

# ETUDE DYNAMIQUE DES MODELES DE REFROIDISSEMENT DES AUBES DES TURBOMACHINES

K. ALIANE<sup>1</sup>, O. SEBBANE<sup>2</sup>, A. HADJOU<sup>2</sup>

1 Laboratoire de Matériaux et Energie Renouvelables

EMAIL :kh\_aliane@yahoo.fr

FAX : 043 28 56 85

1 - 2 Université Aboubakr Belkaid TLEMEN : BP 230 Tlemcen 13000, Algérie

**RESUME** : ce travail traite le problème de refroidissement des aubes des turbo-machines travaillant à des températures élevées.

Ces températures élevées sont nécessaires pour avoir un rendement plus élevé.

On se base dans ce travail sur une modélisation des aubes commettant un matériau poreux. On étudie deux formes de porosité : une porosité cylindrique et une porosité sphérique. Les caractéristiques dynamiques et thermiques de ces deux modèles sont comparées.

Cette étude montre que le modèle des aubes à porosité cylindrique a de meilleures caractéristiques dynamiques, tandis que le modèle de porosité sphérique donne de meilleures caractéristiques thermiques on la comparant au modèle des aubes à porosité cylindrique.

Un choix d'une autre forme de porosité ayant des caractéristiques dynamiques semblables au modèle des aubes à porosité cylindrique, et de caractéristiques thermiques semblables au modèle des aubes à porosité sphérique, est nécessaire pour faire une étude d'optimisation des caractéristiques dynamiques et thermiques des modèles de refroidissement des aubes des turbomachines.

**MOTS CLES** : refroidissement, aubes, porosité cylindrique, porosité sphérique, turbomachine.

## NOMENCLATURE :

<b>h</b>	<b>Hauteur moyenne de l'aube</b>	<b>M</b>
<b>L</b>	<b>Longueur des capillaires</b>	<b>M</b>
<b>L'</b>	<b>Longueur effective des capillaires</b>	<b>M</b>
<b>n</b>	<b>Nombre des pores</b>	<b>-----</b>
<b>Nu</b>	<b>Nombre de Nusselte</b>	<b>-----</b>
<b>P</b>	<b>pression</b>	<b>pa</b>
<b>p<sub>s</sub></b>	<b>Pression de sortie</b>	<b>pa</b>
<b>p<sub>e</sub></b>	<b>Pression d'entrée</b>	<b>pa</b>
<b>Q</b>	<b>Débit volumique</b>	<b>M<sup>3</sup>/s</b>
<b>R (D)</b>	<b>Rayon ( diamètre) du capillaire</b>	<b>M</b>
<b>S<sub>sp</sub></b>	<b>Surface spécifique de l'aube</b>	<b>M<sup>2</sup></b>
<b>t</b>	<b>Variable temps</b>	<b>S</b>
<b>V</b>	<b>vitesse</b>	<b>M/s</b>
<b>v<sub>f</sub></b>	<b>Vitesse de filtration</b>	<b>M/s</b>
<b>e</b>	<b>Porosité</b>	<b>-----</b>
<b>?</b>	<b>Masse volumique</b>	<b>M<sup>3</sup>/s</b>
<b>μ</b>	<b>Viscosité dynamique</b>	<b>Pa.s</b>

## 1 -INTRODUCTION :

La montée en température pour l'amélioration du rendement des turbomachines impose une protection thermique des parois sollicitées à ces contraintes thermiques. Une possibilité de protection thermique des parois est l'effusion ; Il s'agit de l'injection d'un fluide frais à travers une matrice poreuse. Ce procédé, s'il peut engendrer des contraintes dues à une moindre tenue mécanique et aux risques d'encrassement des milieux poreux, semble prometteur quant aux performances thermiques.

En effet, l'injection de fluide frais combine le refroidissement par convection interne à la parois poreuse et la réduction du flux thermique convectif incident du fait d'épaississement des couches limites pariétales [1].

les applications industrielles de ce procédé est la protection thermique des chambres de combustion ou des tuyères de moteurs à flux continus mais peut également être envisagé dans d'autres domaines : Séchage et aérodynamique. Dans ce dernier domaine, une part d'importante des efforts de recherche est employée à la réduction des traînées autour des profils d'ailes et une injection de masse peut contribuer à réduire les forces de frottement qui les engendrent[2].

