

SIMULATION NUMERIQUE DE L'ÉCOULEMENT DANS LES AUGETS DES TURBINES PELTON

L. SOUARI* et M. HASSAIRI

Unité de recherche Energétique et Environnement
Ecole Nationale d'Ingénieurs Tunis, BP 37, Tunisie
souaril@yahoo.fr

RESUME

La présence de surface libre dès la sortie de l'injecteur d'une turbine Pelton rend l'étude de ce type de turbine difficile, autant d'un point de vue expérimentale que numérique les méthodes de calcul d'écoulement avec une surface libre n'ont été mise au point qu'au début des années quatre-vingt. Celle utilisée dans ce travail est une méthode de Volume Of Fluid (V.O.F) mise en œuvre avec le logiciel Fluent. Le but est de simuler numériquement l'écoulement au sein des augets de la roue Pelton.

Un travail de validation de la modélisation est effectué par comparaison de résultats numériques, expérimentaux et analytiques sur le cas académique de l'impact d'un jet sur une plaque plane, en deux et trois dimensions. Il est complété par la simulation de l'écoulement d'un jet sur une plaque concave, puis dans un auget de turbine Pelton en position fixe par rapport au jet.

1. INTRODUCTION

De façon générale, on recourt à la simulation numérique lorsque l'on veut étudier certains phénomènes physiques non visibles par des méthodes expérimentales. A l'heure actuelle, il est quasiment impossible d'étudier la nature de l'écoulement dans un auget de turbine Pelton en rotation, car d'une part l'accessibilité est limitée et d'autre part, les projections d'eau sont trop importantes pour réussir à y voir quelque chose. Par ailleurs, la fabrication de modèle pour les essais de rendement par exemple, est relativement chère, coût qui pourrait être réduit grâce à la simulation numérique.

Le travail présenté est effectué dans le cadre des écoulements à surface libre dans les augets de turbine Pelton, l'écoulement instationnaire dans un auget de turbine Pelton en rotation est abordé.

La première simulation numérique de l'écoulement tridimensionnel, instationnaire et à surface libre au sein d'une turbine Pelton a été réalisée par Hana [1] ; viennent ensuite les travaux de Kvicinsky [2] puis plus récemment ceux de Mack [3] et de Perrig [4].

Ce travail commence par la présentation de la roue Pelton étudiée. Le choix de la technique de simulation de l'écoulement sera ensuite mis en évidence ainsi que le domaine de calcul, le maillage et les conditions aux limites. Après une description générale de l'écoulement obtenu, le rendement de la machine complète sera calculé pour les quatre points de fonctionnement.

2. PRESENTATION DE LA ROUE PELTON

2.1. La roue Pelton

Une roue Pelton est caractérisée par son type, défini par la relation (1).

$$\text{Type} = \frac{100D_p}{L_a} \quad (1)$$

La roue Pelton choisie pour l'étude a un type de 326. Son diamètre est $D_p=0,489$ m et la largeur de ses augets est $L_a=0,15$ m. Un seul injecteur alimente la roue, le pas angulaire entre les augets est de 18° . La roue comporte ainsi 20 augets, elle est représentée sur la Figure1.

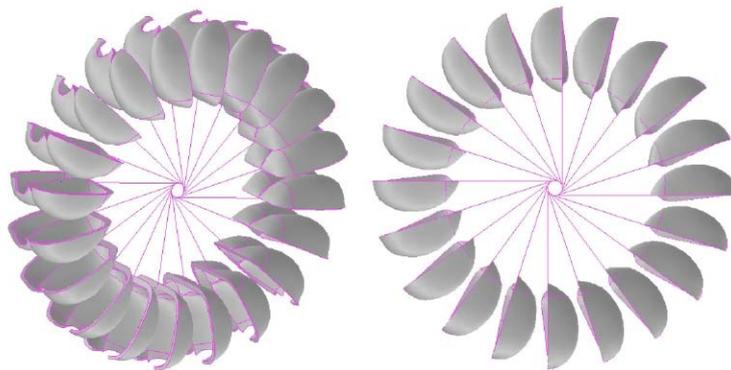


Figure 1 : Représentation de la roue Pelton étudiée (seuls les augets sont représentés)

3. DOMAINE DE CALCUL, MAILLAGE ET CONDITIONS AUX LIMITES

La méthode retenue est la simulation numérique de trois augets consécutifs. Ainsi l'auget du milieu est représentatif d'un auget quelconque de la roue

Pelton. En effet, le troisième auget découpe le jet qui s'écoule dans le second et l'écoulement présent dans le premier auget permet d'observer le phénomène de talonnement sur le second : les nappes d'eau sortant du premier auget frappent l'extrados du second.

