

4.1. Introduction

L'objectif principal de ce chapitre est consacré à étudier le comportement dynamique d'une ligne d'arbre flexible verticale guidée par des paliers hydrostatiques soumis à des sollicitations dynamiques de type balourd.

- Dans un premier temps, pour déterminer la position optimale des paliers supportant la ligne d'arbre, une étude dynamique sur l'effet des positions de paliers hydrostatiques sur le comportement dynamique d'une ligne d'arbre flexible a été effectuée, pour réduire les amplitudes des vibrations lors de passage des vitesses critiques et pour avoir des grandes plages de vitesses d'opérations.
- Dans un second temps, une étude dynamique sur l'influence de la pression d'alimentation sur le comportement vibratoire d'une ligne d'arbre flexible a été effectuée. Pour cela, un modèle numérique a été élaboré à l'aide de la méthode des éléments finis. Ce modèle nous a permis de développer un programme de calcul écrit en MATLAB, afin d'étudier comment se comporte la ligne d'arbre flexible lorsque la pression d'alimentation des paliers hydrostatiques change. Notons que la résolution de système d'équation obtenu est déterminée à l'aide de la méthode de COMPLIANCE.

4.2. Modèle numérique

Le modèle numérique développé consiste à prévoir le comportement dynamique de la ligne d'arbre - disque, notamment l'amplitude de vibration du système, en fonction de la vitesse de rotation.

La figure (4.1) illustre la discrétisation d'une ligne d'arbre flexible-disque, l'arbre est composé de 31 nœuds régulièrement répartis où le disque est placé dans le dernier nœud et les deux paliers (1) et (2) sont placés respectivement aux nœuds (1) et (10, 15, 20)

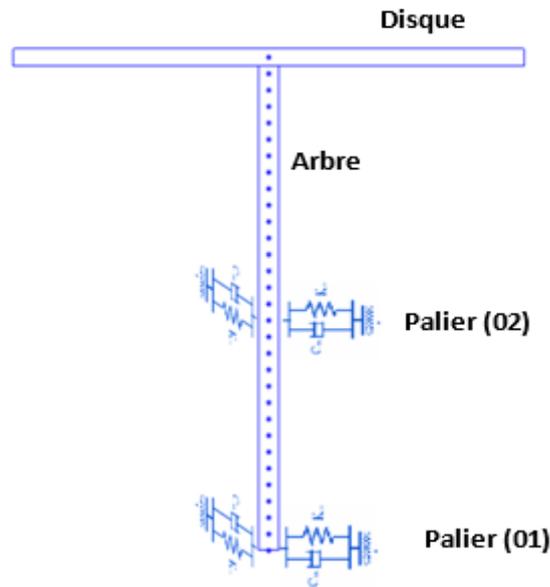


Figure 4.1 : Discrétisation d'une ligne d'arbre flexible-disque

4.2.1. Caractéristiques du rotor

❖ Disque

- Rayon intérieure $R_1 = 0.01$ m
- Rayon extérieure $R_2 = 0.15$ m
- Épaisseur $h = 0.03$ m
- Masse volumique : $\rho_d = 7800$ kg/m³
- Coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$
- La masse et les inerties du disque sont :

$$M_d = \pi(R_2^2 - R_1^2) \cdot \rho \cdot h = 16.47 \text{ kg}$$

$$I_{dx} = I_{dz} = \frac{M_d}{12} (3R_1^2 + 3R_2^2 + h^2) = 9.247 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{dy} = \frac{M_d}{12} (R_1^2 + R_2^2) = 0,1861 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

❖ Arbre

- Longueur : $L = 1.2$ m
- Diamètre : $d = 0.02$ m
- Masse volumique : $\rho_a = 7800$ kg/m³
- Module de Young élastique : $E = 200$ GPa

