

Distribution thermomécanique numérique du frottement dynamique pion-disque

A. Abboudi

Engineering Sciences and Advanced Materials
Laboratory (ISMA), Department of
mechanical engineering Laghrour-Abbes
University of Khenchela.
Khenchela, Algeria
abboudiabdalaziz@yahoo.fr

B. Chermime

Engineering Sciences and Advanced Materials
Laboratory (ISMA), department of
mechanical engineering Laghrour-Abbes
University of Khenchela.
Khenchela, Algeria
cherbrah@yahoo.fr

O. Chahaoui

Engineering Sciences and Advanced
Materials Laboratory (ISMA), Department of
mechanical engineering Laghrour-Abbes
University of Khenchela.
Khenchela, Algeria
Oualid.chahaoui@gmail.com

S. Boulahrouz

Department of mechanical engineering
Laghrour-Abbes University of Khenchela.
Khenchela, Algeria
Boulahrouz_salim@yahoo.fr

A. Chehhat

Department of mechanical engineering
Laghrour-Abbes University of Khenchela.
Khenchela, Algeria
achehhat@gmail.com

H. Djebaili

Engineering Sciences and Advanced
Materials Laboratory (ISMA), Department of
mechanical engineering Laghrour-Abbes
University of Khenchela.
Khenchela, Algeria
h_djebaili@yahoo.fr

Abstract— Le frottement génère une dissipation d'énergie sous différentes formes, en sa majeure partie une dissipation thermique accompagnée par un échauffement du couple pion-disque. Cette étude est une simulation numérique en 3D transitoire par le logiciel COMSOL multiphysique du comportement thermomécanique lors d'un contact dynamique à sec d'un système pion-disque. Un modèle thermomécanique du frottement est adopté de la littérature. Une génération automatique de maillage de consistance validée est présentée. Les effets du délai de contact [0..10] seconde, l'augmentation de la charge [1..4] MPa et l'augmentation de la vitesse initiale [10 15] m/s sont discutés.

L'augmentation du délai de contact du couple pion-disque génère une augmentation rapide de la température de la zone de contact dans les premières secondes, à partir de la quatrième seconde l'augmentation est très faible, et elle devient constante à cause de la propagation de la chaleur par conduction dans les zones libres du système pion-disque. L'effet de l'augmentation progressive de la charge est plus remarquable que celui de la vitesse sur l'évolution du phénomène thermique lors du contact pion-disque.

Keywords- Frottement, thermomécanique, pion-disque, simulation, Comsol.

I. INTRODUCTION

Lors du contact d'un disque en rotation avec un pion fixe de l'énergie mécanique se transforme en une énergie thermique. Cette énergie se caractérise par un échauffement du disque et du pion. La modélisation du comportement thermique de l'ensemble pion-disque permet d'analyser l'évolution et la répartition des températures au niveau des zones de contact. Grâce aux résultats obtenus à partir du modèle développé, il devient possible d'optimiser le système. La modélisation des écoulements et des échanges de chaleur permet de comprendre et de quantifier les phénomènes physiques sans avoir recours à plusieurs essais expérimentaux.

Les simulations numériques mettent en œuvre des modèles théoriques souvent complexes des phénomènes réels. Si leur utilisation est généralement plus économique et plus simple que les expériences réelles. Des validations sont toujours nécessaires pour garantir leur pertinence.

La simulation numérique du comportement thermomécanique lors d'un contact dynamique pion-disque est réalisée par le logiciel COMSOL. La résolution numérique des équations du problème est effectuée à l'aide de la méthode numérique des éléments finis dans un système tridimensionnel. oran, 2012

II. MODÈLE THERMOMÉCANIQUE

Nous avons modélisé le système pion-disque sous COMSOL comme un solide 3D avec la forme et les dimensions comme sur la figure 1. Le dispositif modélisé ici pour l'étude de température de contact est composé d'un pion en cuivre frottant à sec contre un disque en zirconium (Figure 1). Le pion est refroidi par convection naturelle, est soumis à une charge normale P. Le disque est refroidi lui aussi par convection naturelle. Il est animé d'une vitesse de glissement constante $V = \omega \cdot R$.