L'application au Turbomachines concernent essentiellement les transferts de chaleur au sein de matériaux poreux (l'aube) chauffés et les transferts en couches limites soumises à de l'injection[3] . Cette séparation en deux aspects de l'étude de l'effusion semble d'être longtemps prolongée avec, d'une part, des travaux sur les matrices poreuses et, d'autre part des études sur les couches limites [4].

La figure (1) montre l'efficacité des différentes méthodes de refroidissement où le refroidissement par effusion est très efficace que les autres types de refroidissement ; pour cela en va traiter dans ce travail ce type de refroidissement.

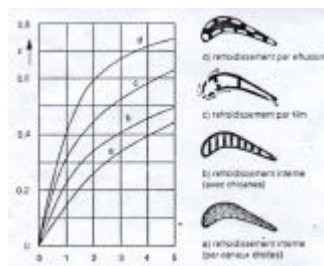


Fig. (1) efficacité du refroidissement des différentes méthodes (d'après ALBIN BOLCS [5] )

## 2 -MODELISATION :

Dans ce travail on va assimiler l'aube a un parallélépipède poreux et dont on va proposer deux modèles d'aubes poreuses :

Dans le premier type on considère que les pores de l'aube est un ensemble de n tubes capillaires cylindriques de même longueur L et de même rayon R.

Dans le deuxième modèle on considère que les pores de l'aube est un empilement de billes de diamètre moyen D ( figure 2)



Fig. (2) modèle d'aube poreuse

Une étude dynamique du problème sera traitée dans ce travail afin de pouvoir déterminer les différentes grandeurs thermiques dans une prochaine étude.

## 2-1 -MODELE DES AUBES A POROSITE CYLINDRIQUE :

La porosité  $\epsilon$  et la surface spécifique  $S_{sp}$  de l'aube sont données par les relations :

$$e = \frac{n p R^2}{h l} \quad (1)$$

$$S_{sp} = n \frac{2 p R}{h l} \quad (2)$$

le mouvement du fluide est régi par l'équation de Navier-Stokes :

$$\mathbf{r} \frac{D\mathbf{V}}{Dt} = -\vec{\nabla} p + \mathbf{m} \Delta \vec{V} \quad (3)$$

cette équation s'écrit en coordonnées cylindriques (l'écoulement étant stationnaire s'effectue suivant la longueur des tubes capillaires):

$$-\frac{dp}{dx} + \mathbf{m} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (4)$$

le gradient de pression étant égal à la différence entre la pression de sortie et celle de l'entrée des tubes capillaires :

$$\frac{dp}{dx} = \frac{p_s - p_e}{L} \quad (5)$$

On peut donc déduire le débit du fluide du refroidissement de l'aube  $Q$  :

$$Q = n \frac{p_e - p_s p R^4}{8 m L} \quad (6)$$

le débit peut être encore donné en fonction de la porosité  $\epsilon$  :

$$Q = e \frac{p_e - p_s}{32 m L} D^2 S \quad (7)$$

la vitesse de filtration  $V_f$  est donc égal à :

$$V_f = e \frac{p_e - p_s}{32 m L} D^2 \quad (8)$$

La vitesse de filtration qui traverse les pores cylindriques des aubes dépend quadratiquement du diamètre des pores et varie linéairement en fonction de la porosité  $\epsilon$ .

## 2-2 -MODELE DES AUBES A POROSITE SPHERIQUE :

En considère maintenant que la surface poreuse de l'aube est constituée par un arrangement de  $n$  sphères identiques. La porosité étant égal au rapport entre la différence du volume totale et celui des  $n$  sphères et le volume total, on peut l'écrire donc comme suit :

$$e = 1 - n \frac{p D^3}{6 S L} \quad (9)$$

La surface spécifique  $S_{SP}$  étant égale à :

$$S_{SP} = n \frac{p D^2}{S L} \quad (10)$$

les capillaires induits par l'empilement de billes ne sont pas linéaires mais présentent des tortuosités. Leur longueur effective est alors égale à :

$$L' = z L \quad (11)$$

$\zeta$  : Etant le facteur de tortuosité.

