République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère D'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES-MEDEA-

Faculté Des Sciences et De La Technologie

Département Génie De La Matière



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique

Option : Conception Mécanique

Etude de déformation d'un palier circulaire sous l'effet du champ de pression hydrodynamique en utilisant le logiciel ANSYS APDL

Présenté par :

- **Abir BENTIBA**

Proposé et dirigé par :

***Dr. Djilali BOUKHLEF**

Année universitaire : 2015-2016

Remerciements

Tout d'abord je remercier Dieu qui nous a donné la force, le courage et la patience pour réaliser le présent travail.

Je remercie mon promoteur Dr Djilali Boukhelef pour sa patience et pour le choix de ce sujet ainsi pour toute l'aide qu'il m'a apportée tout au long de ce travail.

Aux membres du jury qui ont acceptés de bien vouloir juger ce travail.

A tout les enseignants de l'université Dr Yahai Faras Médéa pour leur magnifique qualité humaine et leur hospitalité.

J'ai remercie également tout le personnel du département de génie mécanique

Et tout ceux qui m'ont aidé de prés ou de loin.

Merci à tous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma cher Maman Djamila et Mon père Mohamed qui m'ont éclairé mon chemin, que Dieu le Tout Puissant les bénisse.

Mes frères, Imane, Ikram, Abd-elhadi et Farah Rania et Abd-elmalek.

Mes chers grands-parents, que Dieu les préserves et les bénisse.

La famille : Bentiba et Benbeskri.

Je ne peux citer ici les noms de tous mes ami (es), car ils sont nombreuses qu'ils soient remerciés et que ce mémoire leur soit dédié.

Abir.

Résumé :

Les pressions hydrodynamiques engendrées dans les paliers lisses circulaires peuvent affecter la forme circulaire du palier, et par la suite les performances de ce dernier. Dans cette mémoire, nous allons étudier les déformations radiale et axial d'un palier circulaire lisse soumis a une charge de pression hydrodynamique, par l'utilisation d'un logiciel de calcul des structures ANSYS APDL.

Summary :

The hydrodynamic pressures generated in the circular plain bearings can affect the circular shape of the bearing, and thereafter the performance of the latter. In this work, we will study the radial and axial deformation of a smooth circular bearing subjected to a hydrodynamic pressure drop, by using a ANSYS APDL structures code.

ملخص:

الضغوط الهيدروديناميكية المتولدة في المحامل العادية الدائرية يمكن أن تؤثر على الشكل الدائري من الحمل، وبعد ذلك على أداء هذا الأخير. في هذ ه المذكرة، سندرس شعاعي ومحوري تشوه تأثير دائرية ناعمة تعرض لهبوط الضغط الهيدروديناميكية، من خلال استخدام برنامج حساب الهياكل ANSYS APDL.

Table des matières

Table des matières :

Introduction générale…….. 1

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction……... 4

I.2. Historique…….. 4

I.3. Les paliers lisses …….. 7

I.3.1. Introduction …….. 7

I.3.2. Classement des paliers lisses …… 7

a) solen la forme géométrique …….. 7

1. La forme circulaire (coussinet à portée 360)…… 7
2. Palier à arc partiel……..... 8
3. Forme elliptique (citron)…….. 8
4. A patine oscillants…… 9
5. A lobe …….. 9

b) solen le type de lubrification ……... 9

1. Palier à régime sec ……... 9
2. Palier à régime onctueux ……..... 9
3. Palier à régime hydrostatique …….. 9
4. Palier à gaz …….. 9
5. Palier à régime hydrodynamique ……..... 10
6. Palier magnétiques ……... 10

c) solen le type leurs diamètres …… 10

1. Palier court ……... 10
2. Palier infiniment long …….. 10
3. Palier de longueur finie …… 11

I.3.3. les paliers lisses cylindriques hydrodynamique ……... 11

I.3.4. Principe de fonctionnement du palier …….. 12

I.3.5. Mode d'alimentation des paliers lisses…….. 13

A) Rainures axiales…… 13

B) Rainure circonférentielle……... 14

I.3.6. Les avantages et Les inconvénients des paliers lisses …… 15

A) Les avantages……..…….. 15

B) Les inconvénients……..…… 15

I.4. lubrifiant ……... 15
I.4.1. Composition et type d'huile…….. 15
a) Les huiles à base minérale…… 16
b) Les huiles à base synthétique…… 16
c) Les additifs ……... 16
I.4.2. Caractéristiques principales des lubrifiants liquides……..... 16
I.4.3. la viscosité de la lubrification …….. 17
I.4.4. Fluide newtonien …….. 17
I.4.5.Fluide non-newtonien …… 17
I.5.Les types de lubrification ……..... 18
a) Lubrification limite…… 18
b) Lubrification mixte ……... 18
c) Lubrification hydrodynamique ……..... 18
d) Lubrification élastohydrodynamique (EHD)……..... 18
I.6.Conclusion …… 19
Chapitre II : Présentation des problèmes
II.1. Introduction……..... 21
II.2. les caractéristiques géométriques d'un palier lisse……. 21
II.3.1. L'équation générale…….. 22
II.3.2. Equation de Reynolds…….. 23
II.4.Conditions aux limites ……..... 24
II.4.1. Modèle de Sommerfeld…… 24
II.4.2. Conditions de Gümbel……..... 25
II.4.3.Conditions aux limites de Reynolds……..... 26
II.5.1.Déformations mécaniques …… 28
II.5.2.Méthode d'éléments finis …… 29
II.6. Conclusion …….. 29
Chapitre III : Etude Numérique
III.1. introduction ……..…… 31
III.2. Présentation du logiciel……..…… 31
III.2.1. Définition de logiciel……..…… 31
III.2.2. Aspects techniques……..……... 32
III.2.2.1. principaux produits……..…… 32

III.2.2.2. Environnements logiciels…….. 33
III.3. Méthode de Calcul……... 33
1. Définir l'élément type …….. 35
2. Les propriétés du matériau de l'élément…… 35
3. Définir les propriétés géométriques…….. 37
4. Le maillage…… 37
5. Introduit des conditions aux limites…… 39
6. La Solution…… 39
III.4. Conclusion…… 39

Chapitre IV : Résultat et Discutions

IV.1. Introduction…… 41
IV.2. Propriétés de matériaux…… 41
- Exemple sur un chargement axisymétrique appliqué sur un palier hydrodynamique…… 41
IV.3. Déformation Radiale…… 45
a. Palier court L/D=0,5…… 45
A) Maillage…… 46
B) Application …….. 47
C) Solution et résultat…… 50
D) Discussion des résultats…… 53
b. Palier de longueur finie L/D=1…….. 56
A) Maillage…… 56
B) Application ……... 57
C) Solution et résultat…… 60
D) Discussion des résultats…… 63
c. Palier infiniment long L/D=1.5…….. 65
A) Maillage…… 66
B) Application…… 67
C) Solution et résultat…… 70
D) Discussion des résultats…… 72
IV.4. Déformation Axiale…… 75
a. Les paliers faiblement chargé…… 76
b. Les paliers fortement chargé…….. 77

IV.5. Conclusion…… 79
Conclusion Général…… 81
Bibliographie……... 83
Table des figures…… 85
Liste des tableaux…… 89

Introduction Générale

Introduction Générale :

Les machines tournantes occupent une place très importante dans le domaine génie mécanique. Ces machines sont caractérisées par une partie mobile appelée rotor constitué par l'arbre tournant et tous les éléments attachés à celui-ci. L'autre partie de la machine est fixe et appelée stator.

La liaison entre le rotor et le stator est assurée par des éléments spéciales facilitant le mouvement relative et sert principalement à réduire le frottement, appelés paliers. Ces éléments de machine donnent une très grande importance au dimensionnement et à l'étude du comportement à ceux-ci. Ces études s'inscrivent dans le domaine de la tribologie.

La tribologie est la branche de la mécanique qui étudié le frottement et l'usure entre les pièces mécaniques en mouvement relative. Plus générale, la tribologie est l'étude de la lubrification du frottement et de l'usure des éléments de machine.

Les paliers hydrodynamiques, sont fréquemment utilisés dans le guidage des lignes d'arbre des machines tournantes modernes tournant à grandes vitesses à cause de la présence d'un film d'huile. L'analyse des paliers hydrodynamiques nécessite la résolution de l'équation de base et autres équations de déformation, qui sont très compliquées à résoudre analytiquement. D'où la nécessité d'utiliser de l'approche numérique.

L'objectif de ce travail est étude de la déformation d'un palier circulaire sous l'effet du champ de pression hydrodynamique par l'utilisation du logiciel de calcul qui s'appelle ANSYS APDL.

Pour ce faire, nous avons divisé notre travail en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, une étude bibliographique qui consiste à expliquer les notions de la lubrification des contacts mécaniques concernant les paliers hydrodynamiques.

Le deuxième chapitre présente les équations de base de la lubrification hydrodynamique et l'équation de déformation et aboutir ainsi an modèle mathématique des paliers hydrodynamiques.

Le troisième chapitre présente le code numérique de calcul utilisé qui est ANSYS APDL par un exemple de calcul.