❖ **Paliers**

- Dimension de patin hydrostatique :
Longueur : $A_0=45 \cdot 10^{-3}$ m largeur : $B_0=7.5 \cdot 10^{-3}$ m
- Pression de l'alimentation : $P_{S1}=0.5$ bar $P_{S2}=20$ bar
- Viscosité : $\eta=6.7 \cdot 10^{-3}$ Pa.s
- Surface de contact : $X_S=4 \cdot A_0 \cdot B_0 = 1.3 \cdot 10^{-3}$ m
- Épaisseur de film d'huile : $h_0=0.1963407 \cdot 10^{-03}$ m
- Caractéristiques dynamiques des paliers hydrostatiques [15]
 - **Pour une première pression d'alimentation : P_{S1} :**
 $K_x=365612,58$ N/m
 $C_x=121,80$ N.s/m
 - **Pour une deuxième pression d'alimentation : P_{S2} :**
 $K_x=14624503,22$ N/m
 $C_x=121,80$ N.s/m

❖ **Balourd**

- $m_e=0.7 \cdot 10^{-4}$ kg.m

4.2.2. Organigramme de résolution

La figure 4.2 présente l'organigramme de calcul des amplitudes des vibrations d'une ligne d'arbre vertical supportée par deux paliers hydrostatique.

