



ETUDE NON LINEAIRE D'UN PALIER HYDROSTATIQUE

M. Meriem Benziane, O. Bonneau, H. Zahloul, A. Bettahar

Département de Mécanique, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef
BP 151, Chlef Algérie

Laboratoire de Mécanique des Solides, Université de Poitiers
France

Département de Mécanique, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef
BP 151, Chlef Algérie

Département de Mécanique, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef
BP 151, Chlef Algérie

Résumé

La caractérisation du comportement dynamique des lignes d'arbres d'un palier hydrostatique nécessite la prise en compte des effets des éléments supports. Deux principaux types d'éléments sont couramment utilisés sur ce type de rotors : les paliers fluides et joints d'étanchéité. Les paliers sont essentiellement chargés de supporter les charges radiales statiques et dynamiques s'exerçant sur l'arbre.

Mots clefs : Lubrification, Palier hydrostatique, Comportement non linéaire, calculs numériques.

Abstract

The characterization of the dynamic behavior of the lines of trees of a hydrostatic landing requires the hold in account of the effects of the elements supports. Two main types of elements are used fluently on this type of rotors: the fluid and joined landings of tightness. The landings are essentially assigned to support the static and dynamic radial loads exercising itself/themselves on the tree.

Keywords: Lubrication, hydrostatic landing, non linear behavior, numeric calculation.

1. INTRODUCTION

En régime permanent, pour les conditions de fonctionnement données, le centre de l'arbre occupe une position définie, soit par l'excentricité et l'angle de calage (e , F), soit par ses coordonnées cartésiennes (x , y) ; les deux surfaces sont séparées par un film fluide.

L'influence d'un élément fluide dans ligne d'arbre d'une machine tournante est caractérisée par des forces hydrodynamiques et engendrées par un champ de pression du film fluide.

Deux approches peuvent être effectuées afin d'étudier le comportement des éléments fluides d'une ligne d'arbre (palier).

- ❖ Une étude linéaire : dans ce cas, le comportement de l'élément est modélisé par des coefficients de raideur et d'amortissement.
- ❖ Une étude non linéaire : effectuée lorsque les hypothèses de linéarité ne sont plus vraies, cette étude est une simulation numérique au cours de temps des équations de mouvement et des équations décrivent le comportement du fluide. Ce schéma numérique nécessite l'utilisation des

méthodes d'intégration non linéaires (Euler modifié et Adams Moulton).

2. PALIER HYDROSTATIQUE

On considère un palier hydrostatique constitué de quatre alvéoles contrôlé par des résistances de type capillaire.

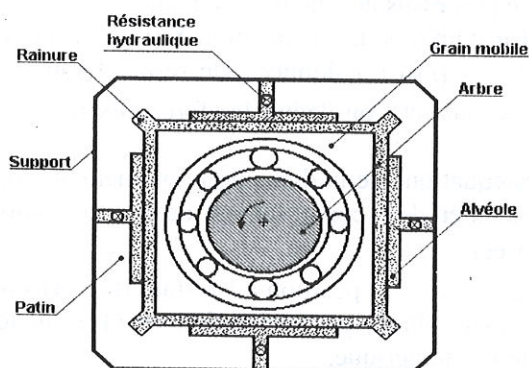


Figure 1 : Palier hydrostatique à quatre patins

Etude non linéaire d'un palier hydrostatique.

3.1. EQUATION DE REYNOLDS

L'équation de Reynolds nous permet d'obtenir la répartition du champ de pression et donc la charge portante ; ceci pour un fluide incompressible, en régime laminaire, isotherme et permanent. Avec ces hypothèses et ces conditions, l'équation de Reynolds s'écrit :

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[\frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial X} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial Z} \left[\frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right] = 12 V \quad (1)$$

Le système des équations linéaires obtenu sera résolu par la méthode de Gauss Seidel, avec coefficient de sur relaxation, qui s'écrit comme suit :

$$P(I, J)^{(K+1)} = (1-\Omega) P(I, J)^{(K)} + \Omega \left[AR + AJ \left(P(I+1, J)^{(K)} + P(I-1, J)^{(K+1)} \right) + AI \left(P(I, J+1)^{(K)} + P(I, J-1)^{(K+1)} \right) \right] \quad (2)$$

Avec Ω : coefficient de sur relaxation compris entre 1,4 et 1,8

AR, AJ, AI : coefficients des équations des différences finies obtenues par identification.

