

III.1. Introduction

L'objet principal de ce chapitre est consacré à l'étude du comportement dynamique non linéaire d'un rotor vertical guidé par un palier hydrostatique à trois butées hydrostatiques, alimenté par trois résistances hydrauliques de type capillaire. L'écoulement est considéré incompressible et le régime est laminaire, isotherme et permanent. Les perturbations dynamiques sont de type balourd. Une étude simplifiée, qui ne prend pas en compte les déformations de l'arbre est effectuée.

Dans cette étude, un modèle analytique basé sur la théorie non linéaire a été développé afin d'étudier l'effet de la pression d'alimentation, la viscosité, et le rapport de pression sur la réponse dynamique du rotor et les forces transmises au palier. Le calcul non linéaire consiste à résoudre les équations de la dynamique pour le système arbre - palier par un calcul temporel pas à pas par la méthode de Newmark. Les efforts hydrostatiques créés par le fluide sur l'arbre sont calculés à chaque itération. Ils sont obtenus par intégration du champ de pression calculé à partir de l'équation de Reynolds écrite en régime dynamique. Ces forces sont des fonctions non linéaires de la position et de la vitesse du centre de l'arbre.

III.2. Méthode non linéaire

La méthode non linéaire est une méthode au cours de laquelle les équations du mouvement sont issues du principe fondamental de la dynamique. Le calcul des charges hydrostatiques appliquées sur l'arbre, permet de déterminer l'accélération, qui par intégration nous donne les positions et les vitesses du centre de l'arbre.

Un modèle simple de palier a été volontairement choisi, il s'agit du type de calcul de palier infiniment long pour lequel les forces générées par le fluide ont une forme analytique, tout en ayant un comportement non linéaire.

III.3. Configuration du calcul

Le système mécanique qui a été choisi est le suivant :

- L'arbre est considéré rigide et symétrique.
- Il est monté verticalement dans un palier infiniment long.
- La vitesse de rotation est constante.
- Le chargement est constitué d'une charge statique et d'un balourd dynamique.

III.3.1. Balourd

Le balourd est un terme de mécanique classique caractérisant une masse non parfaitement répartie sur un volume de révolution entraînant un déséquilibre. L'axe d'inertie n'est plus confondu avec l'axe de rotation.

Il existe plusieurs types de balourd : balourd statique, balourd de couple et balourd dynamique.

Dans notre cas nous adoptons le concept de balourd dynamique.

III.3.2. Géométrie du palier

Le tableau suivant indique les Paramètres principaux du palier hydrostatique:

Les paramètres	Les valeurs en S I
L : Longueur du palier (m)	0.1524
B : Largeur du palier (m)	0.0254
b : Largeur d'alvéole (m)	$B/2$
M : La masse de l'arbre (Kg)	40
d_c : Diamètre du capillaire (m)	0.0012
l_c : Longueur du capillaire (m)	0.0058

Tableau III.1. Paramètres principaux du palier hydrostatique

III.4. Présentation du système

Nous allons simplifier le modèle de l'arbre en supposant que celui-ci est indéformable et monté symétriquement dans un palier identique. Le problème peut donc se ramener à un problème plan de masse montée dans un palier. Sur la figure III.1, les positions de l'arbre et du palier ont été représentées.

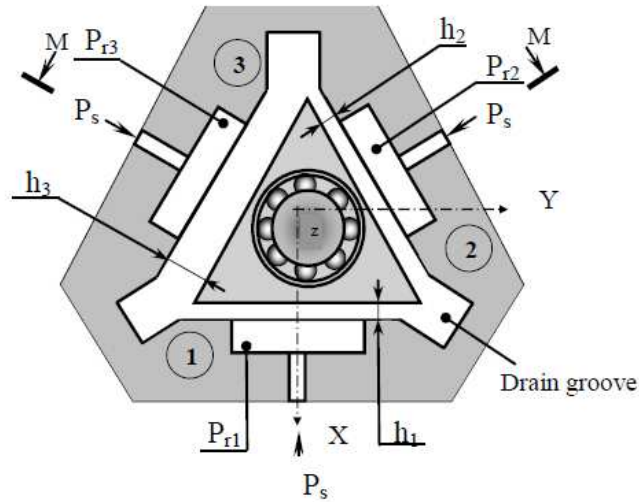


Figure III.1 : Représentation de l'ensemble arbre-palier

$(O_1, \vec{X}, \vec{Y},)$ Représente le repère supposé galiléen.