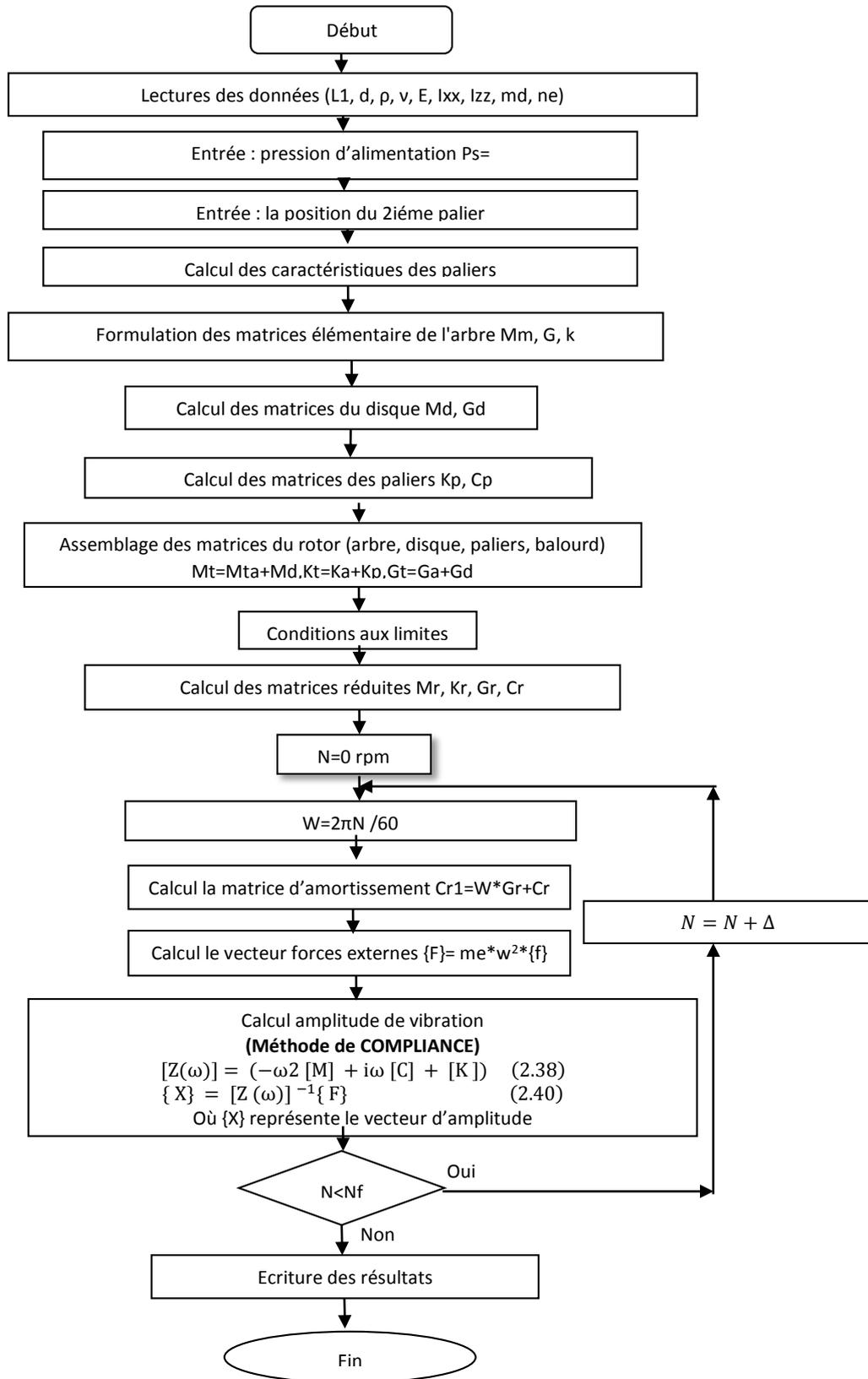


Figure 4.2 : Organigramme de calcul de la réponse d'une ligne d'arbre-disque

4.3. Résultats et interprétations

4.3.1. L'effet de la position du deuxième palier

Afin d'étudier l'influence de la position du deuxième palier sur l'amplitude de vibration au niveau du disque, trois positions du deuxième palier par rapport au premier palier, ont été choisies qui sont présentées comme suivantes : $L/3$, $L/2$ et $2L/3$. Notons que le premier palier est positionné (fixé) à la première extrémité de l'arbre, cependant le disque est fixé dans la deuxième extrémité de l'arbre (Figure 4.1.). Il faut noter que le disque de l'arbre flexible est soumis à une sollicitation dynamique de type balourd.

Les Figures (4.3), (4.4) et (4.5) représentent respectivement, l'effet de la position du deuxième palier sur l'amplitude de la vibration adimensionnelle au niveau de disque et aux niveaux des paliers 1 et 2, pour un balourd de $0.7 \cdot 10^{-4}$ Kg.m, une pression d'alimentation de $P_s = 20$ Bar, une viscosité dynamique de $6.7 \cdot 10^{-3}$ Pa.s et une épaisseur de film de $h_0 = 0.03$ mm. Notons que les amplitudes de vibrations sont adimensionnées par l'épaisseur de film du palier hydrostatique (jeu de film).

La Figure 4.3 présente la variation de l'amplitude de vibration adimensionnelle au niveau de disque en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions du deuxième palier. Cette figure montre que :

- Les amplitudes des vibrations adimensionnelles du rotor flexible diminuent lorsque la position du deuxième palier s'éloigne du premier palier (ou lorsque la position du deuxième palier s'approche au disque) ;
- Aux basses fréquences, les vibrations deviennent très importantes par rapport aux hautes fréquences. L'amplitude de vibration la plus dangereuse a été trouvée pour la première position ($L/3$) avec une amplitude égale à 70% de l'épaisseur de film (h_0) ;
- Les fréquences critiques augmentent lorsque la position du deuxième palier s'éloigne du premier palier ;
- La position 3 du deuxième palier ($2L/3$) présente le meilleur comportement vibratoire et la meilleure plage d'opération par rapport aux autres positions.

La Figure 4.4 illustre la variation de l'amplitude de vibration adimensionnelle au niveau du premier palier en fonction de la vitesse de rotation, pour différentes positions du deuxième palier. Cette figure montre que :

- La réponse vibratoire du rotor flexible au niveau du premier palier présente 4 fréquences critiques c'est-à-dire 4 modes pour chaque position. Ces fréquences critiques augmentent avec la position du deuxième palier ;
- Les vibrations deviennent très admissibles par rapport aux hautes fréquences. L'amplitude de vibration la plus dangereuse a été trouvée autour de 44 krpm, pour la première position ($L/3$) avec une amplitude égale à 14% de l'épaisseur de film (h_0) ;
- Lorsque la vitesse de rotation est inférieure à 22 Krpm, la position 3 du deuxième palier ($2L/3$) présente le meilleur comportement vibratoire et la meilleure plage d'opération par rapport aux autres positions.