Le quatrième chapitre est réservé à la résolution numérique du problème de la lubrification hydrodynamique par la méthode des éléments finis, et les résultats de déformations d'un palier court et de longueur finie puis d'un palier infiniment long.

Chapitre I:
Etude Bibliographique

I.1. Introduction :

La tribologie est un nom du grec ancien τρίβος, « frottement » et λόγος, « science, étude ». Ainsi la tribologie généralement est l'étude de la lubrification du frottement et de l'usure des éléments de machine.

Il faut tout d'abord remarquer que le frottement ne présente pas que des aspects négatifs, ainsi la tenue de route d'une automobile dépend directement du frottement entre les pneumatiques et la route. De même, sans l'existence du frottement, l'homme serait incapable de marcher.

Enfin, si l'homme a appris à maîtriser le feu pour lui. Cependant, dès la construction des premiers mécanismes, l'homme a cherché à supprimer l'usure et à diminuer le frottement pour réduire les efforts.

I.2. Historique :

Les premiers paliers fabriqués par l'homme préhistorique sont sans doute les crapaudines du porte qui consistaient en un axe en bois tournant à l'intérieur d'un creux pratiqué dans du bois ou dans une pierre. Des éléments en pierre datés de 2500 ans avant J. C. ont ainsi été retrouvés en Mésopotamie. [1]

Pour transporter les lourdes charges, les Egyptiens faisaient glisser celles-ci sur des chemins réalisés sans doute en bois, et lubrifiés abondamment à l'avant de l'objet à déplacer. Plusieurs bas-reliefs montrent cette méthode de transport. Le plus ancien provient de la tombe de Saqqarah (Egyptien pyramide) et date de 2400 ans avant J.C. (fig. I.1)

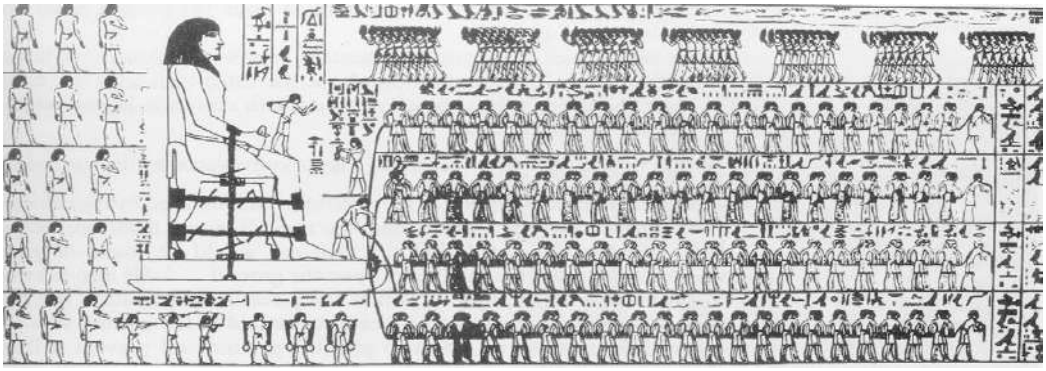


Figure I.1: Transport d'une statue, tombe de Tchuti Hetep, El-Bersheh, Egypte, 1880 avant J-C.[1].

Les Grecs et les Romains ont développé l'usage de la roue ; ils connaissaient l'emploi des huiles végétales et animales comme lubrifiant ainsi que celui du bitume et des huiles de pétrole. Les Grecs disposaient de tous les éléments nécessaires aux grands progrès techniques. [1]

Au moyen âge, il a été réalisé des coussinets en bronze pour permettre de réduire le frottement et l'usure. De même, Léonard de Vinci est le premier tribologue connu ; il a apporté une contribution remarquable à l'étude des problèmes de frottement. Ses idées étaient très en avance sur les réalisations technologiques de son époque. [1]

Au début de la révolution industrielle, Charles Augustin Coulomb (1736-1806) est marqué dans le domaine de la tribologie par différents expériences sur le frottement de glissement et dans certains cas sur le frottement de roulement, Il a ainsi déterminé de nombreuses valeurs du coefficient de frottement statique et dynamique encore globalement valables aujourd'hui. [1]

Le XIXe siècle a été marqué par des développements très importants dans tous les domaines et en particulier en Tribologie. Par ailleurs le développement des machines à vapeur a entraîné l'utilisation de nombreux paliers lisses.

En 1883 Nikolai Pavlovich Petrov (1836-1920) présente des études sur le frottement des paliers lubrifiés. Il a valorise l'importante de la viscosité dans les contacts lubrifier. [1]

En Angleterre en 1882, B.Tower (1845-1904) a réalisé des essais sur la lubrification des paliers. Dès 1883, Tower présente dans un premier rapport ses résultats obtenus sur le frottement et constate, qu'ils correspondent mieux aux lois du frottement liquide qu'à celles du frottement solide données par les lois de Coulomb. [1]

Osborne Reynolds (1842-1912) dans un article publié en 1886 a établi les bases de la lubrification hydrodynamique actuelle dans le but d'expliquer les résultats expérimentaux de Tower. Il a montré que lorsqu'un film de lubrifiant sépare totalement les surfaces, le frottement n'est pas proportionnel à la vitesse car l'élévation de température dans le film entraîne une diminution de la viscosité et donc du frottement. [1]

O. Reynolds a intégré l'équation de Navier-Stokes et supposé qu'il n'y a pas de glissement entre le fluide et les surfaces du contact, il obtient le champ de vitesse dans le fluide et développé une équation est connue depuis sous le nom d'équation de Reynolds, c'est l'équation de base de la lubrification hydrodynamique. [1]

- **Résolution de l'équation de Reynolds :**

La théorie de la lubrification hydrodynamique présentée par Reynolds en 1886, a été utilisée dès le début du XXe siècle pour le calcul des butées et des paliers. [1]

En 1881, Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894) a présenté la théorie analytique pour calculer les contraintes et les déformations dans le contact en l'absence de frottement. Cette théorie ne prend pas en compte l'effet du fluide, elle permet de calculer l'état de contrainte dans les matériaux avec précision. [2]

En 1905, Anthony George Maldon Michell (1870-1959) obtient à l'aide de développements limités, la solution de l'équation de Reynolds dans le cas d'une butée de largeur finie. Il montre ainsi, la diminution de portance due aux fuites latérales du fluide. Dans le cas des paliers, les progrès ont été moins rapides. [2]

En 1933, Herbert Walker Swift (1894-1960) présenté des conditions aux limites à la sortie du film plus représentatives de la réalité. [1]

En 1953, Fred William Ocvirk (1913-1967) présente une méthode approchée pour le calcul des paliers courts. Il propose de négliger dans l'équation de Reynolds, le gradient de pression circonférentiel devant le gradient de pression axial. La solution est analytique et utilise les conditions aux limites de Gümbel, cette méthode est encore utilisée aujourd'hui. [1]

La première solution complète du problème élastohydrodynamique a été proposée en 1959 par Dowson et Higginson ; ces auteurs ont utilisé une méthode de résolution numérique itérative qui permet de coupler le calcul des déformations élastiques à celui de la résolution de l'équation de Reynolds. Depuis, l'utilisation des ordinateurs et le développement des techniques numériques ont permis de calculer avec précision ce type de contact. Cependant l'effet des rugosités et surtout le comportement non newtonien des lubrifiants dans un contact hertzien font encore l'objet de nombreuses recherches.[2]

Les études sur l'usure, elles aussi très récentes, ont, pour la plupart été réalisées ces trente dernières années. Les phénomènes d'usure, qui naturellement ont un lien direct avec la dégradation des matériaux, ont été classés d'après la nature physique des processus mis en jeu. On distingue ainsi aujourd'hui, les usures par adhésion, érosion, corrosion et fatigue. Cependant, on ne sait pas prédire avec précision, l'usure d'un mécanisme en frottement sec. [1]

I.3. Les paliers lisses :

I.3.1. Introduction :

Les paliers sont des organes mécaniques utilisés en constriction mécanique pour supporter et guider en rotation, des arbres de transmission suivant l'usage désiré.

On peut classer les paliers selon deux catégories :

lisse ou les arbres qui reposent sur des coussinets sont soumis au frottement de glissement entre les surfaces en contact (figure I.2).

à roulement ou le contact s'effectue par l'inter médire de billes ou de rouleaux contenus dans des cages (figure I.3) [3].



Figure I.2: Les paliers Lisse.



Figure I.3: Les Roulements

I.3.2. Classement des paliers lisses :

En peut classer les paliers solen défirent type, mais nous trouvons deux type sont :

a) selon la forme géométrique :

1. La forme circulaire (coussinet à portée 360°) :

C'est le palier le plus simple et fréquemment utilisé, il correspondant à la meilleure solution technologie que existante actuellement. Il y'a trois types de coussinets circulaires présentés sur la figure I.4:



a)Coussinet simple. **b)** coussinet à collerette. **c)**coussinet sphérique.