La simulation numérique est effectuée par le logiciel Fluent, le calcul de la turbulence est réalisé avec un modèle classique k- ϵ , la méthode choisie est une méthode de maillage glissant. Ainsi le domaine de calcul comprend une partie fixe (stator), correspondant à l'arrivée du jet et une partie mobile (rotor) correspondant aux augets.

Pour ces calculs, les forces de gravité et de tension superficielle ne sont pas prises en compte.

3.1. Domaine de calcul

Le domaine de calcul construit est représenté sur la Figure 2, les augets y sont grisés, l'axe de rotation de la roue correspond à l'axe (Ox) et l'origine du repère O est le centre de la roue. L'écoulement étant symétrique par rapport au plan contenant les arêtes des augets (plan (yOz), seule la moitié de la roue est conservée.

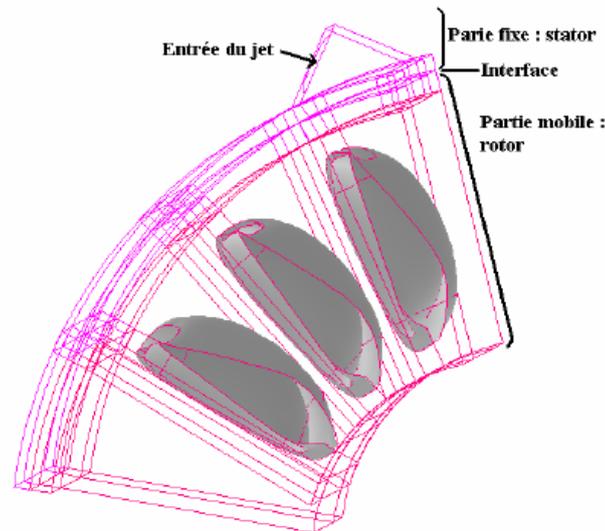


Figure 2 : Domaine de calcul pour le cas des augets en rotation

3.2. Maillage

Le maillage construit est hybride. Il comprend des zones de maillage structuré constituées d'éléments hexaédriques (notamment pour la zone où se situe l'interface rotor/stator) et des zones de maillage non structuré constituées d'éléments soit hexaédriques, soit tétraédriques.

La figure 3 présente le maillage ainsi obtenu.

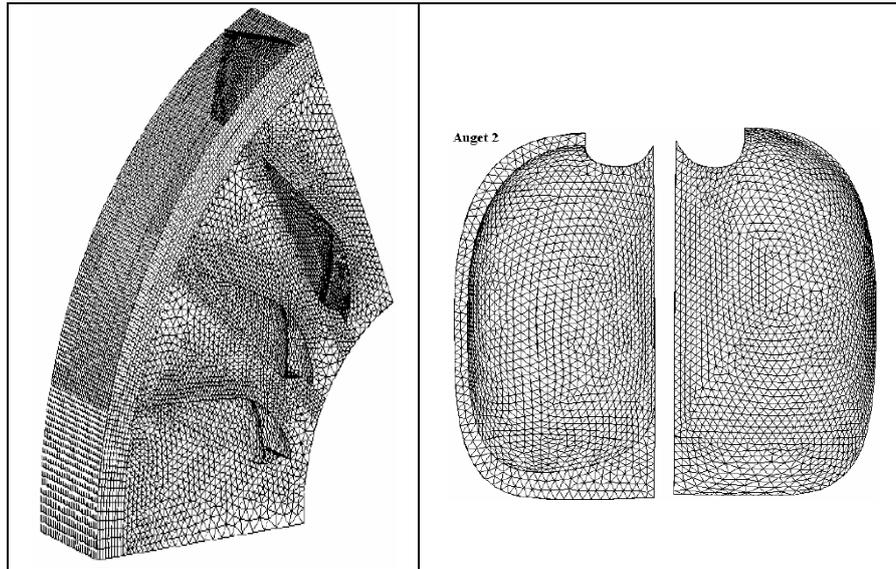


Figure 3 : Vue globale du maillage pour le calcul des augets en rotation

3.3. Conditions aux limites

Le profil de vitesse du jet circulaire est considéré comme uniforme et la roue est placée dans un environnement à pression atmosphérique. Ces conditions aux limites sont indiquées sur la Figure 4.