Le disque a un rayon de 0,10 m et une épaisseur de 0,005 m. Le pion est sous forme de deux cylindres coaxiaux ; le grand cylindre dispose d'un rayon de 0.02 et une hauteur de 0.07, et le petit cylindre à un rayon de 0.015 et d'une hauteur de 0.006 [1].

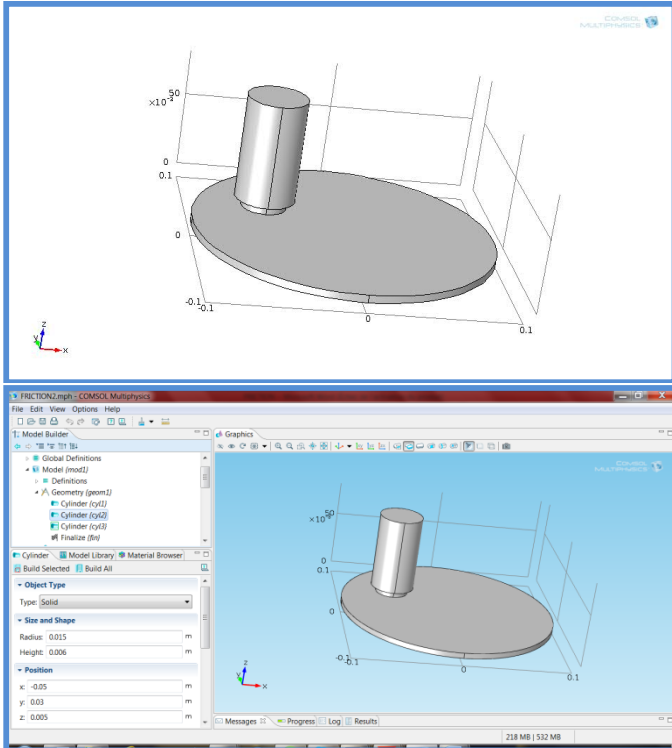


Figure 1 : modélisation géométrique du système pion-disque.

En négligeant la traînée et d'autres pertes, lors du frottement entre le pion et le disque la puissance dissipée sous forme de chaleur est donnée par le négatif de la dérivée temporelle de l'énergie cinétique du disque [2]:

$$\phi = -\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} (m \cdot V^2) \right) = -m \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} = -m \cdot R^2 \cdot \omega(t) \alpha \quad (1)$$

Ici m est la masse du disque, V indique sa vitesse, R est égale au rayon du disque, ω est la vitesse angulaire, et α est l'accélération angulaire. L'accélération est constante dans ce cas, donc $\omega(t) = \omega_0 + \alpha t$.

Cette variation en énergie cinétique est dissipée sous forme de flux thermique par surface de contact unitaire: $\phi = \mu \cdot V \cdot P$

$$(2)$$

μ est le coefficient de frottement local, V la vitesse de glissement du point considéré et P la pression de contact. L'application de la pression de contact sur le pion vient mettre

celui-ci en contact frottant avec le disque dont la vitesse de rotation est maintenue constante durant toute la simulation. Le matériau choisi du disque est le zirconium et le pion est en laiton dont les caractéristiques mécaniques des deux pièces sont récapitulées dans le tableau suivant :

TABLE I

Caractéristique	Disque (MoZrN)	Pion	Air
ρ (kg/m ³)	6 490	8742	1.170
C_p (J/kg.K)	281	300	1100
K (W/m.K)	22.7	110	0.026
μ	0.3	0.3	-
Mu (Pa.s)	-	-	$1.8 \cdot 10^{-5}$
Vitesse angulaire ω (rad/s)	250	-	-
Pression P (MPa)	-	1	-

Caractéristiques thermiques et mécaniques du système pion-disque.

Le modèle comprend également la conduction de la chaleur dans le disque et le pion à travers l'équation de la chaleur en régime transitoire :

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q - \rho C_p u \nabla T \quad (3)$$

Où : k représente la conductivité thermique (W/(m·K)), Cp est la chaleur spécifique Capacité (J/(kg·K)), et Q est la puissance de chauffage par unité de volume (W/m³).