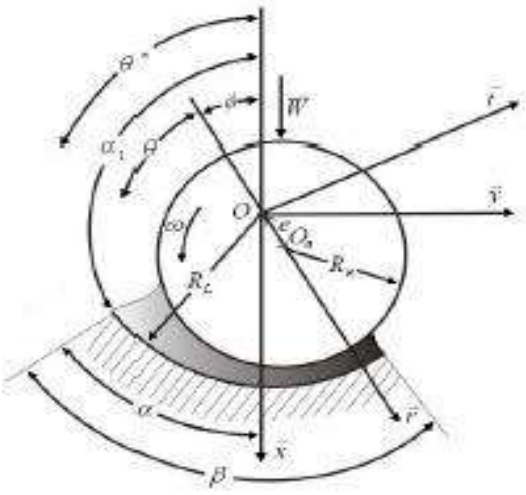
Figure I.4: Paliers circulaire. [4]

2. Palier à arc partiel:

Les paliers lisses cylindriques ou à arc partiel faiblement chargés à vitesse élevée présentent de grands risques d'instabilités. L'idée d'améliorer la stabilité du Newkrik et Grobel (1934) est de vérifié expérimentalement que l'existence d'une discontinuité dans la géométrie à la surface du coussinet pouvait améliorer la stabilité du palier (Fig. I.5). [5]

3. Forme elliptique (citron) :

Ils sont des paliers constitués par deux demi-coquilles en acier forgé se raccordant suivant un plan horizontal, la partie extérieure peut comporter : soit une portée sphérique, soit des cales qui permettent le réglage radial (Fig. I.6). [6]



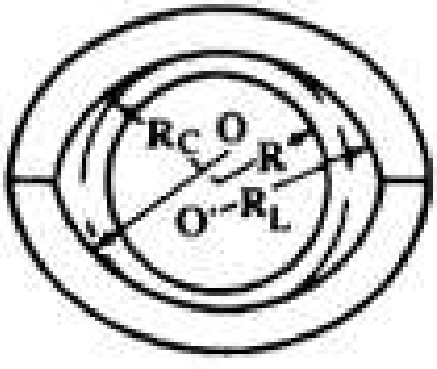


Figure I.5: Palier a l'arc partiel. [5]

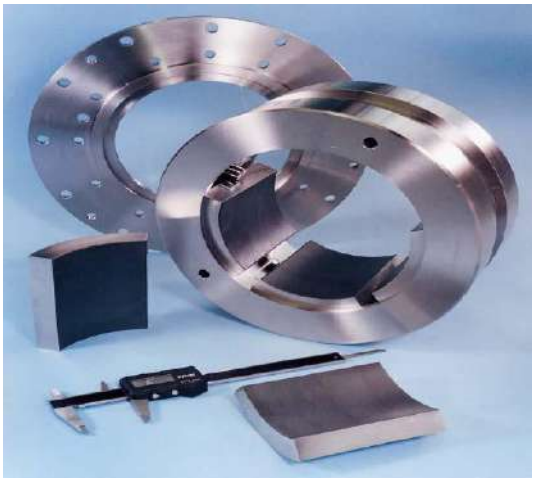
Figure I.6 : Palier elliptique. [6]

4. A patins oscillants:

Un palier a patins oscillants est composé a n patins, identique ou non, individuellement articules autour de pivots, situés généralement sur un cercle appelé « cercle des pivots » (Fig. I.7). [1]

5. A lobe :

C'est un Palier multi-lobes dont les centres de courbure des lobes sont situés sur le centre géométrique du palier, le palier est dit pré-chargé géométriquement (fig. I.8). [7]



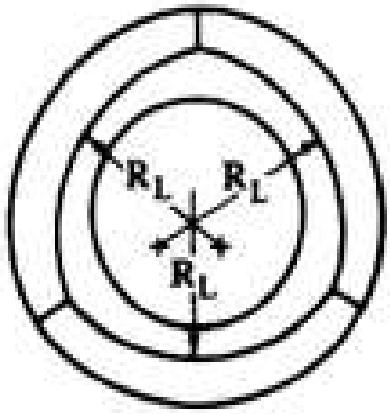


Figure I.7: Photographie d'un palier à3 patins. [1] **Figure I.8:** Palier à trois lobes. [8]

b) selon le type de lubrification :

1. Palier à régime sec : C'est un palier à contacte direct, pas de film d'huile entre coussinet et pièce.

2. Palier à régime onctueux : Présence d'un mince film d'huile entre coussinet et pièces.[9]

3. Palier à régime hydrostatique : Présence d'un épais film d'huile entre coussinet et pièce, ce film est crée artificiellement dans un palier par injection sous pression du lubrifiant.[5]

4. Palier à gaz : Il à même principe que les paliers hydrostatique mais le lubrifiant utilisé est un gaz, généralement de l'air.[9]

5. Palier à régime hydrodynamique : présence d'un épais film entre coussinet et pièce. Ce film d'huile se crée uniquement en régime permanent du mécanisme, et est dû au phénomène de partance. Une vitesse minimale est à atteindre pour que ce phénomène apparaisse.[5]

6. Palier magnétiques : c'est un rotor Ferromagnétique flottant dans un champ magnétique crée par des électro-aimants. Ces paliers suppriment tout contact rotor durant le fonctionnement du système. [5]

La figure I.9 représenté trois défirent régime.

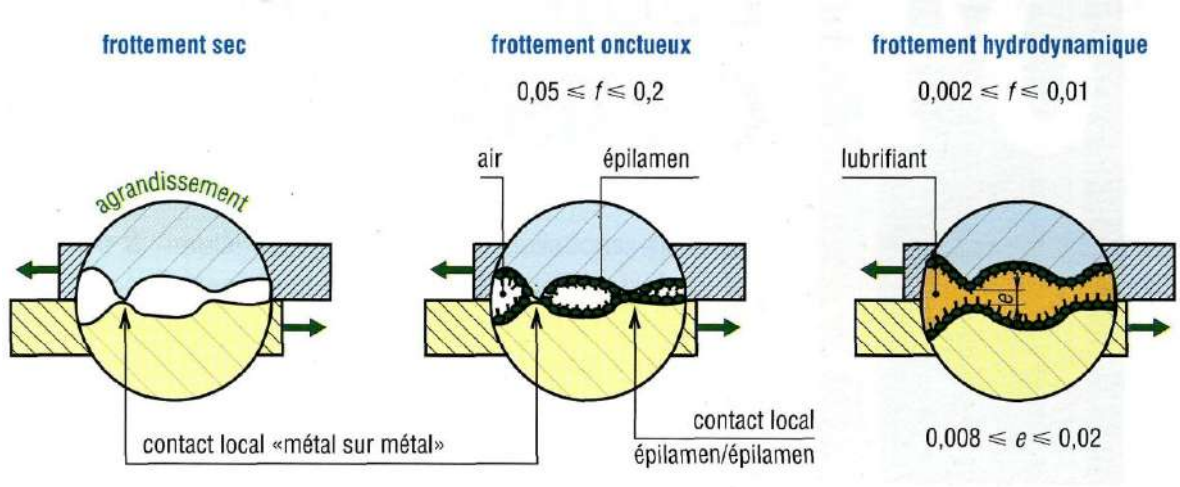


Figure I.9: Défirent type des régimes.

c) selon la longueur :

Les paliers lisses cylindriques sont divisés en trois types, les paliers infiniment courts, infiniment longs et les paliers de longueur finie :

1. Palier court :

Un palier est dit court lorsque le rapport (L/D) de la longueur au diamètre du palier est faible, de L/D≤0.5. Dans ce type de palier, on pose l'hypothèse d'un gradient de pression circonférentiel négligeable, ce qui simplifie considérablement les calculs.

2. Palier infiniment long :

Lorsque le rapport L/D de la longueur au diamètre de palier est grand, on peut négliger le débit axial. L'écoulement est donc purement circonférentiel. En pratique, ce calcul s'applique

aux paliers tels que L/D ≥1.5. Dans ce type des paliers, on pose l'hypothèse d'un gradient de pression axial négligeable devant le gradient de pression circonférentiel.

3. Palier de longueur finie :

Dans le cas où le rapport L/D est compris entre 0.5 et 1.5, le palier est considéré de longueur finie. Les deux types de palier précédent constituent les configurations extrêmes, l'infiniment long et l'infiniment court le palier de longueur finie donne une configuration réelle du palier. Les résultats obtenus par ce type de palier sont plus réels que ceux des deux types précédents, car dans ce type de palier on ne tient pas compte des hypothèses simplificatrices précédentes.[9]

I.3.3. les paliers lisses cylindriques hydrodynamique :

Un palier lisse hydrodynamique (HD) est constitué de deux éléments, l'arbre de rayon R_a qui tourne dans un coussinet de rayon intérieur R_c et de longueur L qui comportant une rainure permettant l'arrivée d'un fluide visqueux sépare totalement les surfaces (fig. I.10). Lorsque l'arbre est tournée ce filme d'huile se crée un régime hydrodynamique.

