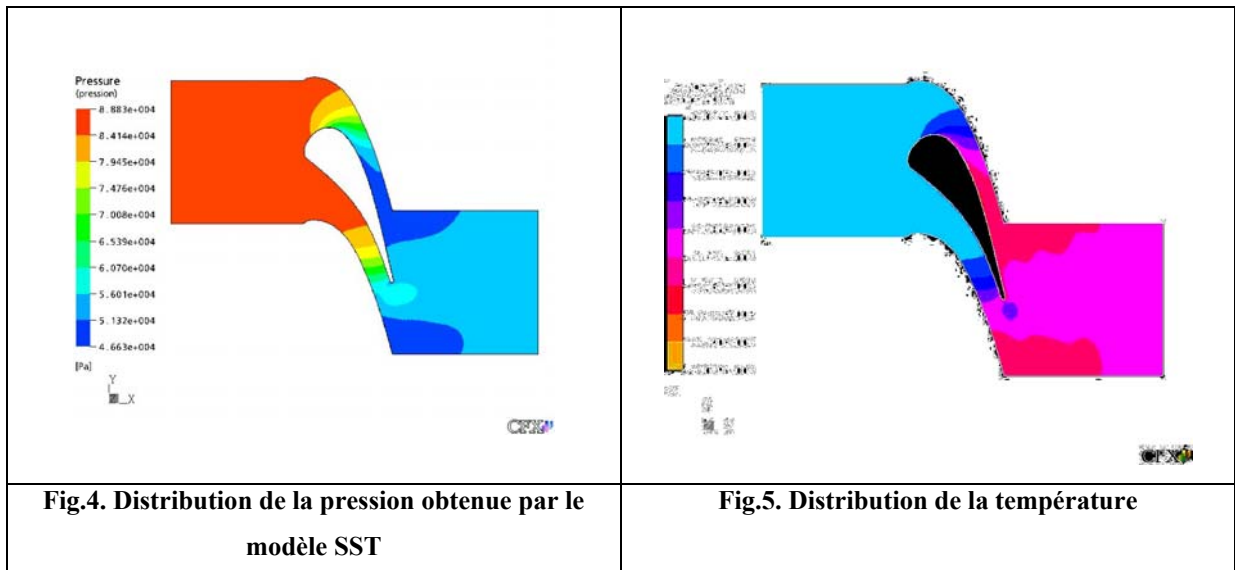
Fig.6. Variation de Y plus le log du profil

b. Nombre de Mach



On remarque qu'à l'entrée du domaine, le fluide s'écoule à une faible vitesse, il est freiné au bord d'attaque, puis il commence à s'accélérer dans l'espace inter aube, notamment sur l'extrados où l'écoulement est perturbé à cause de la présence d'une onde de choc située près du bord de fuite. Au niveau du bord de fuite on constate une diminution brusque de la vitesse et l'apparition d'une zone tourbillonnaire due à la différence entre la quantité de mouvement du fluide - provenant du côté extrados - et celle du fluide provenant du côté intrados.

c. Pression / température



La pression à l'entrée du domaine est trop élevée, elle commence à se dégrader dans le domaine inter aube, la pression diminue plus vite sur l'extrados que sur l'intrados. L'onde de choc est détectée sur l'extrados près du bord de fuite, elle se manifeste par une augmentation brusque de la pression (voir fig.4).

De même, on constate une augmentation brusque de la température à l'endroit de l'onde de choc (voir fig.5).

d. Transfert de chaleur

L'étude du transfert thermique est effectuée avec trois modèles de turbulence (SST, k-oméga et Oméga Reynolds Stress). La figure (fig.7) représente les résultats de la distribution du coefficient de transfert de chaleur le long de l'extrados (partie droite du graphe) et de l'intrados (partie gauche).

on constate que le coefficient de transfert (h) décroît le long de l'aube jusqu'à l'endroit du choc où, une augmentation de h est observée, cette croissance du coefficient de transfert de chaleur indique qu'il y'a une transition de l'écoulement laminaire vers l'écoulement turbulent, et ce qui nous a permis de constater cette transition c'est que le transfert de chaleur favorise la turbulence.