Conditions initiales et conditions aux limites

- La densité du flux de chaleur à la limite est spécifiée par un coefficient de transfert de chaleur et une température du fluide: $h = 14$ [W/m²K] (convection naturelle pour un arbre tournant) [3-4].

$$\varphi = h \cdot (T - T_{AIR})$$

- La densité du flux de chaleur à la surface de contact est donnée par [5] :

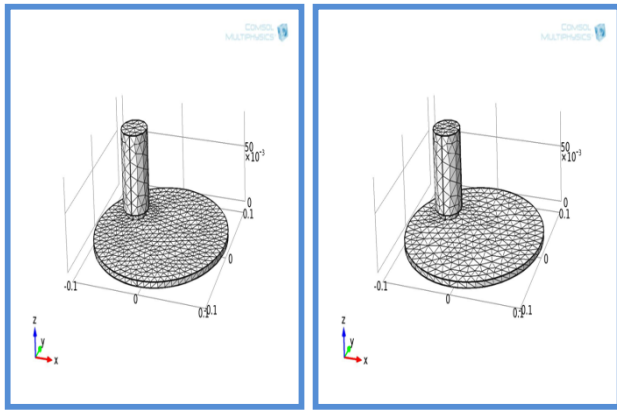
$$\varphi = \mu \cdot V \cdot P$$

- A l'instant initial, la température est uniforme dans le système pion-disque et est égale à la température ambiante T0 [5]: $T(r, \theta, z, 0) = T_{AIR} = 300$ K.

Choix du maillage

Nous avons choisi pour notre modèle de simulation sous COMSOL quatre types de maillage à éléments triangulaires (voir figure 2).

- Maillage triangulaire simple de type (coarse) avec 2395 éléments,
- Maillage triangulaire normal avec 3567 éléments,
- Maillage triangulaire fin avec 4936 éléments,
- Maillage triangulaire très fin avec 7367 éléments.



1) maillage simple (coarse) 2) maillage normal avec 2395 éléments triang. 3567 éléments triang.

Figure 2 : Les types de maillage généré automatiquement par le logiciel COMSOL.

Les figures (3-6) montrent que la distribution de la température dans le disque lors du contact avec le pion pour des temps différents ($t=0.1s$, $t=0.5s$, $t=0.7s$ et $t=1s$) est presque identique pour les quatre types de maillage. Le choix d'un maillage qui nécessite un temps de calcul réduit représente la solution optimale. Ce qui nous permet de choisir un maillage triangulaire normal avec 3567 éléments

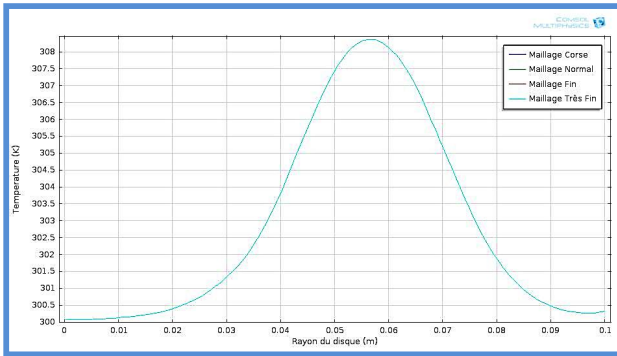


Figure 3 : Distribution de la température en fonction du rayon du disque au temps $t=1s$ pour les quatre types de maillage (coarse, normal, fin et très fin).

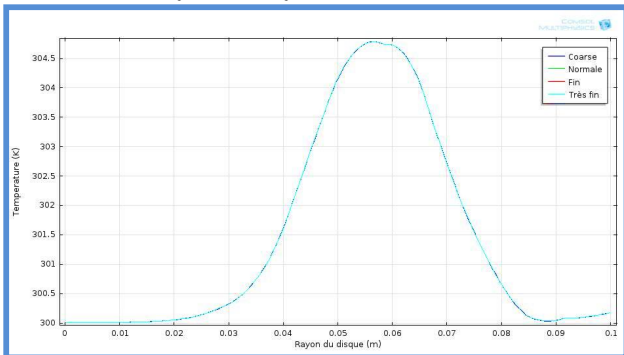


Figure 4 : Distribution de la température en fonction du rayon du disque au temps $t=0.5s$ pour les quatre types de maillage (coarse, normal, fin et très fin).