$$\text{Le coefficient de perte de charge a travers le capillaire est égal a : } \frac{dp}{dx} = \frac{p_s - p_e}{z L}$$

En peut donc donner l'expression du débit a travers le milieu poreux :

$$Q = e \frac{p_e - p_s}{32 \mu z} D^2 S \quad (12)$$

la vitesse de filtration  $V_f$  étant égale a :

$$V_f = e \frac{p_e - p_s}{32 \mu z} D^2 \quad (13)$$

La vitesse de filtration pour le modèle des aubes a porosité sphérique dépend aussi du carré du diamètre ainsi de facteur de tortuosité  $\zeta$

### 3 -DISCUSSION DES RESULTATS :

L'étude des caractéristiques dynamiques du problème de refroidissement des aubes de turbomachine est faite en se basant sur deux grandeurs importantes :

#### 3-1 -Etude de l'influence des paramètres dynamiques sur le débit :

L'intensité de transfert de chaleur est liée directement au débit du fluide de refroidissement ; ainsi l'augmentation du débit conduit à une augmentation de transfert et donc de refroidissement. La figure (4) montre que pour une porosité cylindrique le débit de refroidissement chute au fur et à mesure que la longueur de la pore augmente ; par contre ce débit augmente considérablement avec l'augmentation du diamètre de la pore pour les deux types de porosités étudiés (cylindrique et sphérique) (figure 3) on peut remarquer aussi que cette augmentation est plus importante dans le cas d'une porosité cylindrique que dans la porosité sphérique.

L'influence de la porosité est donnée dans la figure (5) où le débit varie linéairement avec la variation de la porosité, dans le cas de la porosité cylindrique ; et varie peu avec la variation de la porosité dans le cas de la porosité sphérique.

La pression de sortie du fluide de refroidissement doit être imposée pour ne pas avoir des pressions inférieures à la pression de saturation pour cela on étudie uniquement l'influence de la pression d'entrée du fluide de refroidissement sur le débit.

La figure (6) montre que le débit varie linéairement avec la variation de la pression d'entrée pour une porosité cylindrique, et il est presque constant dans le cas de la porosité sphérique.

L'influence des nombres de pores sur le débit de refroidissement est donnée par la figure (11), où on remarque que pour la porosité cylindrique le débit augmente considérablement avec l'augmentation des nombres de pores. Tandis que dans la porosité sphérique le nombre de pores n'a pratiquement aucun effet (pour un nombre de pores  $n=50$ ).

### 3-2 - Etude de l'influence des paramètres dynamiques sur la vitesse de filtration :

La vitesse de filtration est une grandeur très intéressante pour étudier les caractéristiques thermiques du refroidissement des aubes. Ainsi on peut dire que cette grandeur augmente avec l'augmentation du diamètre des pores, et la pression d'entrée, diminue avec l'augmentation de la longueur de la pore pour une porosité cylindrique. Cette vitesse est presque constante et ne dépend presque pas du diamètre de la pore, la pression d'entrée du fluide de refroidissement, ainsi que le nombre de pores pour la porosité sphérique.

L'étude des caractéristiques thermiques du problème de refroidissement des aubes de turbomachines est faite en étudiant la variation du nombre de Nusselt (Nu) en fonction de la porosité, car ce nombre (Nu) est un facteur de l'intensité de transfert de chaleur.

A partir de la figure (12) on constate que le nombre de Nusselt varie linéairement avec la variation de la porosité de forme sphérique, tandis qu'il est inversement proportionnel au variation de la porosité de forme cylindrique.

Donc, on peut dire que la porosité sphérique donne de meilleurs caractéristiques thermiques en la comparant à la porosité cylindrique.