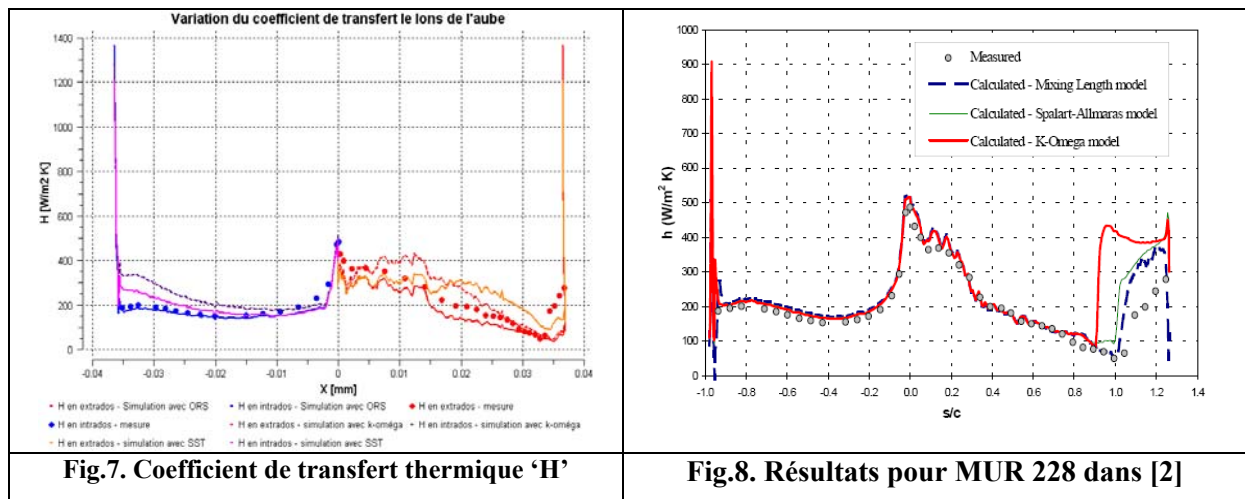


Fig.7. Coefficient de transfert thermique 'H'

Fig.8. Résultats pour MUR 228 dans [2]

On voit que les trois modèles fournissent des résultats similaires (i.e. les courbes de simulation suivent l'allure de la courbe expérimentale). Le modèle SST qui est considéré comme une correction pour le modèle k-oméga, fournis des résultats meilleurs que celle du modèle k-oméga. Le modèle ORS fournis des meilleurs résultats et ça revient à ce qu'il prend en considération l'anisotropie du milieu voisin de la paroi contrairement aux deux autres modèles du premier ordre basés sur l'hypothèse de Boussinesq qui considère le tenseur de contrainte de Reynolds comme étant une matrice symétrique donc un milieu isotrope. Mais on remarque que les trois modèles détectent la zone de transition après l'abscisse de transition montrée par les valeurs expérimentales (Voir fig.7).

Ces résultats sont semblables à ceux trouvés dans [2] (voir fig.8). La zone de transition est bien détectée, le modèle k-oméga la prédit avant l'abscisse réduite ($s/c = 1$) alors que pour les deux autre modèles sa prédiction était à cette abscisse ($s/c = 1$).

Conclusion

La concordance entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques est obtenue. Le calcul visqueux et turbulent est capable de prédire l'onde de choc pour un écoulement transsonique. Le modèle ORS du deuxième ordre est le plus capable à prédire le transfert thermique parce qu'il n'utilise pas l'hypothèse de Boussinesq.

Afin d'améliorer la prédiction du transfert de chaleur, il est très utile et nécessaire de bien localiser la transition dans l'écoulement. Des meilleurs résultats peuvent être atteints en construisant un maillage plus fin qui dépend essentiellement des ressources utilisés.

Références

[1]. M. V. Morkovin. Effects of compressibility on turbulent flows. Colloque International CNRS.

[2]. Michael LEFEBVRE, T. Arts: Numerical aero-thermal prediction of laminar/turbulent flows in a two dimensional high pressure turbine linear cascade. ONERA Chatillon, France; Von Kerman Institute for fluid dynamics, Belgium, Mars 1997.

[3]. T. Arts, Lambert de Rouvroit, and A.W. Rutherford: Aero thermal investigation of a highly loaded transonic turbine guide vane cascade. Von Kerman Institute – Belgium, September 1990.