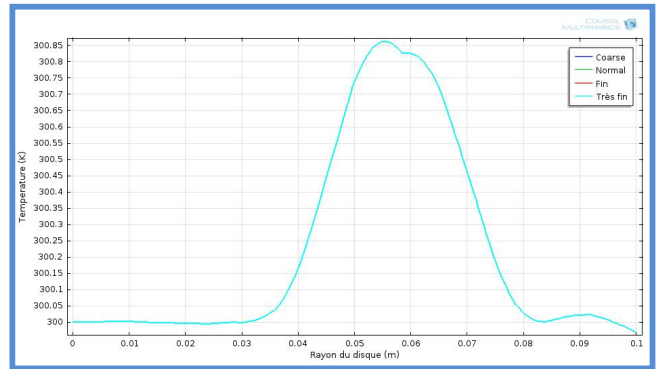


Figure 5 : Distribution de la température en fonction du rayon du disque au temps $t=0.1s$ pour les quatre types de maillage (coarse, normal, fin et très fin).

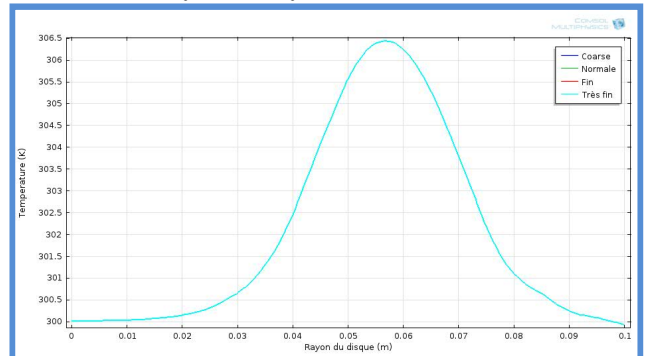


Figure 6 : Distribution de la température en fonction du rayon du disque au temps $t=0.7s$ pour les quatre types de maillage (coarse, normal, fin et très fin).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 7 montre que la zone de contact entre le disque et le pion est celle qui montre les températures les plus élevées, les températures s'accroît progressivement dans cette zone au fur et à mesure que le temps de contact s'accroît. A cause de la convection libre de l'air sur le système pion-disque les surfaces libre où il n'existe pas de frottement se trouvent presque à la même température de l'air ambiant.

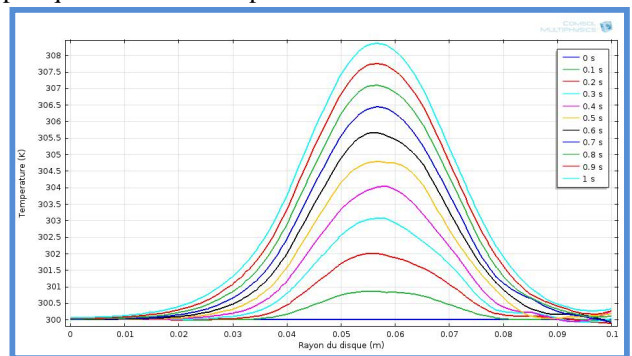


Figure 7 : Distribution de la température en fonction du rayon du disque pour un intervalle de temps $t= [0 1] s$ avec un pas de 0.1s.

La figure 8 montre les résultats de la simulation numérique du comportement thermique lors du frottement pion-disque pour un intervalle de temps $[0 1] s$. Ces figures en 3D montrent que

les zones de contact sont celles qui présentent les températures les plus élevées. Les températures augmentent en valeurs au fur et à mesure que la période de contact est longue.