La Figure 4.5 montre la variation de l'amplitude de vibration adimensionnelle au niveau du deuxième palier en fonction de la vitesse de rotation, pour différentes positions du deuxième palier. Cette figure montre que :

- Pour chaque position du deuxième palier, la réponse vibratoire du rotor flexible au niveau du deuxième palier présente 4 fréquences critiques ;
- Pour les positions 1 et 2 du 2ième palier, les amplitudes de vibrations autour des vitesses critiques deviennent très importantes.
- Les amplitudes de vibrations les plus dangereuses ont été trouvées autour de la première et la deuxième fréquence critique (résonances) avec des amplitudes dépassant 52% de l'épaisseur de film et ceci pour la position 2 du deuxième palier ;
- Lorsque la vitesse de rotation est inférieure à 22 Krpm, la position 3 du deuxième palier ($2L/3$) présente le meilleur comportement vibratoire et la meilleure plage d'opération par rapport aux autres positions.

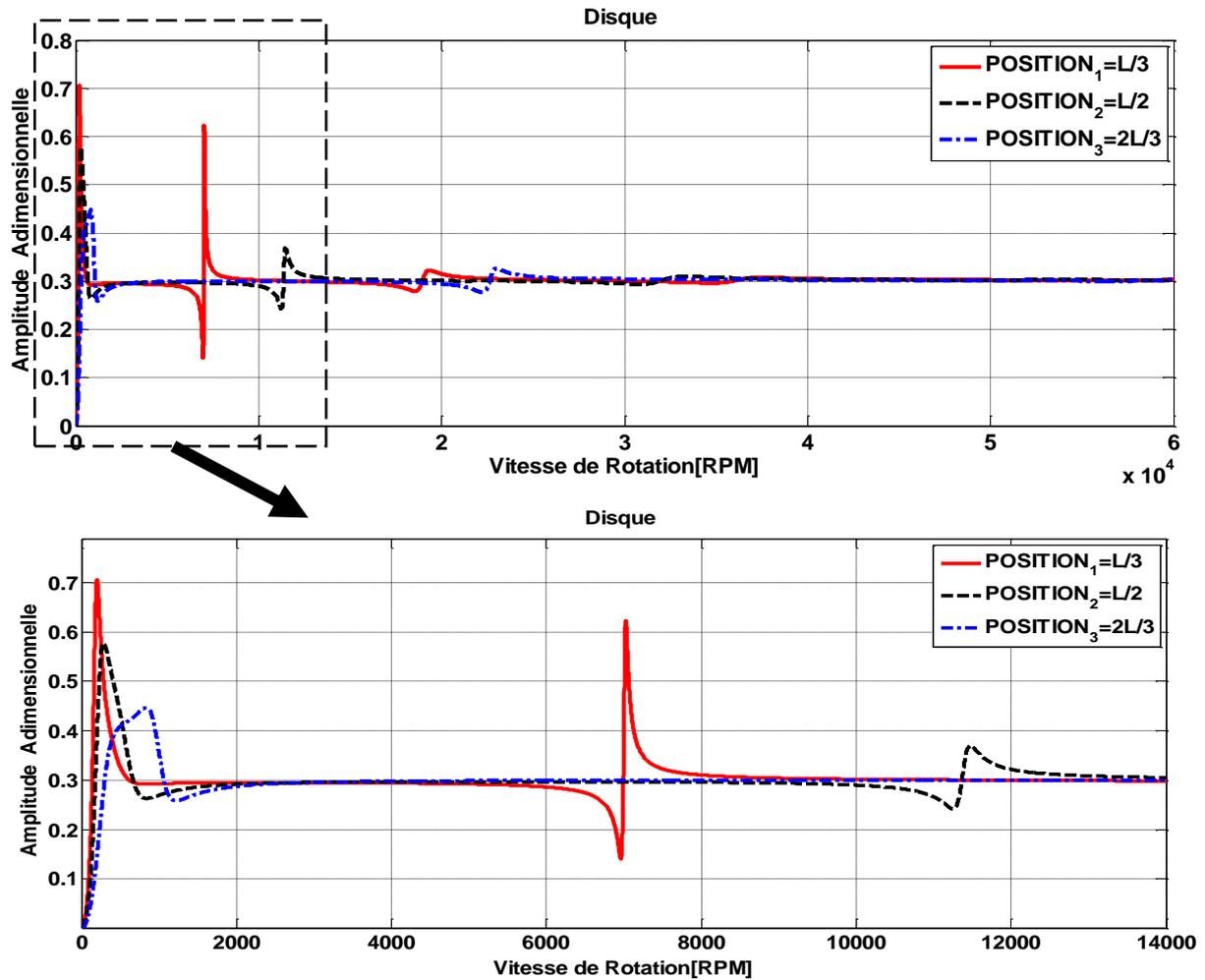


Figure 4.3 : Amplitude de vibration adimensionnelle en fonction de la vitesse de rotation

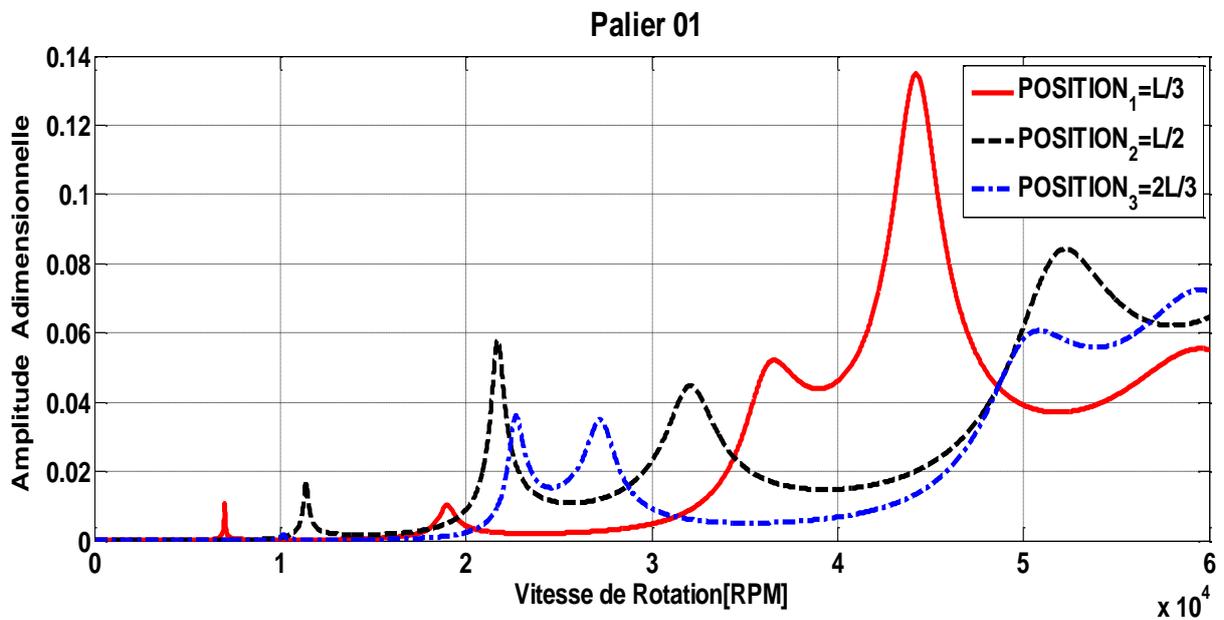


Figure 4.4 : Amplitude de vibration adimensionnelle en fonction de la vitesse de rotation