Les Paliers hydrodynamiques sont fréquemment utilisés pour supporter des charges radiales et pour le guidage des rotors de dimensions importantes surtout lorsque les conditions de fonctionnement sont sévères (charges et fréquences de rotations élevées).[8]

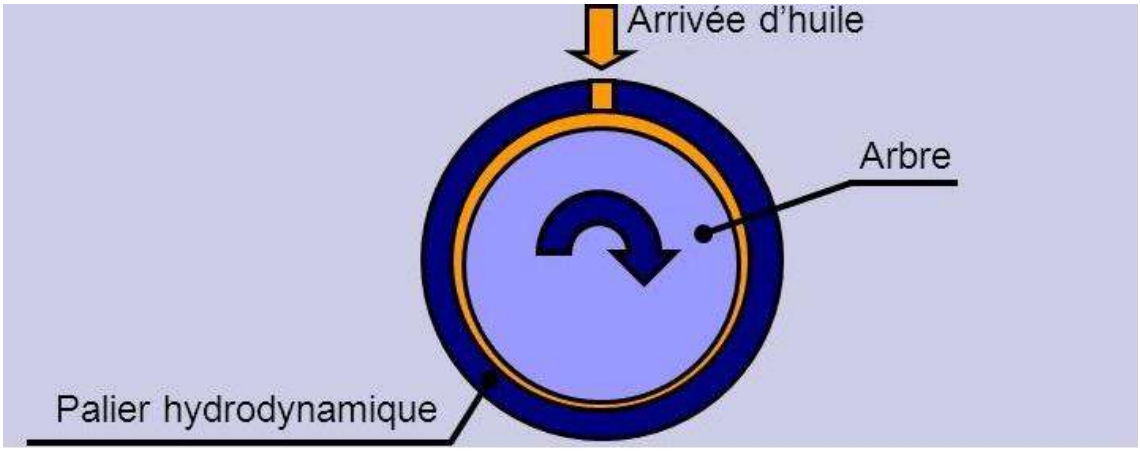


Figure I.10: Schéma représente un palier hydrodynamique.

I.3.4. Principe de fonctionnement du palier :

Le fonctionnement du palier repose sur le débit du film. Dans le cas de la lubrification hydrodynamique, la génération de la pression se fait par conservation du débit dans la portance et le frottement. Dans le cas d'un palier hydrodynamique, la portance recherchée et le frottement sont une conséquence. Pour que le fluide soit une interface efficace, il faut que le champ de pression soit suffisant pour équilibrer la charge normale en fonction de l'aire du contact disponible, mais aussi que l'épaisseur minimale du film soit supérieure aux éventuels défauts géométriques des surfaces. [8]

La figure si dessue (Fig. I.11) présente les trois phases que l'on observe lors de la mise en route d'un palier sous chargement.

(a): À l'arrêt, l'arbre et le coussinet sont en contact, la génératrice commune est opposée à la charge et la distance O_1O_2 est égale au jeu radial J.

(b): Au démarrage, l'arbre roule en glissement à l'intérieur de coussinet, le régime de lubrification est dit mixte, le lubrifiant est entrainé dans l'espace convergent formé par l'arbre et le coussinet.

(c): Au fonctionnement, Dés que la vitesse de rotation devient suffisante, il y a présence d'un champ de pression hydrodynamique qui supporte la charge P constante, le centre de l'arbre O_1 occupe une position fixe à l'intérieur du coussinet. Si le torseur de forces extérieur se réduit à une force unique P qu'agit dans les plans de la section médiane du palier.

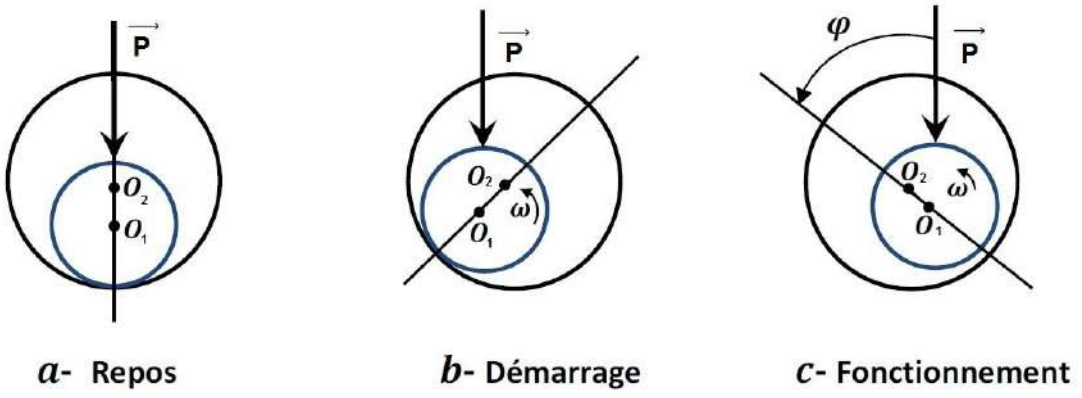


Figure I.11: Schématisation de fonctionnement d'un palier lisse.[11]

I.3.5. Mode d'alimentation des paliers lisses :

La position, la forme des rainures d'alimentation et la pression d'alimentation ont une Influence sur les caractéristiques de fonctionnement d'un palier lisse. Il y a deux types classiques de rainures : les rainures axiales, les rainures circonférentielles.

A) Rainures axiales :

Du point de vue du remplissage en huile du palier, pour les charges fixes en direction, la position la plus favorable pour la rainure axiale est située légèrement en aval de la génératrice pour laquelle l'épaisseur du film est maximale.

Cependant, comme la position de la ligne des centres repérée par l'angle de calage est fonction, pour un palier donné, de la charge, de la vitesse et de la viscosité du lubrifiant, cette rainure est souvent située dans une zone comprise entre 90° et 135° en amont de la charge.

Si le sens de rotation n'est pas fixe, on peut placer deux rainures diamétralement opposées à 90° de la direction de la charge, dans la zone d'épaisseur maximale du film (fig. I.12). La présence de deux rainures d'alimentation est parfois justifiée par des considérations thermiques: Le rôle de la seconde rainure est alors de "limiter" la recirculation de fluide chaud et de mieux refroidir le palier.

La position de la rainure axiale modifie très peu la valeur de la charge portante dès lors que cette rainure est située dans la partie supérieure non chargée, cependant elle peut avoir une certaine influence sur la valeur du couple de frottement. [11]

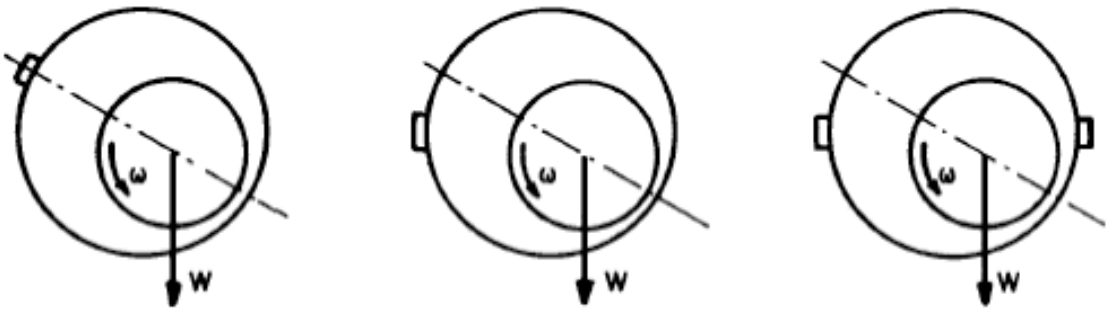


Figure I. 12: Position des rainures axiale [11].

B) Rainure circonférentielle :

La rainure circonférentielle, généralement placée dans la section médiane du palier (Fig. I.13), est utilisée lorsque la charge est variable en direction (charge tournante par exemple).

Ce type de rainure diminue sensiblement la charge portante car elle substitue deux paliers de longueur L'< L/2 à un palier de longueur (Fig. I.14). Aussi des rainures circonférentielles d'amplitudes limitées ou même des trous sont utilisés sur certains paliers de bielles de moteurs thermiques.[11]



Figure I.13: Palier à rainure circonférentielle.

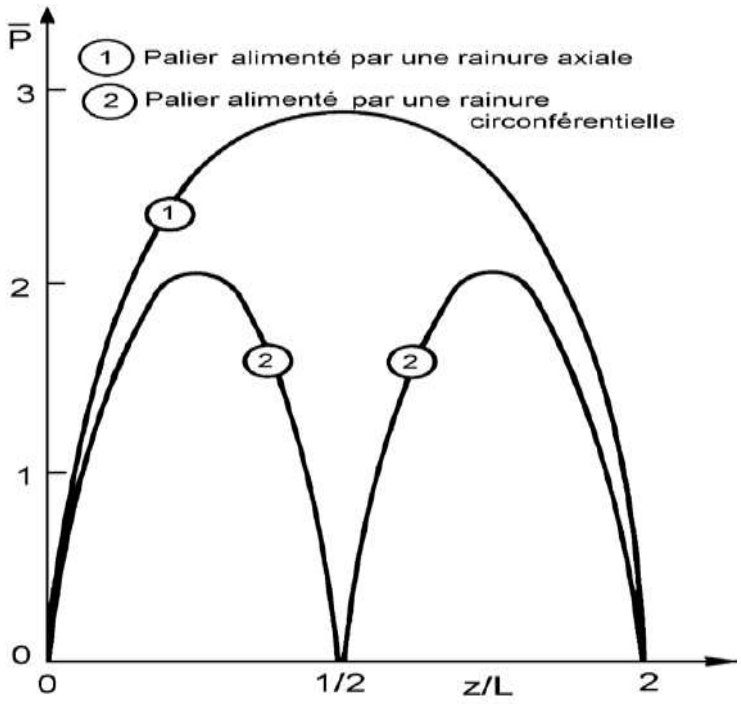


Figure I.14: Variation de la pression en fonction de la coordonnée axiale z[11].