O_1 : Centre du palier.

O_2 : Centre de l'arbre.

e_b : Excentricité dynamique.

III.5. Formulation du système d'équations

Les équations de mouvement basées sur le principe fondamental de la dynamique appliqué à l'arbre prennent la forme suivante :

$$\begin{cases} M \ddot{X} = F_X + M\varepsilon_b h_o \cos(\omega t) \\ M \ddot{Y} = F_Y + M\varepsilon_b h_o \sin(\omega t) \end{cases} \quad (III.1)$$

Avec :

F_X et F_Y : représentent respectivement les actions du film d'huile sur l'arbre tournant selon l'axe X et Y.

M : La masse de l'arbre

h_o : L'épaisseur du film d'huile en position centré.

ε_b : Excentricité du balourd.

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

III.6. Méthodes d'intégration numériques

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. La complexité de ce calcul nous oblige de choisir une méthode d'intégration numérique adaptée (nous avons choisi la méthode de Newman) pour déterminer les positions et les vitesses de l'arbre à partir de l'accélération.

III.6.1. Méthode de NEWMARK

A. Présentation de la méthode

Dans notre étude, on a choisi la méthode de Newmark [5] comme une première méthode de calcul, et peut s'écrire comme suit :

$$\begin{cases} \dot{q}(t+\Delta t) = \dot{q}(t) + [(1-\delta)\ddot{q} + \delta\ddot{q}(t+\Delta t)] \Delta t \\ q(t+\Delta t) = q(t) + \dot{q}(t)\Delta t + [(0.5-\alpha)\ddot{q}(t) + \alpha\ddot{q}(t+\Delta t)] \Delta t^2 \end{cases} \quad (\text{III.2})$$

$(q = (X, Y); \delta = 0.5; \alpha = 0.25)$

B. Processus de calcul

- a) A l'instant t , les positions X, Y , les vitesses \dot{X} et \dot{Y} , et les vitesses \ddot{X} et \ddot{Y} de l'arbre dans le palier sont supposées connues. L'effort du film fluide sur l'arbre F_X, F_Y est déterminé par résolution de l'équation de Reynolds (II.13).
- b) Le système d'équations (III.3) permet alors de calculer \ddot{X}, \ddot{Y} :

$$\begin{cases} \ddot{X} = (F_X + M\varepsilon_b h_o \text{Cos}(\omega t)) / M \\ \ddot{Y} = (F_Y + M\varepsilon_b h_o \text{Sin}(\omega t)) / M \end{cases} \quad (\text{III.3})$$

- c) La position et la vitesse sont alors calculées par une méthode d'intégration telle que la méthode de Newmark
- d) Le processus (a) est alors repris.

En effet, les valeurs $X(t+\Delta t), Y(t+\Delta t), \dot{X}(t+\Delta t), \dot{Y}(t+\Delta t)$ et $\ddot{X}(t+\Delta t), \ddot{Y}(t+\Delta t)$ sont maintenant connues.

III.7 Simulation numérique

III.7.1. Etude de l'influence des différents paramètres

Différents paramètres vont être testés : vitesse, pression d'alimentation, viscosité et l'excentricité. Les calculs itératifs dans le temps sont effectués à l'aide de la méthode d'intégration de Newmark. Les résultats obtenus peuvent représenter les orbites du centre de l'arbre et les orbites des forces transmissibles au pâti.

III.7.1.1. Etude de l'influence de la vitesse

Cette étude a pour but de connaître le domaine de résonance et afin de rechercher la vitesse de rotation de l'arbre qui représente ce domaine, nous avons choisi différentes vitesses 2000, 4000, 8000, 12000 et 16000 tr/min. Les résultats de cette étude sont représentés dans le chapitre IV. La figure III.2 présente l'organigramme de calcul de l'influence de la vitesse sur le comportement de l'arbre.