K : le nombre d'itérations.

4. CALCUL NON LINEAIRE

L'hypothèse des petits déplacements ne permet pas de prévoir le comportement d'une ligne d'arbre au-delà du seuil de stabilité ou sous l'effet de fortes charges dynamiques.

L'étude du comportement non linéaire d'un palier hydrostatique est une résolution pas à pas du principe fondamental de la dynamique appliqué au rotor et de l'équation de Reynolds.

Il s'agit donc d'un calcul itératif dans le temps qui nécessite la résolution de l'équation de Reynolds à chaque instant, et pour chaque élément fluide.

Le processus de calcul est suivant :

- 1) à l'instant t , pour une position $X(t)$, $Y(t)$ et des vitesses $\dot{X}(t)$, $\dot{Y}(t)$ données, on résout l'équation de Reynolds et l'on déduit les forces $F_x(t)$ et $F_y(t)$,
- 2) les équations de la dynamique permettent alors de calculer les composantes de l'accélération $\ddot{X}(t)$ et $\ddot{Y}(t)$,
- 3) la vitesse et la position à l'instant $(t + \Delta t)$ sont enfin déterminées par intégration en utilisant les méthodes numériques,
- 4) Le processus de calcul est alors repris en (1).

5. RESOLUTION DU SYSTEME

5.1. EQUATIONS DE MOUVEMENT

Le principe fondamental de la dynamique appliqué à l'arbre prend la forme suivante :

$$\begin{cases} M\ddot{X} = F_x + W_x(t) + W_0 & \text{suivant l'axe des X.} \\ M\ddot{Y} = F_y + W_y(t) & \text{suivant l'axe des Y.} \end{cases} \quad (3)$$

M : La masse de l'arbre,

W_0 : La charge statique,

$W(t)$: La charge dynamique qui est en fonction du temps.

Le système d'équations (3) permet alors de calculer les accélérations :

$$\begin{cases} \ddot{X} = (F_x + W_x(t) + W_0) / M \\ \ddot{Y} = (F_y + W_y(t)) / M \end{cases} \quad (4)$$

La position et la vitesse du centre de l'arbre sont calculées par des méthodes d'intégration numériques.

6. METHODES NUMERIQUES

La complexité de ce calcul nous oblige d'utiliser deux méthodes d'intégration numériques pour déterminer les positions et les vitesses de l'arbre à partir de l'accélération.

La première méthode choisie est celle d'Euler modifiée et la deuxième est celle d'Adams Moulton.

6.1. LA METHODE D'EULER MODIFIEE

6.1.1. PRESENTATION DE LA METHODE

Dans notre étude, on a choisi la méthode d'Euler modifiée comme une première méthode de calcul, cette méthode d'intégration est basée sur un schéma de différences finies, et peut s'écrire pour X :

$$\begin{cases} \dot{X}(t + \Delta t) = \dot{X}(t) + \ddot{X}(t) \Delta t \\ X(t + \Delta t) = X(t) + [\dot{X}(t + \Delta t) + \dot{X}(t)] \Delta t / 2 \end{cases} \quad (5)$$

La méthode d'Euler modifiée a été testée pour des valeurs de pas de temps de plus en plus petites jusqu'à la convergence du processus.

Etude non linéaire d'un palier hydrostatique.

Pour calculer les positions de centre de l'arbre (X, Y) et les forces non linéaires (F_X , F_Y) du palier hydrostatique à quatre patins.