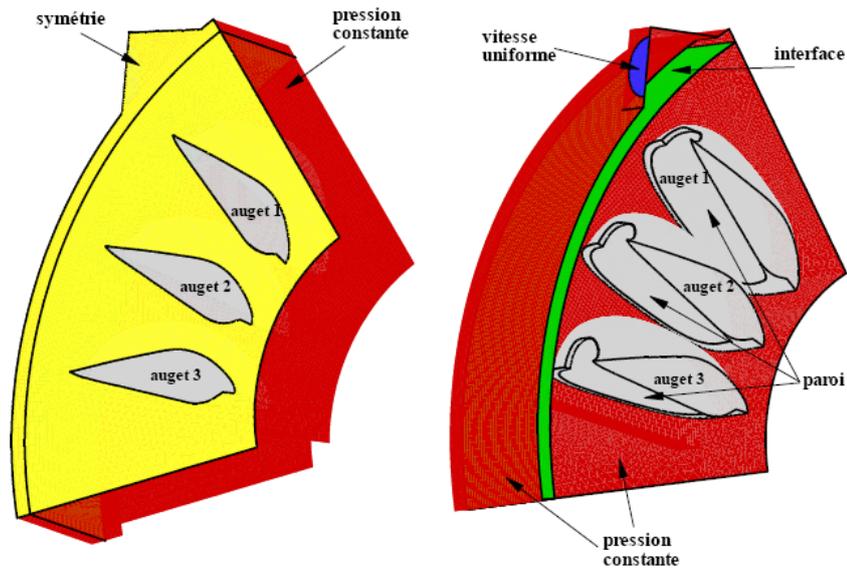


Figure 4 : Conditions aux limites pour le calcul des augets en rotation

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS :

4.1. Déroulement de l'écoulement au cours de la rotation

Au cours de la rotation, différents événements s'enchaînent en ce qui concerne l'écoulement du jet dans l'auget. Ces événements ont également été observés par Bachmann [5] dans son étude expérimentale de l'écoulement dans une roue Pelton à un injecteur. Ces événements sont rapportés en fonction de la position angulaire α de l'auget. (Voir figure 5)

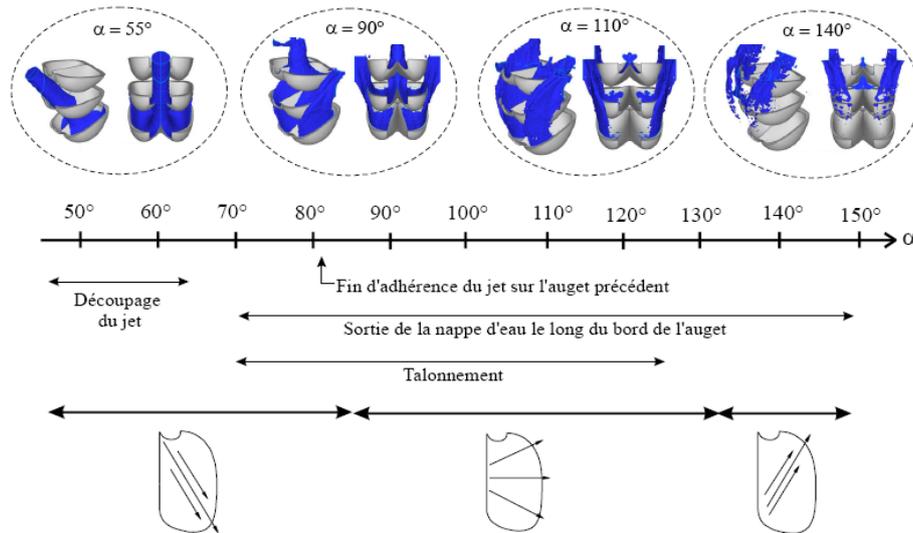


Figure 5 : Diagramme des événements au cours de la rotation de la roue et illustrations
($N_{ED}=12,8$; $P_{ED}=0,1$)

4.2. Détermination du rendement de la machine

Le rendement de la machine est défini par la relation (2).

$$\eta = \frac{P}{P_h} = \frac{C}{C_h} \quad (2)$$

P_h et C_h sont respectivement la puissance et le couple hydraulique fournis par l'installation (le jet). Le rendement est adimensionnalisé par le rendement optimum.