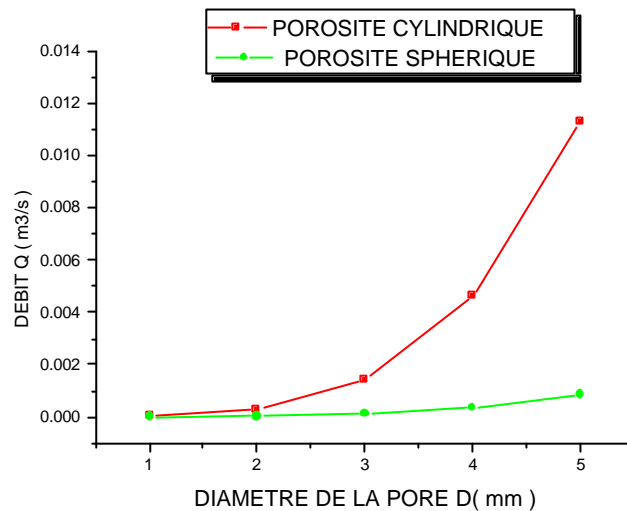


FIG. 3: INFLUENCE DU DIAMETRE DE LA PORE

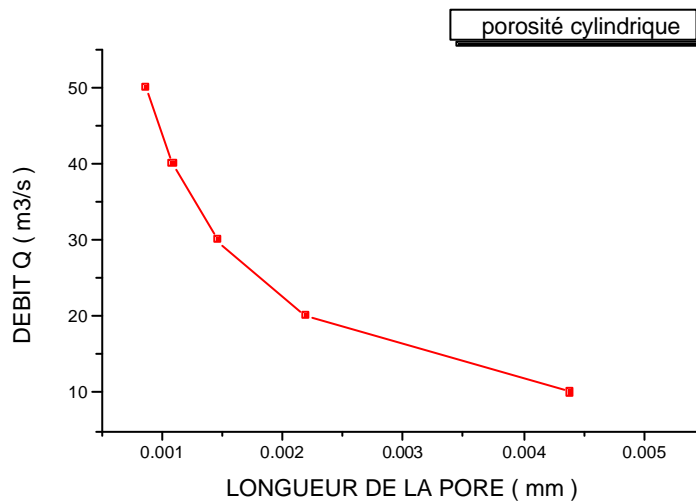


FIG. 4 :INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE LA PORE

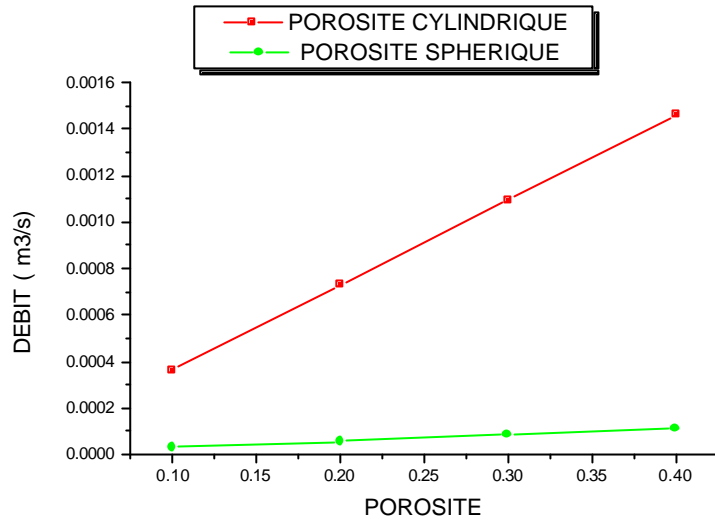


FIG.5 : INFLUENCE DE LA POROSITE SUR LE DEBIT

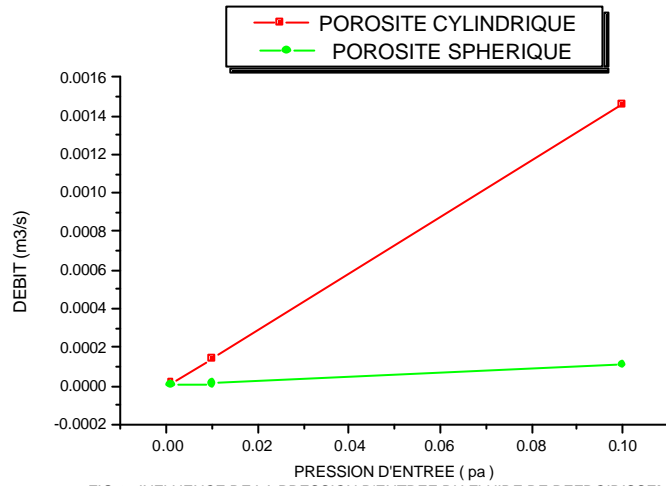


FIG.6 : INFLUENCE DE LA PRESSION D'ENTREE DU FLUIDE DE REFROIDISSEMENT

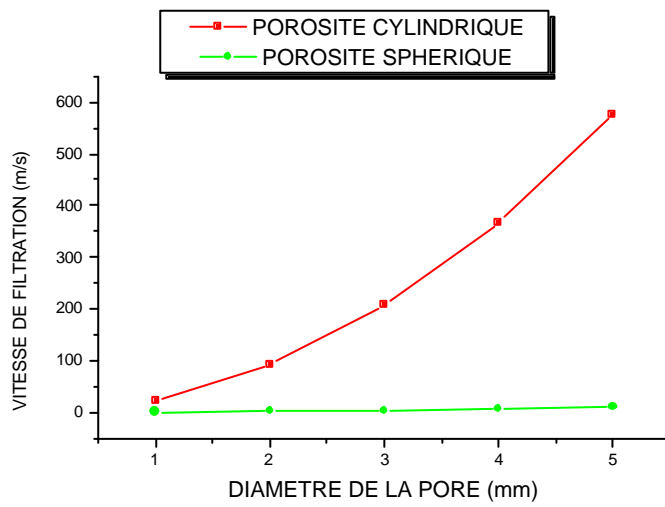


FIG. 7 : INFLUENCE DU DIAMETRE DE LA PORE

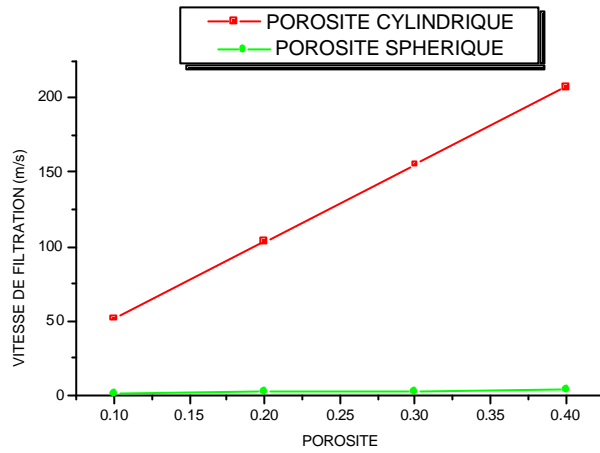


FIG. 8 : INFLUENCE DE LA POROSITE SUR LA VITESSE DE FILTRATION

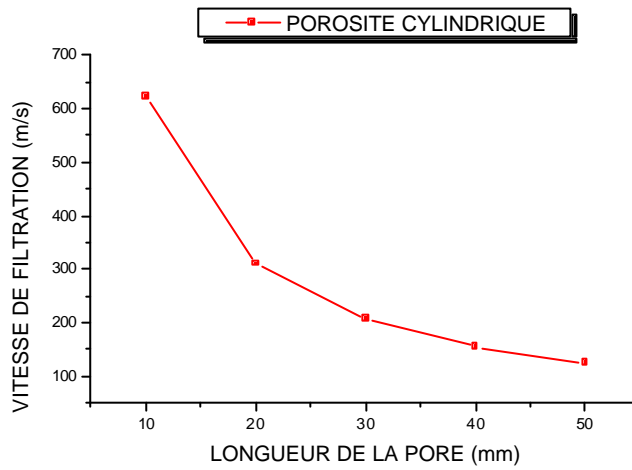


FIG. 9 : INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE LA PORE

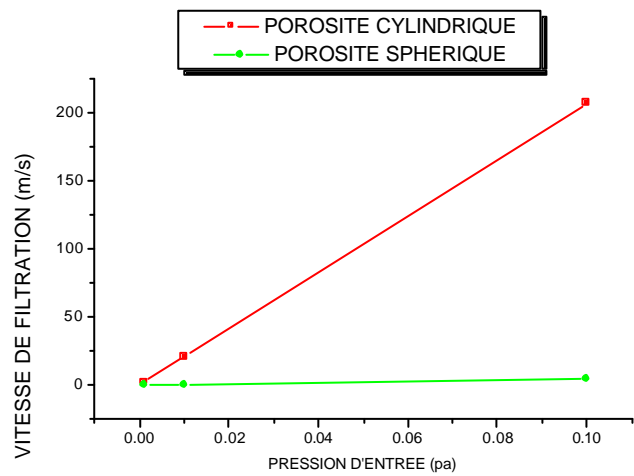


FIG. 10 : INFLUENCE DE LA PRESSION D'ENTREE DU FLUIDE DE REFROIDISSEMENT

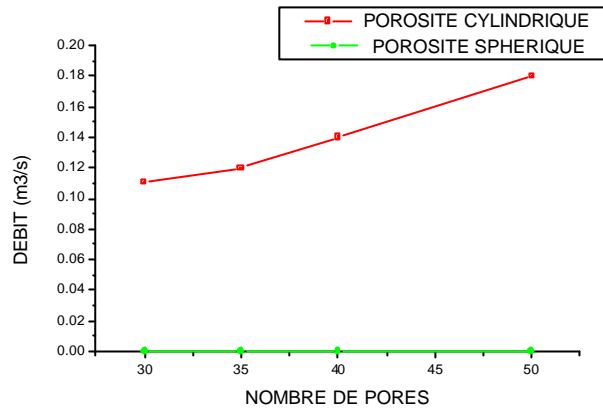


FIG.11 : INFLUENCE DU NOMBRE DE PORES

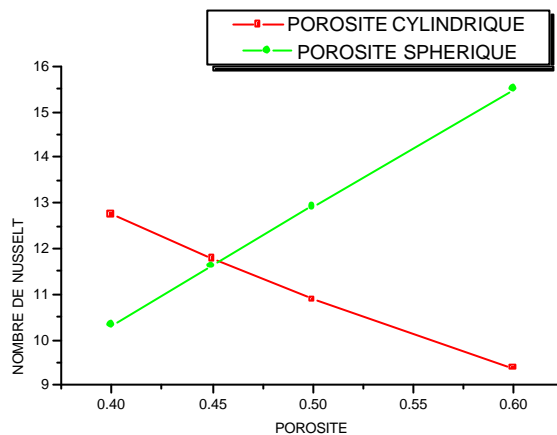