I.3.6. Les avantages et Les inconvénients des paliers lisses :

A) Les avantages sont :

Insensible aux chocs et aux vibrations à cause de leurs grandes surfaces porteuses amortissant lubrifiées.

Silencieux.

Insensible à la poussière.

Grandes vitesses de rotation.

Durées de la vie illimitée dans le domaine de frottement liquide.

Montage et démontage faciles des arbres lorsqu'il s'agit des coussinets fractionnés.

B) Les inconvénients sont:

Grand moment résistant au démarrage.

Grande quantité d'huile nécessaire pour la lubrification.

Surveillance permanente.

Rendement moins élevé que celui des roulements.

I.4. lubrifiant :

En mécanique, les lubrifiants ont notamment pour rôle de lubrifier, réfrigérer ou les deux à la fois, pour réduire le frottement d'une pièce par rapport à une autre ou pour l'usinage mécanique. [11]

Il y'a trois principales familles de lubrifiants : les lubrifiants solides, les lubrifiants liquides et les lubrifiants pâteux. [12]

I.4.1. Composition et type d'huile :

La plupart des huiles lubrifiantes sont un mélange de 90 à 95٪ d'une huile de base avec 5 à 10٪ d'additifs dissous. Le choix d'une base particulière est déterminé par l'application, les conditions de lubrification et le coût.

Les huiles lubrifiant sont généralement constituées d'un fluide de base appelé « base lubrifiant ».[1] Il existe deux bases pour les huiles lubrifiantes qui sont soit d'origine minérale ou synthétique.

a)- Les huiles à base minérale:

On distingue deux types de structure, la structure paraffinique formée d'hydrocarbures saturés à chaine droite (très stable à l oxydation, bonne résistance à haute température), et les structures naphténiques formés de noyaux cycliques (grande-aptitudes à la gélification). [13]

b)- Les huiles à base synthétique:

les familles sont très nombreuses citant à titre d'exemple: les phosphoriques, aliphatiques, apprécier pour leur faible viscosité à basse température et leur bas point de congélation; et les polypropylènes glycols. [13]

c)- Les additifs :

Les exigences des machines en vitesse, température et fiabilité sont maintenant telles que ni les huiles minérales, ni les huiles synthétiques ne peuvent toujours remplir toutes les conditions du cahier des charges. Tous les lubrifiants industriels contiennent des additifs destinés à protéger l'équipement, à prolonger la vie du lubrifiant et à améliorer ses qualités lubrifiantes. Ces additifs servent à :

Protéger l'équipement.
Prolonger la vie du lubrifiant.
Améliorer les qualités lubrifiantes. [11]

I.4.2. Caractéristiques principales des lubrifiants liquides:

La couleur, ainsi que le reflet au soleil, le trouble par transparence et l'aspect général était les seuls critères utilisés pour qualifier un lubrifiant. Actuellement, les caractéristiques correspondent à des normes bien définies, les plus importantes sont :

L'onctuosité ou pouvoir graissant.
La stabilité d'une huile à la chaleur et à l'oxydation.

La viscosité à deux températures qui nous permet de calculer aussi l'indice de viscosité.

La densité.
Le point d'éclair qui mesure l'inflammabilité.

Le point de congélation qui représente la fluidité à froid ;le point d'aniline. [11]

I.4.3. la viscosité de la lubrification :

En lubrification les propriétés physiques et chimique de toutes à considérer, la viscosité est l'une des plus importantes.

La viscosité déterminer les pertes par l'épaisseur du film d'huile dans les paliers, les systèmes hydrauliques ou le régime de fonctionnement est hydrodynamique.

La viscosité est véritablement une mesure de l'aptitude physique d'un fluide à assurer la lubrification par film complet sons des conditions définies de vitesse, de charge et de température. [1]

I.4.4. Fluide newtonien : [14]

Le modèle de fluide newtonien décrit bien la très grande majorité des fluides composés de molécules simples. La définition d'un fluide newtonien est assez restrictive : les contraintes de cisaillement sont proportionnelles au gradient de vitesse, ce qui implique que :

dans un écoulement de cisaillement simple, les seuls contraintes crées par l'écoulement sont des contraintes de cisaillement.

La viscosité est indépendante de la vitesse de cisaillement.

La viscosité est indépendante du temps et les contraintes s'annulent immédiatement lorsque l'écoulement est arrêté.

I.4.5.Fluide non-newtonien : [14]

Toute déviation des règles du fluide newtonien est le signe d'un comportement non-newtonien. La description de ces comportements et leur interprétation en relation avec la structure microscopique du fluide constitue une discipline appelée rhéologie. Cette discipline est assez récente, mais elle a connu un développement considérable avec l'apparition des polymères synthétiques.

Le caractère non-newtonien le plus répandu est la variation de viscosité avec la vitesse de cisaillement. Très souvent, pour les solutions de polymère, la viscosité diminue au fur et à

mesure que l'on augmente le taux de cisaillement (gradient de vitesse) auquel est soumis le fluide. C'est le comportement rhé fluidifiant.

I.5.Les types de lubrification :[1]

a) Lubrification limite : (coefficient de frottement : 0,02 < F < 0,2), Il concerne les surfaces se déplaçant à faible vitesse pour lesquelles un film d'huile visqueux continu ne peut se former en raison des trop fortes pressions de contact. Dans les véhicules, ce régime est prépondérant durant le démarrage ou l'arrêt des mécanismes et au cours de certain phase transitoires de fonctionnement comme, par exemple, les contactes segment-piston-cylindre aux point morts. [15]

b) Lubrification mixte : coefficient de frottement : 0,001 < F < 0,2, Souvent rencontré dans la pratique, il est intermédiaire entre le régime limite et les régimes de lubrifiant fluide: hydrodynamique ou élastohydrodynamique.il existe chaque fois qu'un film visqueux mince s'établit entre les surfaces dont l'épaisseur est insuffisante pour séparer totalement les aspérités les plus proéminentes; un certain nombre de contacts directs métal-métal se produisent alors, ce qui entraine une augmentation du frottement, des températures de contact et de l'usure adhésive. [15]

c) Lubrification hydrodynamique (coin d'huile): le coefficient de frottement en Lubrification hydrodynamique n'a plus de sens : il peut varier entre 10^{-6} et ∞, pour lequel la viscosité du lubrifiant constitue le paramètre essentiel jouant sur la formation d'un film d'huile épais (palier lisse, contacts segments/piston/cylindre.) [15]

La lubrification dite hydrodynamique (HD), lorsque les pressions générée dans le film sont faibles et n'entrainent pas de déformation élastique significatives des surfaces. C'est principalement le cas pour les contacts conformes qui sont caractérisés par aires des aires de contact importantes et donc des pressions relativement faibles. Les paliers hydro dynamique sont représentatifs de ce type de régime. [7]

d) Lubrification élastohydrodynamique (EHD), qui fait intervenir la déformation élastique des surfaces et l'augmentation considérable de la viscosité du lubrifiant sous l'effet des très fortes pressions de contact pour former un film d'huile très résistant mais très mince (engrenage, roulement …) Lubrification hydrostatique : (Film complet) coefficient de frottement à utiliser avec prudence. $10^{-8} < F < 10^{-2}$, pour lequel la séparation des surfaces est assurée par une très forte mise en pression extérieure du fluide gazeux ou liquide; ce régime n'existe pas dans l'automobile. [15]

La figure (I.15) représenté les type des lubrifiants :

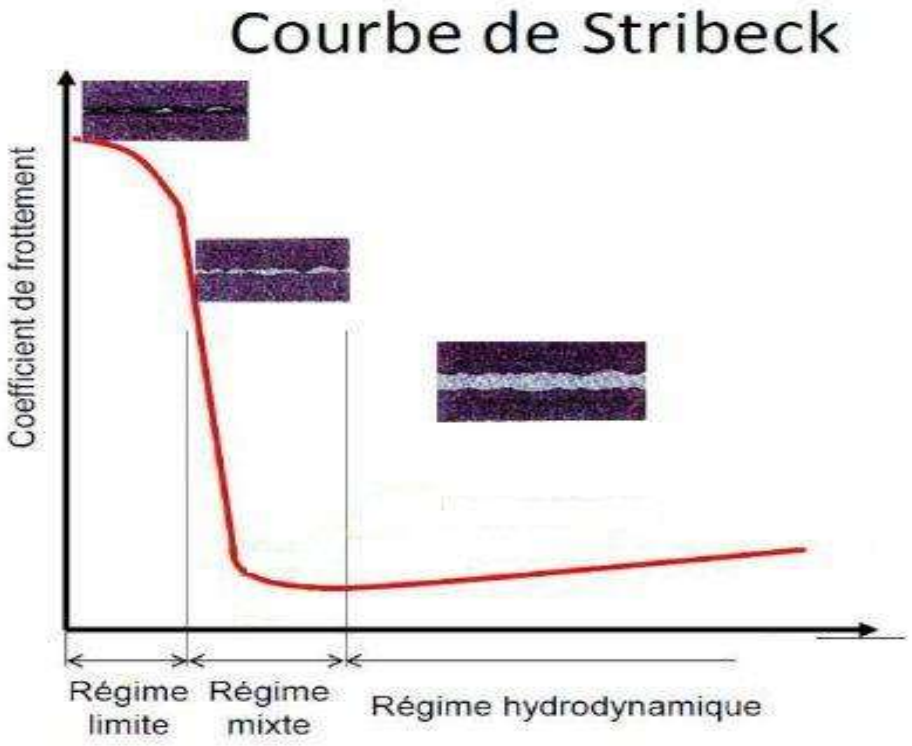


Figure I.15 : courbe de Stribeck.