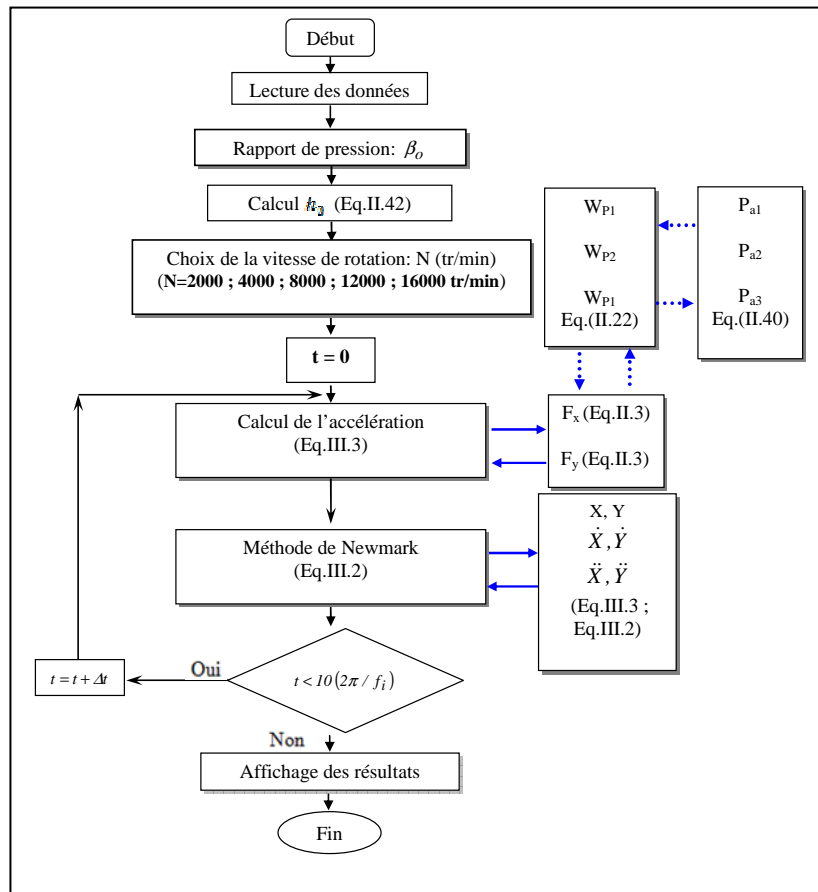


Figure III.2 : Organigramme de calcul de l'influence de la vitesse sur le comportement de l'arbre

III.7.1.2. Influence de la pression d'alimentation

Afin d'étudier l'effet de la pression d'alimentation du palier hydrostatique sur le comportement du rotor, nous avons choisi une basse pression de 4 bars, moyenne pression de 6 et 10 bars, et une haute pression de 20 bars. Les résultats sont représentés dans le chapitre IV. La figure III.3 présente l'organigramme de calcul de l'influence de la pression à la résonance (8000 tr/min) sur le comportement dynamique de l'arbre.