6.1.2. RESULTATS D EULER MODIFIE

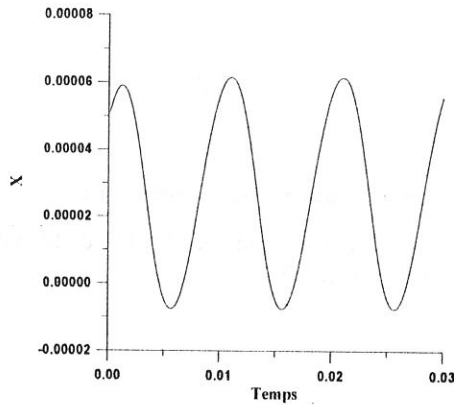


Figure 2 : La variation de la position du centre de l'arbre suivant l'axe x en fonction du temps

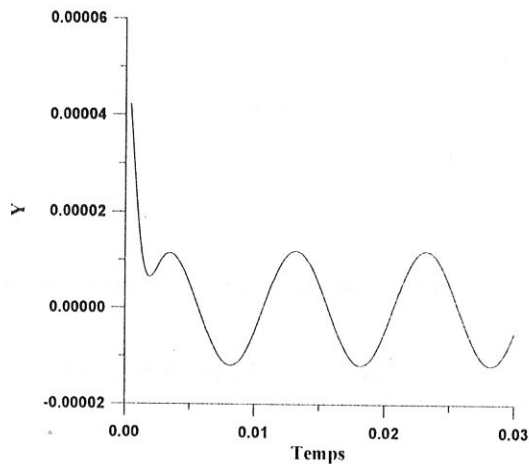


Figure 3 : La variation de la position du centre de l'arbre suivant l'axe y en fonction du temps.

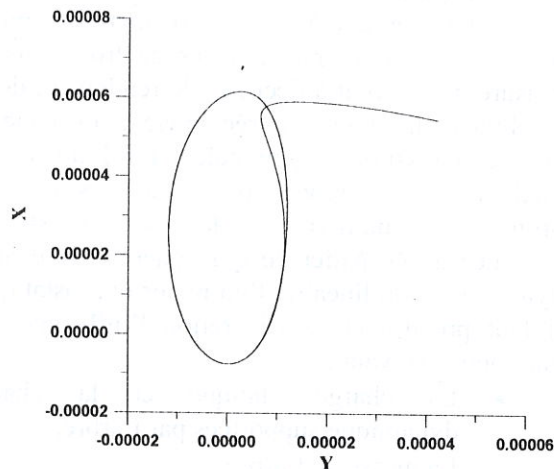


Figure 4 : La variation de la position du centre de l'arbre suivant l'axe x en fonction de l'axe y.

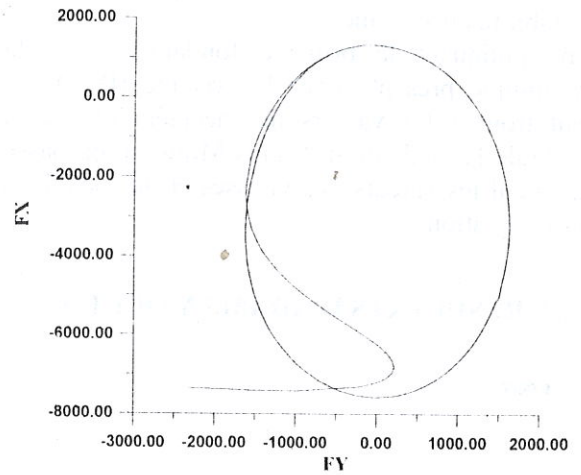


Figure 5 : LA variation de la force suivant l'axe x en fonction de l'axe y.

6.2. LA METHODE D'ADAMS MOULTON

La méthode d'Adams Moulton est bien adaptée aux systèmes à faibles non linéarités mais dont les paramètres ne varient pas beaucoup dans le temps.

On va donc utiliser la méthode, à deux pas seulement, et en gardant le même temps de calcul utilisé pour la première méthode.