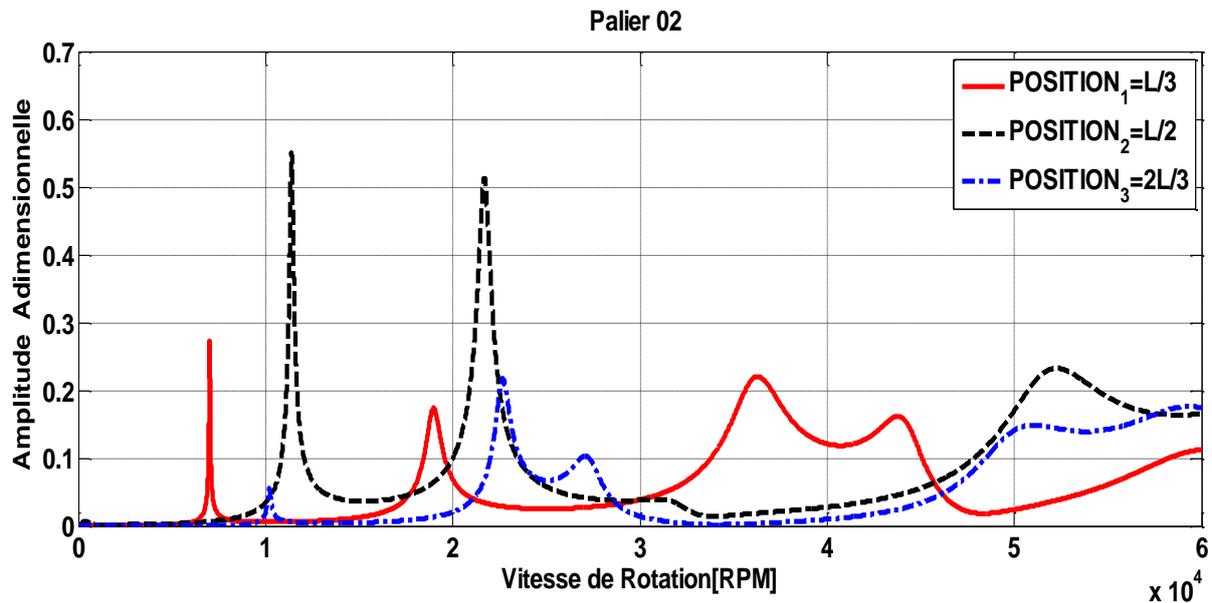


Figure 4.5 : Amplitude de vibration adimensionnelle en fonction de la vitesse de rotation

4.3.2. L'effet de pression sur l'amplitude de vibration

Les Figures (4.6), (4.7) et (4.8) montrent respectivement la variation de l'amplitude de vibration adimensionnelle de la ligne d'arbre flexible en fonction de la vitesse de rotation sur l'amplitude de la vibration adimensionnelle au niveau de disque et aux niveaux des paliers 1 et 2, pour deux différentes pressions d'alimentation, pour un balourd de $0.7 \cdot 10^{-4}$ Kg.m, une viscosité dynamique de $6.7 \cdot 10^{-3}$ Pa.s et une épaisseur de film de $h_0=0.03$ mm. Il est à noter que le deuxième palier est fixé à $2L/3$ par rapport au premier palier. Notons que dans cette étude, les amplitudes de vibrations sont adimensionnées par l'épaisseur de film du palier hydrostatique (jeu de film).

La Figure 4.6 montre la variation de l'amplitude de vibration adimensionnelle au niveau du disque en fonction de la vitesse de rotation, pour deux différentes pressions d'alimentation ($P_s=0.5$ Bar et $P_s=20$ Bar). Cette figure montre que l'amplitude de vibration diminue lorsque la pression d'alimentation augmente due à l'augmentation de la rigidité. D'autre part, cette figure montre que la plage de vitesse d'opération augmente avec la pression d'alimentation.

La variation de l'amplitude de vibration adimensionnelle au niveau du premier palier en fonction de la vitesse de rotation, pour deux différentes pressions d'alimentation ($P_s=0.5$ Bar et $P_s=20$ Bar) est présentée dans la Figure 4.7. Il est à remarquer à travers cette figure que les amplitudes de vibrations au niveau du premier palier diminuent lorsque la pression

d'alimentation augmente. L'amplitude de vibration la plus dangereuse a été trouvée au deuxième mode et autour de 18 krpm, avec une amplitude égale à 54% de l'épaisseur de film. Il faut noter que la plage de vitesse d'opération augmente avec la pression d'alimentation.