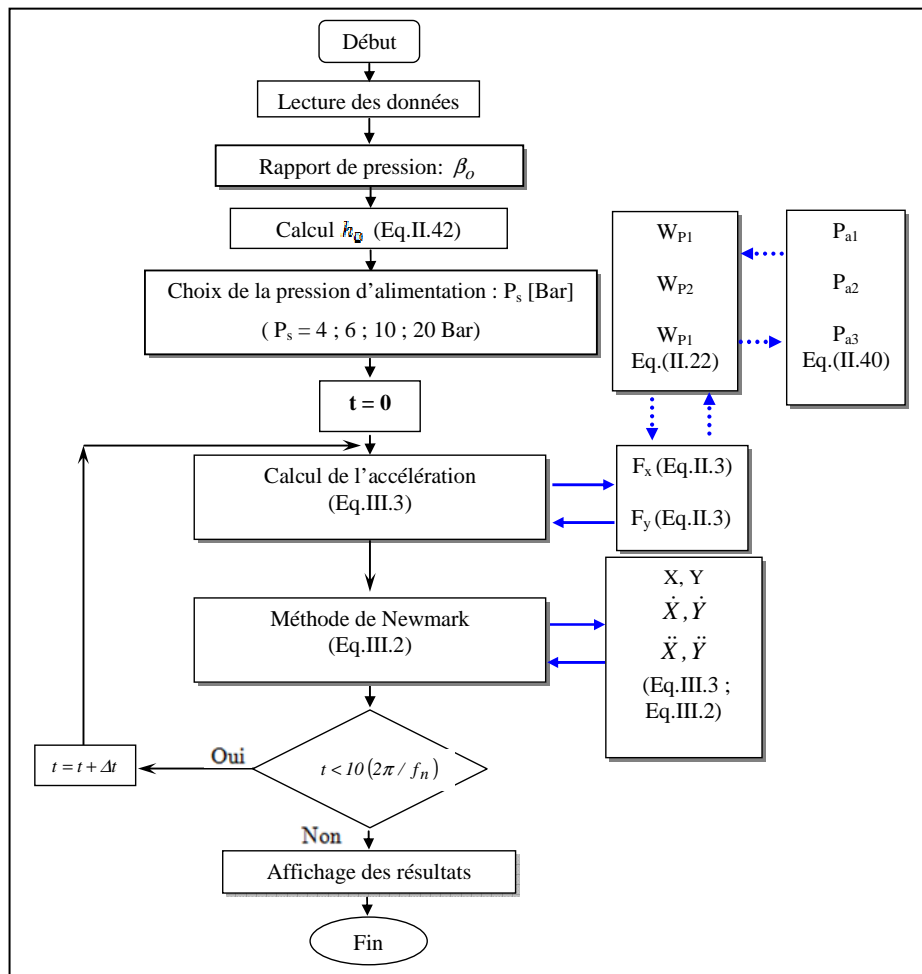


Figure III.3 : Organigramme de calcul de l'influence de la pression sur le comportement de l'arbre

III.7.1.3. L'influence de la viscosité

L'élévation globale de la température va entraîner une variation de la viscosité du fluide, une température élevée se traduisant par des viscosités faibles. La température ambiante (25 °C) correspondant à une viscosité de 0.05 Pa.s et une température de (60 °C) avec $\mu = 0.0135$ Pa.s. Les résultats sont représentés dans le chapitre IV.

La figure III.4 présente l'organigramme de calcul de l'influence de la viscosité à la résonance (8000 tr/min) sur le comportement dynamique de l'arbre.

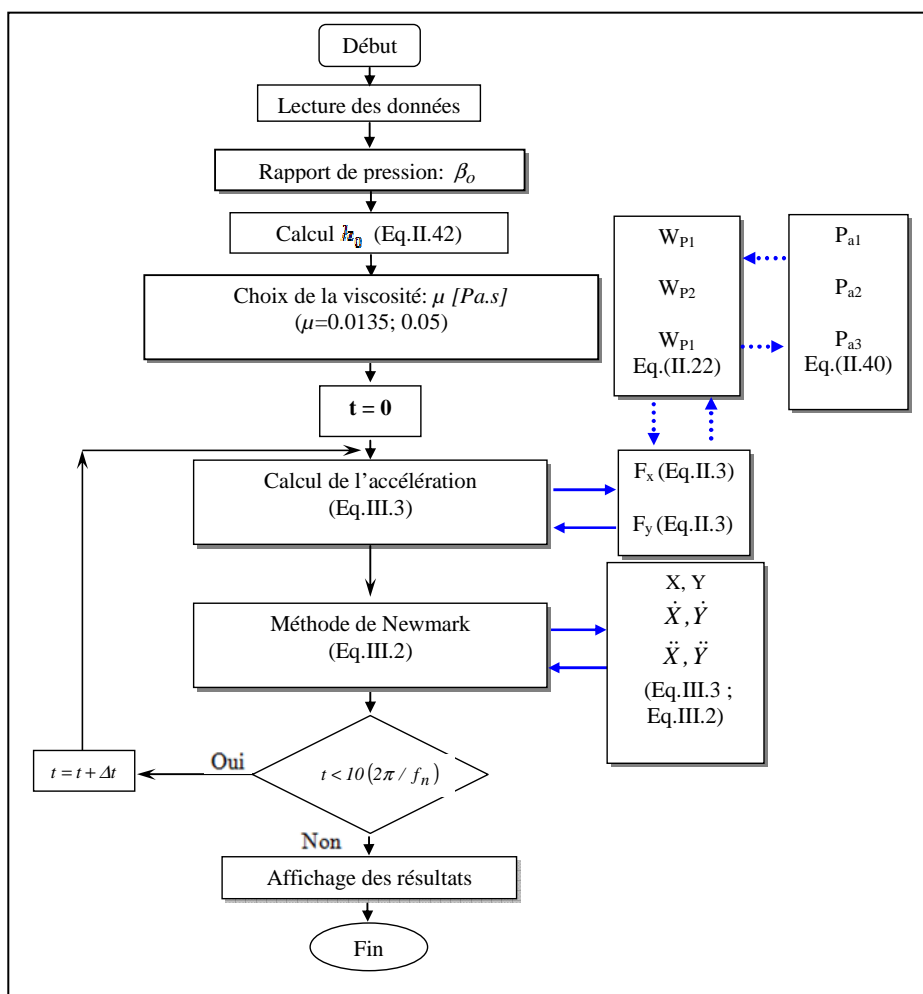


Figure III.4 : Organigramme de calcul de l'influence de la viscosité sur le comportement de l'arbre