6.2.1. ADAMS MOULTON A DEUX PAS

L'équation d'Adams Moulton à deux pas est écrite sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} \dot{X}_{n+1} &= \dot{X}_n + 3\Delta t \left(\frac{\ddot{X}_n - \ddot{X}_{n-1}}{2} \right) & n=1 \\ X_{n+1} &= X_n + 3\Delta t \left(\frac{\dot{X}_n - \dot{X}_{n-1}}{2} \right) & n=1 \end{aligned} \quad (6)$$

Etude non linéaire d'un palier hydrostatique.

Cette méthode est caractérisée par un ordre de précision élevé, mais elle demande beaucoup du temps de calcul, sinon elle risque d'être inconsistante et donne des erreurs qui influent sur la stabilité du système.

En appliquant le principe fondamental de la dynamique présenté dans le système (IV.8), on peut trouver les valeurs des accélérations, et à l'aide de la méthode d'Adams Moulton, on passe au calcul les valeurs des vitesses et des positions par intégrations.

6.2.2. RESULTATS D'ADAMS MOULTON

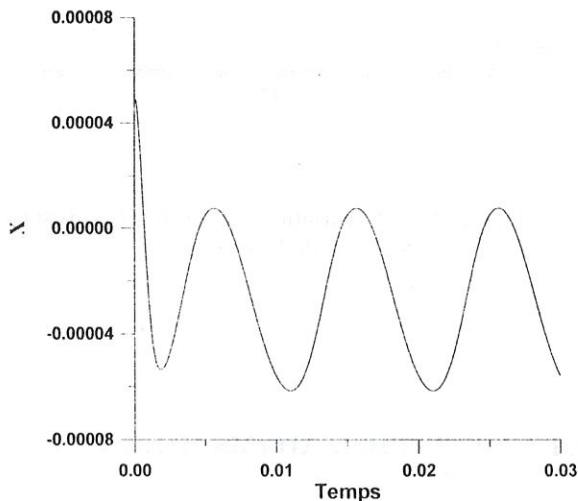


Figure 6 : La variation de la position du centre de l'arbre suivant l'axe x en fonction du temps.

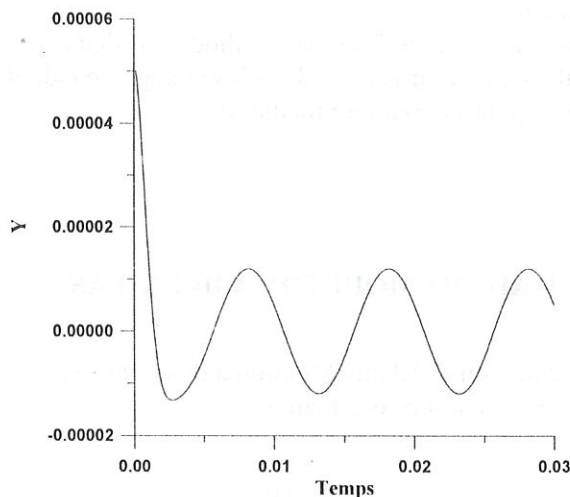


Figure 7 : La variation de la position du centre de l'arbre suivant l'axe y en fonction du temps.