La Figure 4.8 montre la variation de l'amplitude de vibration adimensionnelle au niveau du deuxième palier en fonction de la vitesse de rotation, pour deux différentes pressions d'alimentation ($P_s = 0.5$ Bar et $P_s = 20$ Bar). Cette figure montre qu'une basse pression de 0.5 Bar conduit à une forte amplitude de vibration autour de la première et deuxième fréquence critique. L'amplitude de vibration la plus dangereuse a été trouvée autour de 18 krpm, avec une amplitude égale à 81% de l'épaisseur de film.

A la lumière de cette étude, il est recommandé afin de réduire les amplitudes de vibrations de rigidifier les paliers en augmentant la pression d'alimentation.

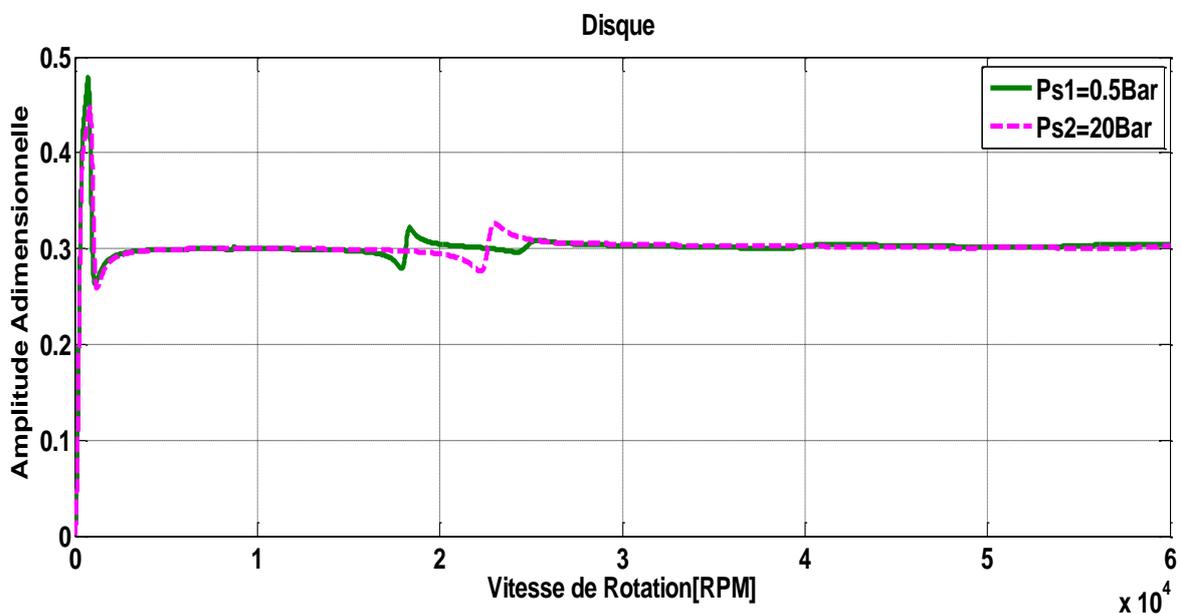


Figure 4.6 : Amplitude de vibration adimensionnelle en fonction de la vitesse de rotation