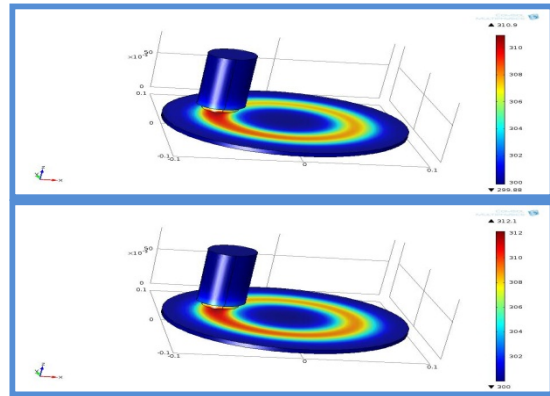
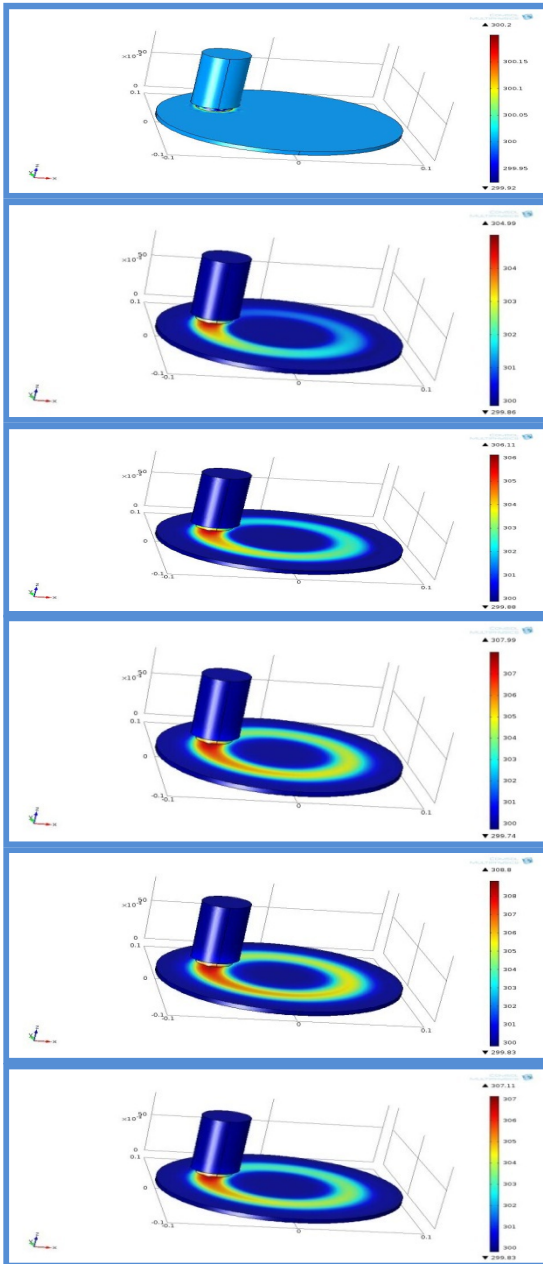


Figure 8 : Simulation numérique du comportement thermique lors du frottement pion-disque pour un intervalle de temps [0 1] s. De T=0s, 0.2s, 0.3s,...àT=1s

CONCLUSION

Une simulation numérique sous le logiciel COMSOL multiphysics pour l'accouplement thermique du système pion-disque en état transitoire tridimensionnel à été réalisée. Cette simulation numérique est basée sur l'effet de la source de chaleur mobile avec l'accouplement de la convection libre de l'air en état de frottement entre le disque et le pion.

En employant un maillage triangulaire normal avec 3567 éléments, étendu sur un intervalle de temps [0 1]s, la distribution de la température dans la zone de contact pion-disque augmente progressivement en valeurs, le reste des surfaces libres sans frottement y compris le pion se trouvent à des températures proche de la température ambiante de l'air.

Les effets de l'augmentation de la pression de contact et de la vitesse de rotation du disque s'ajoutent au facteur du temps de contact pour jouer un rôle favorisant la hausse des températures dans la zone de frottement.

REFERENCES

- [1] COMSOL Multiphysics User's Guide, Protected by U.S. Patents, Version: COMSOL 4.3, May 2012.
- [2] Introduction to the Heat Transfer Module, Protected by U.S. Patents, Version: COMSOL 4.3, May 2012.
- [3] Incropera, F.P. and DeWitt, D.P., «Fundamentals of Heat and Mass Transfer», Fifth Edition, John Wiley & Sons, 2002.
- [4] Sacudura J.-F., «Transferts thermiques, Initiations et approfondissement », Tec et Doc Lavoisier, 2014.
- [5] BELHOCINE, A., « Etude Thermomécanique Des Disques De Frein : Application du Code de Calcul ANSYS v11.0», Thèse de de Doctorat En Sciences, Université Des Sciences Et De La Technologie D'oran, 2012.