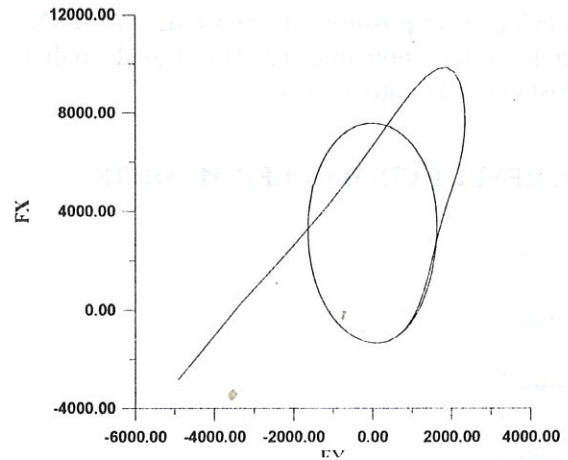


Figure 8 : La variation de la force fx en fonction de la force fy

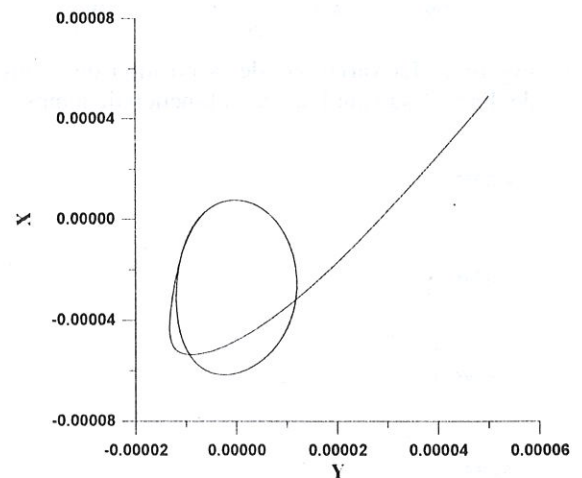


Figure 9 : La variation de la position x en fonction de la position y.

7. CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis de connaître le rôle de la lubrification dans un élément tournant, tel que le palier hydrostatique à quatre patins, et elle nous a permis d'éviter les phénomènes de frottement et d'usure qui servent à décroître le rendement de la machine et diminuer la durée de vie de l'organe.

On a vu aussi qu'on peut calculer, à l'aide d'une méthode de différences finies centrées et d'un programme numérique, les caractéristiques statiques de ce palier ce qui concerne le champ dynamique non linéaire d'un palier hydrostatique, il faut prendre en considération l'influence des paramètres suivant :

- La charge statique et la charge dynamique supportées par l'arbre,
- La masse de l'arbre,
- La pression d'alimentation.

Etude non linéaire d'un palier hydrostatique.

Les programmes de calcul réalisés et les résultats obtenus par les méthodes numériques utilisées (méthode d'Euler modifiée et de Adams Moulton), présentent une bonne concordance. Nous avons pu montrer que le mouvement orbital du centre de l'arbre est obtenu lorsque l'arbre, chargé statiquement, est soumis à des charges dynamiques de type balourd.

8. REFERENCES

- [1] Frêne, J., Nicolas, D., Degueurce, B., Berthe, D., Godet, M., Lubrification hydrodynamique. Paliers et butées, Editions Eyrolles, 1990.
- [2] Abdul-Wahed M. N., Comportement dynamique des paliers fluides – Etude linéaire et non linéaire, Thèse d'Etat., INSA de Lyon, 1982, France
- [3] Bonneau O., Comportement statique et dynamique de ligne d'arbre montée sur paliers fluides : Influence des caractéristiques des paliers, Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 1989, France
- [4] Bonneau, O., Frêne, J., Non-linear behavior of a flexible shaft partly supported by a squeeze film damper, Wear 206, pp.244-250. 1997.

Annotation

Symboles	Désignations et Unité
Q	Débit volumique total (m ³ /s)
W	Charge totale du patin d'un palier (N)
W ₀	Charge statique (N)
W(t)	Charge dynamique en fonction du temps (N)
?	Masse volumique du fluide (Kg/m ³)
V _a	Vitesse linéaire du grain mobile (m/s)
Re	Nombre de Reynolds
X ₀ , Y ₀	Position initiale du centre de l'arbre (m)
X(t), Y(t)	Position du centre de l'arbre en fonction du temps (m)
$\dot{X}(t), \dot{Y}(t)$	Vitesse du centre de l'arbre en fonction du temps (m/s)
$\dot{X}_0, \dot{Y}_0$	Vitesse initiale du centre de l'arbre (m/s)
$\ddot{X}, \ddot{Y}$	Accélération du centre de l'arbre selon X et Y (m/s ²)
t	Temps du calcul (s)
? t	Pas du temps (s)
e	Marge d'erreur sur le calcul
O	Paramètre de sur-relaxation
O _a	Centre de l'arbre
O	Centre du coussinet
M	Masse de l'arbre (Kg)
R	Rayon du palier (m)
μ	Viscosité dynamique de l'huile (Pa.s)
P	Pression (Pa)