I.6.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes du développement de la tribologie et la lubrification des paliers. Ainsi, que le principe de fonctionnent des paliers lisses a graissage hydrodynamique.

Chapitre II:
Présentation de Problème

II.1. Introduction :

Pour étudier la déformation d'un palier circulaire sous l'effet du champ de pression hydrodynamique, il est nécessaire de connaitre les équations de base qui gouvernent le problème de lubrification.

Dans ce chapitre on présentera l'équation de base de lubrification hydrodynamique, les hypothèses de Reynolds associés à ce problème et d'autre part l'équation de déformation élastique.

II.2. les caractéristiques géométriques d'un palier lisse:

Un palier lisse hydrodynamique est constitué de trois éléments, l'arbre de rayon Ra et le coussinet de rayon Rc et de longueur L et un film d'huile intercalant les deux cylindres, (la figure II.1):

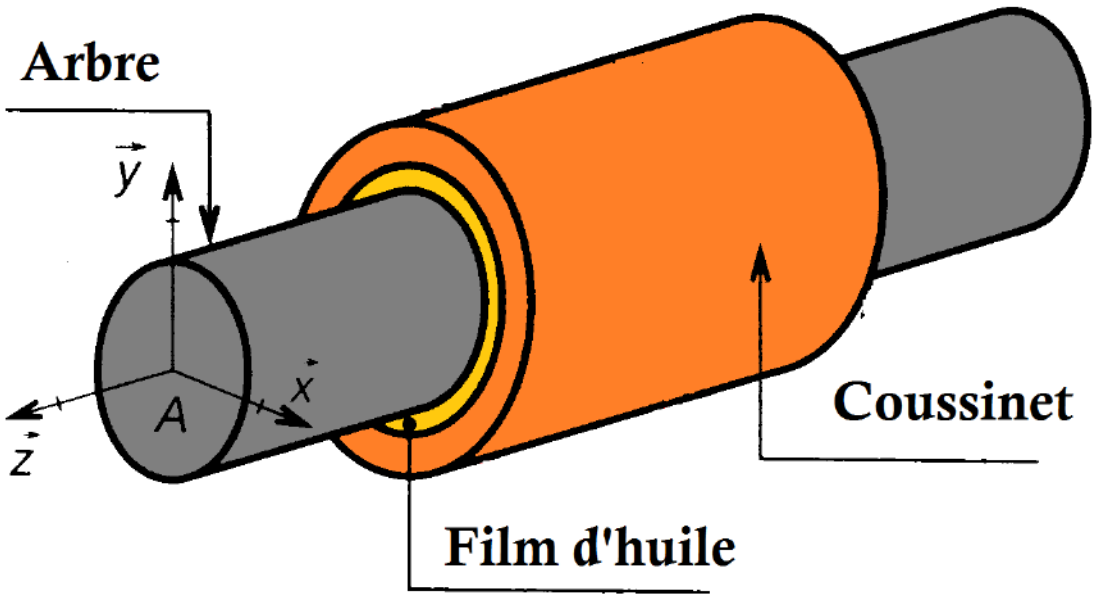


Figure II.1 : schéma d'un palier lisse hydrodynamique.

Ainsi, un palier lisse peut être schématisé par deux cercles de rayons voisins et caractérisé par (Figure II.2):

Le jeu radial J= Rc - Ra.

L'excentricité **e** constituant la distance O_1O_2 en fonctionnement normal.

L'excentricité relative définie par :

$$\varepsilon = \frac{e}{c} \qquad \text{II.1}$$

C'est l'excentricité maximale donnée :

$$c = \frac{(D-d)}{2} \qquad \text{II.2}$$

La hauteur minimale du film lubrifiant :

$$h_{min} = c - e = c(1-\varepsilon) \qquad \text{II.3}$$

Le rapport (L/D) de la longueur au diamètre du palier. [13]

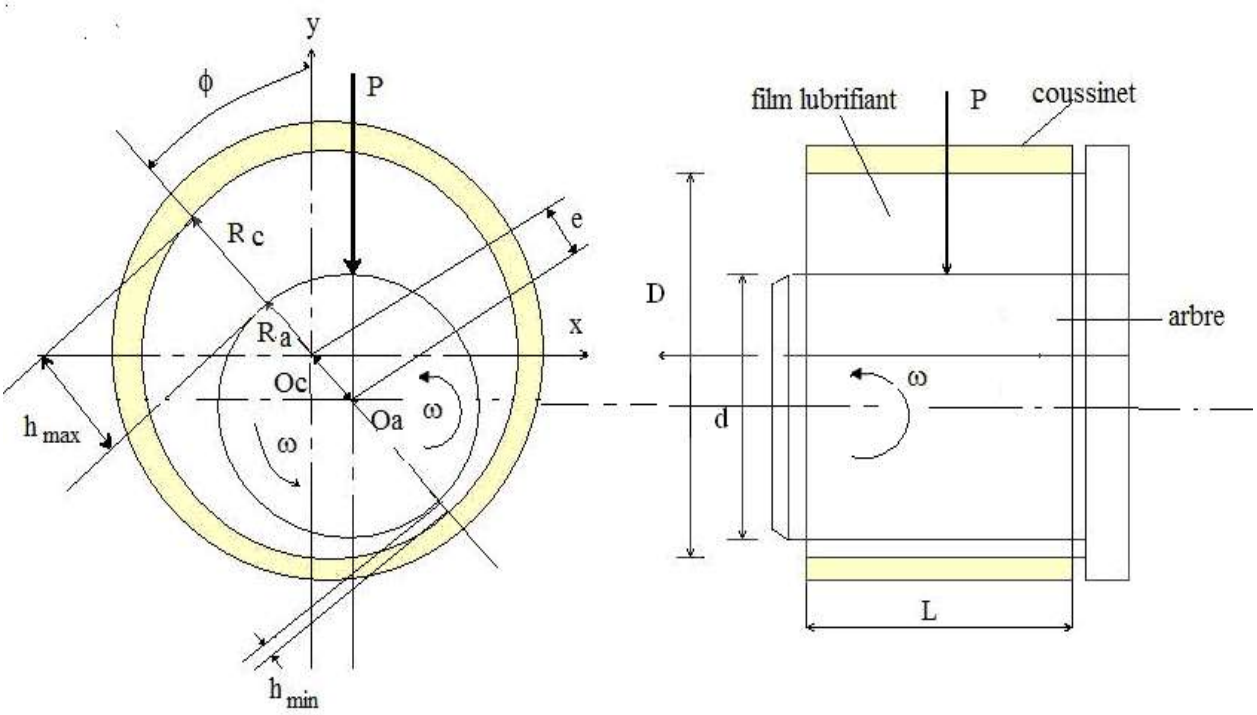


Figure II.2: Géométrie d'un palier lisse circulaire.

II.3.1. L'équation générale :

En lubrification, l'équation de base utilisée est l'équation des films mince visqueux qui est déduite la théorie des milieux continus en tenant compte quelque hypothèses propre aux problèmes de lubrification. Les hypothèses de base de lubrification hydrodynamique sont :

L'épaisseur de film est faible devant les autres dimensions.

La vitesse de fluide selon l'épaisseur de film est très faible devant les autres vitesses.

L'écoulement est laminaire.

Lubrifiant newtonien, sa viscosité est constante et il est incompressible.

Les forces de masse et d'inertie négligeable devant les forces induites par la viscosité.

La courbe généralement de film est négligeable.

Le milieu est continu.

II.3.2. Equation de Reynolds :

O.Reynolds compte tenu de ces hypothèses, les équations de Navier-Stokes se réduisent et par intégration, supposant qu'il n'y a pas de glissement entre le fluide et les surfaces du contact, O. Reynolds obtient le champ de vitesse dans le fluide. Ces expressions reportées dans l'équation de continuité, intégrée à travers l'épaisseur du film donnent :

$$\frac{d}{dx}\left(h^3\frac{dp}{dx}\right)+\frac{d}{dz}\left(h^3\frac{dp}{dz}\right)=6\mu\left\{(U_0+U_1)\frac{dh}{dx}+2V_1\right\} \qquad \text{II.6}$$

Cette équation est connue depuis sous le nom d'équation de Reynolds, c'est l'équation de base de la lubrification hydrodynamique. Il a proposé une solution dans le cas du palier infiniment long en utilisant des développements en série. Cependant, l'intégration est très laborieuse et la solution n'est acceptable que dans le cas des paliers très peu chargés.