III.7.1.4. Influence de l'excentricité

Quatre valeurs de l'excentricité de balourd : $\varepsilon = 0.1$, $\varepsilon = 0.25$, $\varepsilon = 0.5$ et $\varepsilon = 0.75$ ont été choisies, pour étudier l'effet de l'excentricité sur le comportement dynamique de l'arbre tournant. Les résultats sont représentés dans le chapitre IV.

La figure III.5 présente l'organigramme de calcul de l'influence de l'excentricité à la résonance (8000 tr/min) sur le comportement dynamique de l'arbre.

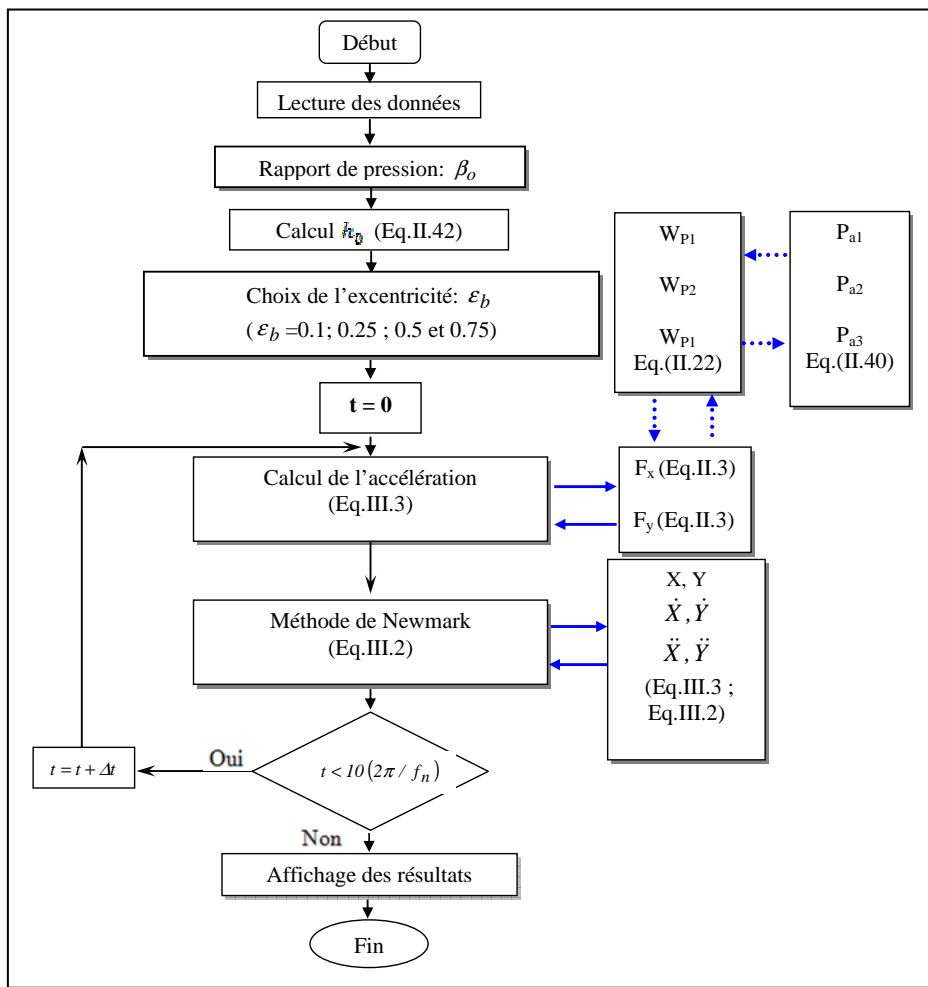


Figure III.5 : Organigramme de calcul de l'influence de l'excentricité sur le comportement de l'arbre