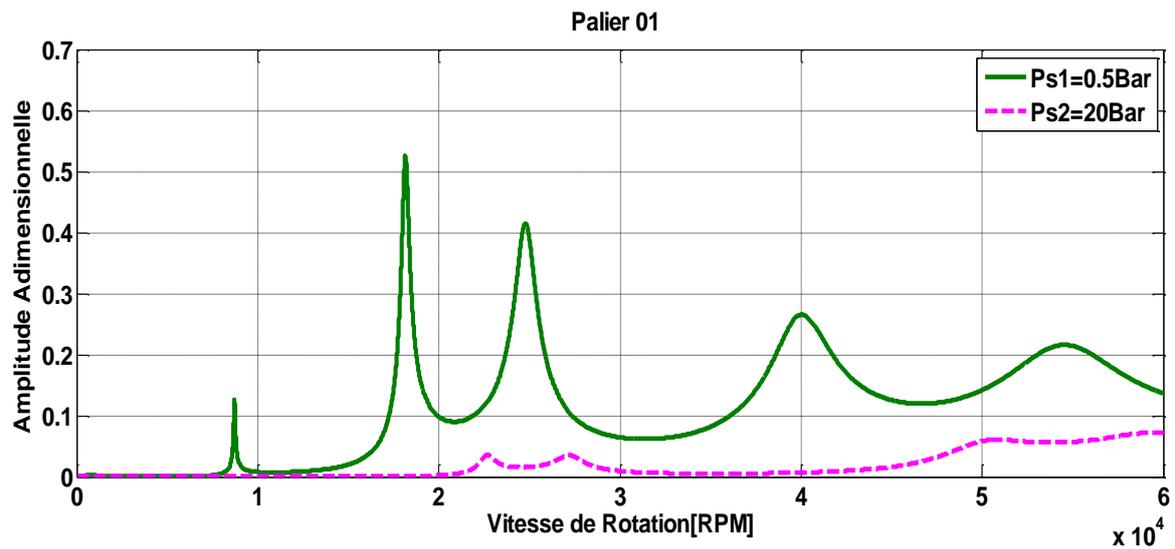


Figure 4.7 : Amplitude de vibration adimensionnelle en fonction de la vitesse de rotation

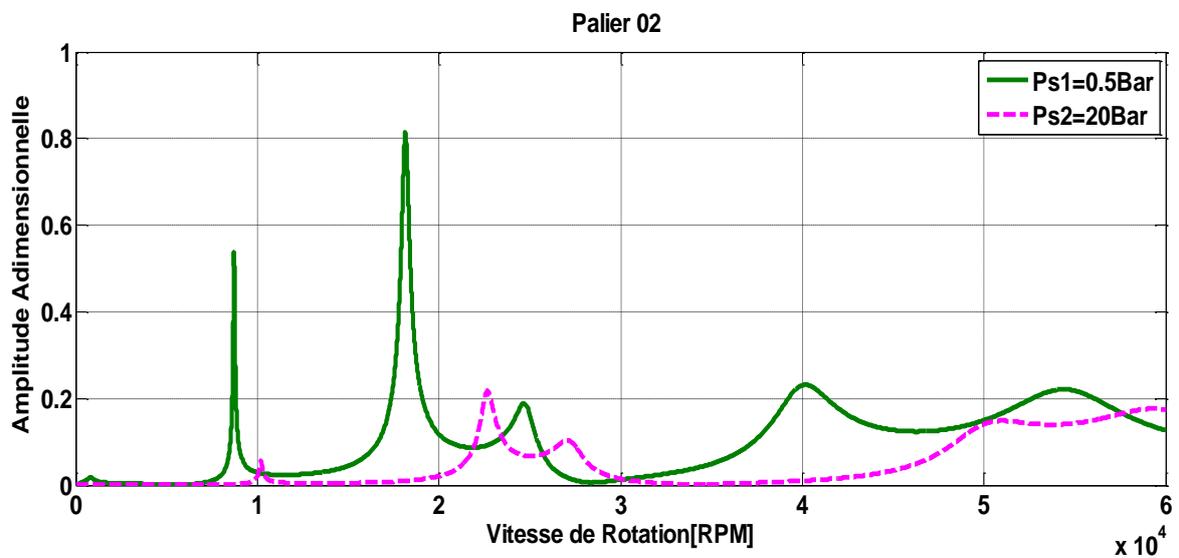


Figure 4.8 : Amplitude de vibration adimensionnelle en fonction de la vitesse de rotation