Avec :

x: La position autour de la circonférence d'un point donné.

z : La position dans la direction axiale de ce point

μ : La viscosité dynamique du lubrifiant qui est considérée constante dans tout le film.

h : L'épaisseur de film.

P : La pression dans le film lubrifiant.

U_1, U_2, V_1: Sont les vitesses intérieure et extérieur.

Pour diverses raisons une équation de Reynolds plus simple peut très bien convenir du point de vue de la précision. Ces motifs sont d'une part, la diminution du temps de calcul et de

la place mémoire requise par un logiciel de calcul. Où tout simplement, tel qu'on le verra lors de l'étude expérimentale, une discrétisation unidimensionnelle peut être plus appropriée à la comparaison numérique expérimentale. Afin de simplifier l'équation de Reynolds, nous considérons l'hypothèse d'une variation parabolique de la pression dans la direction axiale. []

II.4.Conditions aux limites :

Pour calculer le champ de pression, il faut résoudre l'équation de Reynolds sur le domaine représenté, compte tenu des conditions aux limites sur la zone de pression. La zone est donnée selon les modèles de Reynolds (figure II.3).

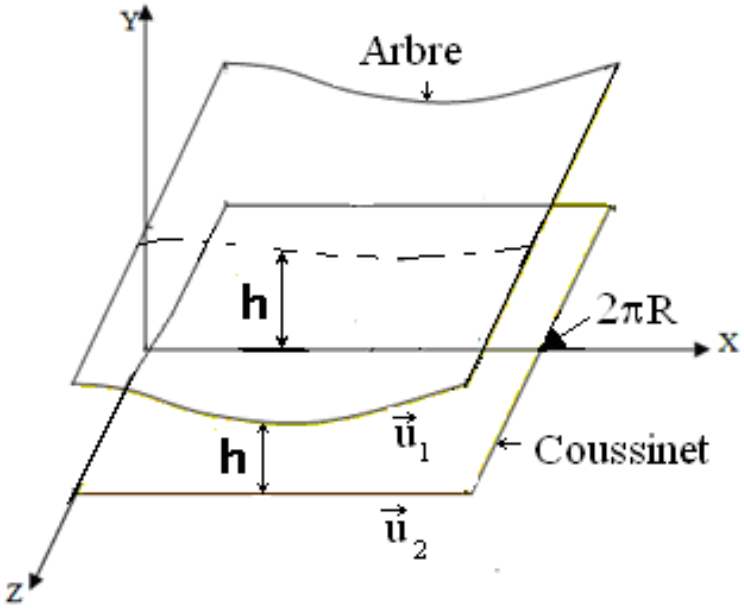


Figure II.3 : Palier lisse développé.

II.4.1. Modèle de Sommerfeld :

Sommerfeld en 1904 a supposé que le film lubrifiant est continu et qu'il n'y a pas de rupture du film. Dans ces conditions la distribution de pression est antisymétrique par rapport au point et le lieu du centre de l'arbre dans le coussinet est une droite normale à la direction de charge (Figure II.4).

Ces conditions aux limites ne sont valables que pour les paliers fonctionnant à de très faibles charges ou avec des pressions d'alimentation très élevées, sinon des pressions

négatives apparaissent dans le film, ce qui est physiquement inacceptable pour le modèle de Sommerfeld. [16]

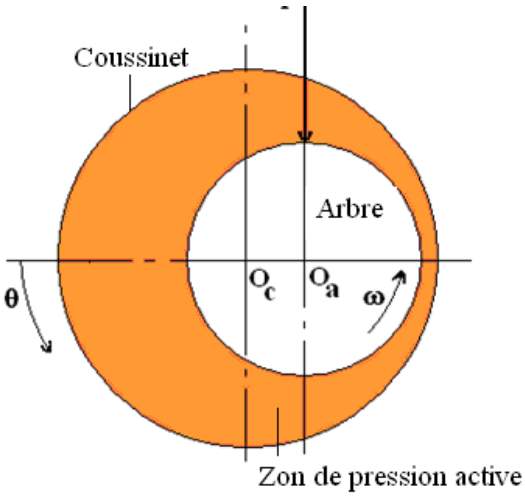


Figure II.4 : Conditions aux limites de Sommerfeld [15].

II.4.2. Conditions de Gümbel :

Gümbel en 1921, à la suite des travaux de Sommerfeld, propose comme conditions aux limites :

$P(\theta= 0,Z)=0$

$P(\theta= \pi,Z)=0$ II.7

Si $P(\theta,Z)=Z$ si $\pi< \theta<2\pi$

Cela revient à négliger, dans la solution de Sommerfeld les pressions négatives (Figure II.5) Ces conditions impliquent une discontinuité dans l'écoulement au point $\theta=\pi$, elles ne sont pas acceptables physiquement mais sont utilisées dans le cas de l'approximation du palier court.[15]

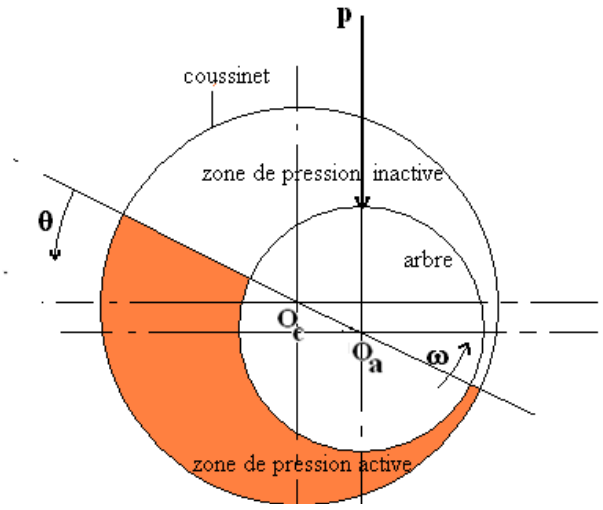


Figure II.5 : Conditions aux limites de Gümbel.[15]

II.4.3.Conditions aux limites de Reynolds :

Ces conditions proposées indépendamment par Swift en 1932 et par Steiber en 1933 respectent la continuité du débit et supposent que pour une abscisse θ_s inconnue, la pression et le gradient de pression s'annulent:

$P(\theta= 0,Z)=0$

$P(\theta= \theta_s,Z)=0$

II.8

$$\frac{\partial P}{\partial \theta}(\theta = \theta s, Z) = \frac{\partial P}{\partial Z}(\theta = \theta s, Z) = 0$$

Si $P(\theta,Z)=Z$ si $\theta_s < \theta<2\pi$

On distingue ainsi deux régions dans le palier : une région active où la pression est positive et le film complet, pour des valeurs de θ comprises entre 0 et θ_s et une région inactive à pression nulle et dans laquelle un régime dynamique, peut apparaitre de la cavitation, pour $\theta_s<\theta<2\pi$ Ces conditions sont celles qui donnent les solutions les plus exactes ; elles ont été vérifiées dans de nombreuses études.

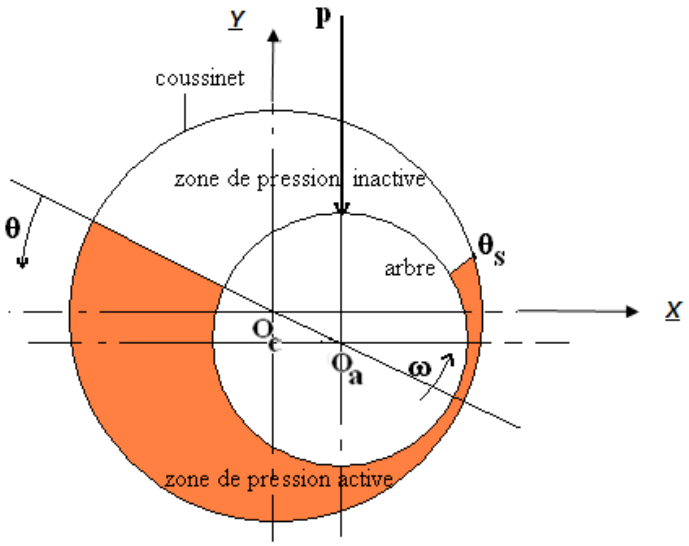


Figure II.6 : Conditions aux limites de Reynolds [15].