FIG. 12 : INFLUENCE DE LA POROSITE SUR L'INTENSITE DE TRANSFERT DE CHALEUR

## CONCLUSION :

L'augmentation des performances des turbo-machines est stipulée par l'amélioration de l'efficacité de méthode de refroidissement des aubes. Par conséquent la méthode de refroidissement par effusion donne des bons résultats; Cette méthode est basée sur la porosité des parois des aubes.

Cette étude montre aussi que le modèle des aubes à porosité cylindrique a de meilleures caractéristiques dynamiques, tandis que le modèle à porosité sphérique donne de meilleures caractéristiques thermiques ou le comparant au modèle de parois à porosité cylindrique. Un choix d'une autre formes de porosité ayant des caractéristiques dynamiques semblable au modèle d'aubes à porosité cylindrique , et de caractéristiques thermiques semblables au modèle d'aubes à porosité sphérique, fera l'objet à d'autre étude à l'avenir.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1]Bellettre J. , Bataille F. et Lallemand A. "Modélisation de l'effusion en présence d'un écoulement pariétal turbulent. Application à la protection thermique des parois". *Journée d'études SFT, section "convection", Paris, 19 mars 1997.* 16 p.
- [2]Bataille F. et Lallemand A. "Modification du sillage d'un cylindre soumis à de l'effusion". *Congres SFT, Marseille, 5-7 mai 1998.* Paris : Elsevier, 1998. p. 63-79.
- [3]Bidart A., Caltagirone J.P. et Parneix S. "Modélisation des écoulements turbulents dans des canaux de refroidissement de turbomachines". *Journée d'études SFT, section "convection", Paris, 19 mars 1997.* 10 p.
- [4] Andrade J.S, Costa U.M.S, Almeida M.P, Makse H.A and Stanley H.E, "Inertiel Effect on Fluid Flow through Disordered Porous Media ",*Physical Review Letters* 82 (26), (1999), pp 5249-5252.
- [5]Albin B., " Turbo machines thermiques " vol.1 école polytechnique fédérale de Lausanne ( 1993).