La Figure 6 présente une comparaison entre les rendements obtenus par le calcul numérique et le rendement expérimental de la machine, d'une part en fonction de la vitesse de rotation de la roue N_{ED} et d'autre part en fonction de la puissance P_{ED} . Si les tendances sont respectées, le maximum est obtenu pour ($N_{ED}=12,8$; $P_{ED}=0,1$), les rendements numériques sont inférieurs aux rendements expérimentaux de près de 0,10, voire 0,18 pour le cas ($N_{ED}=12,8$; $P_{ED}=0,025$). Ces écarts s'expliquent, en partie, par une perte d'information entre l'auget 1 et l'auget 2 du fait de la taille du maillage trop lâche dans l'espace situé entre les deux augets. Le couple relevé sur l'intrados de l'auget 1 est plus important que celui de l'auget 2 et si on compare le débit d'eau pénétrant dans ces augets on observe un débit plus important pour l'auget 1. Le jet perd de la vitesse entre les deux augets. Si on considère les rendements calculés à partir des résultats de l'auget 1, on

fait un gain de 0,07 en moyenne pour les points de fonctionnement à $P_{ED}=0,1$ et jusqu'à 0,10 pour le point à $P_{ED}=0,025$. Ce problème est plus conséquent pour le cas ($N_{ED}=12,8$; $P_{ED}=0,1$) du fait de la petite taille du diamètre du jet. La tendance entre les rendements des points de fonctionnement est respectée : le rendement maximum est obtenu pour le cas ($N_{ED}=12,8$; $P_{ED}=0,1$). Cependant les écarts relatifs entre les rendements sont plus faibles pour les résultats numériques que pour les résultats expérimentaux pour les points à même puissance $P_{ED}=0,1$. C'est l'inverse pour l'étude à même vitesse de rotation $N_{ED}=12,8$.

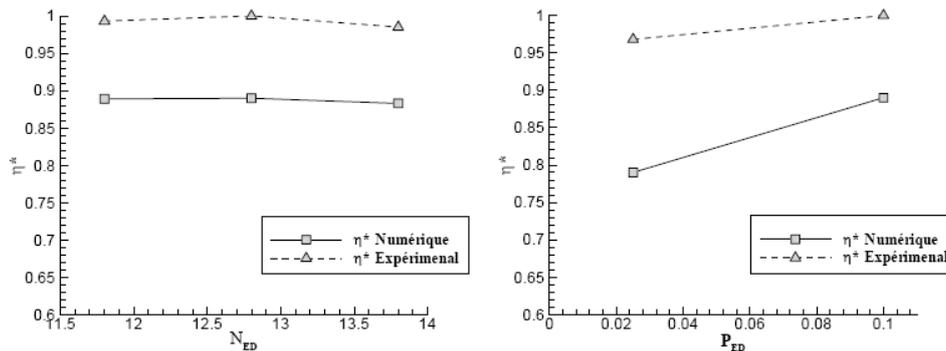


Figure 6 : Rendement calculé et expérimental pour les quatre points de fonctionnement

5. CONCLUSION

Une première approche de calcul instationnaire d'auget tournant est effectuée. Pour ce faire, une méthode de maillage glissant est utilisée (stator et rotor). Le modèle simplifié retenu est celui du passage de trois augets devant l'injecteur. Les différents événements de cet écoulement ont été observés : la découpe du jet, le mouvement de la nappe d'eau dans l'auget et sa sortie au niveau du bord ou encore les phénomènes de talonnement et de gifle. La comparaison des rendements obtenus pour les quatre points de fonctionnement simulés a montré des valeurs numériques inférieures aux valeurs expérimentales. Cependant, l'évolution de ces rendements en fonction de la vitesse de rotation de la roue ou de sa puissance est respectée. Concernant les perspectives de ce travail, il est indispensable de valider ces calculs par des mesures locales de pression et par des visualisations. En effet la bonne concordance des grandeurs globales tel que le rendement ou le couple n'est pas suffisante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. HANA M., 1998, A discussion on numerical simulation in Pelton turbines, Proceedings of the XIXth IARH Symposium.
2. KVICINSKY S., 2001, Méthode d'analyse des écoulements 3D à surface libre : application aux turbines Pelton, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
3. MACK & AL., 2004, Validation of bucket flow simulation using dynamic pressure measurements, 22nd IARH Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, June 29 – July 2, Stockholm, Sweden.
4. PERRIG & AL., 2004, Numerical flow analysis in a Pelton turbine bucket, 22nd IARH Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, June 29 – July 2, Stockholm, Sweden.
5. BACHMANN & AL, 1990, Experimental flow studies on a 1-jet model Pelton turbine, IARH Symposium, Belgrade, Yugoslavia.