Comparant les trois conditions aux limites selon pression (Figure II.7) :

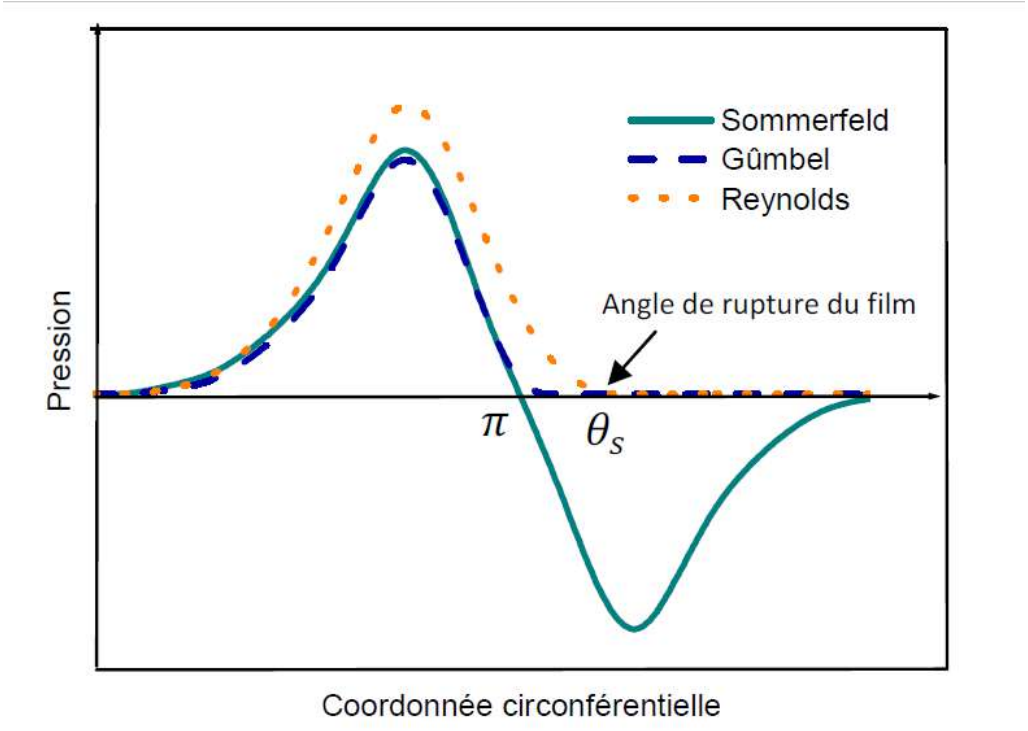


Figure II.7: Conditions aux limites de rupture du film [10].

II.5.1.Déformations mécaniques :

Les déformations mécaniques de coussinet sont les déformations élastiques qui sont engendrées par champ de pression hydrodynamique qui règne dans le palier qui règne dans le palier. Elles sont dites " élastiques" Car nous considérons que ne dépassant pas les limites de l'élasticité, les déformations sont purement élastiques. Le calcule de ces déformations est un calcule long. Pour cette raison, nous faisons de calculer par éléments finis qui va nous permettre d'obtenir, en chaque oint de l'interface film/coussinet, les déplacements engendrés par un champ de pression unitaire [17].

Les déformations élastiques qui interviennent dans l'expression de l'épaisseur de film peuvent avoir diverses origines. La première cause est la pression hydrodynamique qui déforme les solides de la liaison lubrifiée.

Le logiciel que nous utilisons est ANSYS 12.1, qui utilise l'équation classique de l'élasticité :

$$\bar{\bar{\sigma}} = \frac{E}{1+\nu}\left(\bar{\bar{\varepsilon}} + \frac{\nu}{1-2\nu} Tr(\bar{\bar{\varepsilon}})G\right) \qquad \textbf{II.9}$$

Cette équation donne l'expression de tenseur des contraintes ($\bar{\bar{\sigma}}$) et l'équation 2. Celle de tenseur de déformation ($\bar{\bar{\varepsilon}}$) avec E le module d'Young et ν le coefficient de poisson, pour un problème d'élasticité linaire isotrope (loi inversée de hooke).

$$\bar{\bar{\varepsilon}} = \frac{1+\nu}{E}\bar{\bar{\sigma}} - \frac{\nu}{E} Tr(\bar{\bar{\sigma}}) \qquad \textbf{II.10}$$

Quand nous étude est un élément tridimensionnel (3D) on a [6] :

Déplacement : **u,v,w.**

Déformation : $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$.

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} \quad \textbf{II.11}$$

$$\{\varepsilon\} = [L]\{u\} \quad \textbf{II.12}$$

II.5.2. Méthode d'élément finie :

Discrétisation (maillage), calcul, assemblage, introduction des conditions aux limites, la résolution du système d'équation et affichage de résultats.

Formulation pour éléments finis :[6]

Les éléments de maillage des éléments de 3D sont plusieurs hexa 8 ou 20 nœuds, Tet 4noeud (Figure II.8)…etc. nous utilisons les éléments de maillage de type hexaédrique de 20noeuds de se type d'élément

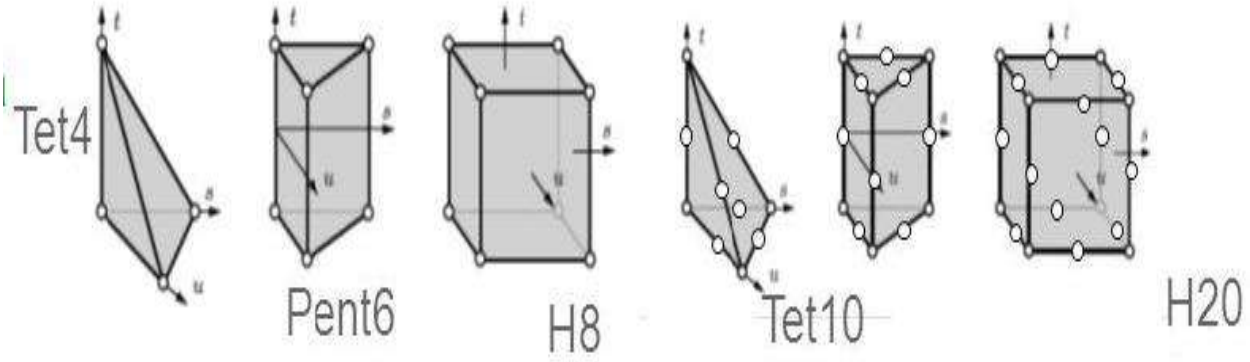


Figure II.8 : Schéma représenté différent forme des éléments de maillage d'ANSYS.

II.6. Conclusion :

Les problèmes théoriques de la lubrification hydrodynamique sont basés sur la résolution de l'équation de Reynolds. La méthode de résolution utilisée est la méthode des éléments finis.

La déformation due au champ de la pression hydrodynamique sur les paliers est obtenue par la méthode d'élément finit en utilisant le logiciel du l'ANSYS APDL.

Chapitre III:
Etude Numérique

III.1. introduction :

L'étude numérique dans nous jour il est très important et très économique, est une simulation très réal et rapide pour soulever les problèmes technologiques. Dans ce chapitre, nous représenté un logiciel numérique connu par le nom ANSYS.

ANSYS est parmi les premiers éditeurs mondiaux dans le domaine du calcul par éléments finis. Les outils proposés permettent de résoudre les problèmes de validation produits de manière efficace et d'optimiser le processus de conception (gain de temps).

III.2. Présentation du logiciel :

III.2.1. Définition de logiciel :

ANSYS, Inc. est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique crée en 1970 à Canonsburg. L'entreprise a son siège à Canonsburg en Pennsylvanie aux États-Unis. Ses produits majeurs sont des logiciels qui mettent en œuvre la méthode des éléments finis, afin de résoudre des modèles préalablement discrétisés. La société possède de nombreuses filiales à travers le monde, notamment en Europe et en Asie.[5]

Figure III.1 : Photographe représentera le symbole de logiciel ANSYS.

III.2.2. Aspects techniques :

III.2.2.1. principaux produits : [5]

ANSYS Structural : Ce produit permet d'effectuer des simulations mécaniques en calcul de structures. Ses principales capacités sont :

- l'analyse statique
- l'analyse modale
- l'analyse harmonique (réponse forcée)
- l'analyse temporelle
- la gestion de différentes situations non-linéaires (contacts, plasticité matériaux, grands déplacements ou grandes déformations).

ANSYS Mechanical : Ce produit dispose des mêmes capacités qu'ANSYS structural, en y ajoutant notamment un solveur thermique, avec modélisation du rayonnement.

ANSYS CFX et **Fluent** : Ces deux logiciels permettent d'effectuer des simulations en matière de mécanique des fluides. Fluent est un solveur très utilisé dans l'industrie et la R&D à travers le monde. Il est souvent considéré comme une référence dans le domaine de la modélisation fluide.

ANSYS AUTODYN et **ANSYS LS-DYNA** : Ces logiciels possèdent des solveurs utilisant les formulations explicites des équations à résoudre, contrairement aux produits précédemment cités. Leur domaine d'application est réservé aux modélisations mettant en jeu des situations mécaniques aux très larges déformations.

ANSYS Electromagnetics et **Ansoft** : Ce produit permet de résoudre des modélisations mettant en jeu des phénomènes électromagnétiques.

ANSYS Multiphysics : Ce produit rassemble l'ensemble des capacités d'ANSYS en matière de simulation numérique implicite.

III.2.2.2. Environnements logiciels : [5]

Deux environnements logiciels permettent de mettre en œuvre le code ANSYS :

ANSYS Classic : Chronologiquement, c'est la première solution logicielle développée par le constructeur. Elle est destinée à la construction de modèles éléments finis à la géométrie simple, facilement constructible à l'aide d'opérations basiques. À partir de cet environnement, l'utilisateur construit directement un modèle éléments finis en utilisant le langage de script APDL *(ANSYS Parametric Design Language*). ANSYS classic est donc destiné à des utilisateurs compétents dans le domaine de la simulation numérique.

ANSYS Workbench : Cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plate forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution. Le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.

III.3. Méthode de Calcul :

Dans ce projet, nous utilisons ANSYS Mecanical APDL (classique) pour résoudre le problème des paliers hydrodynamique. Ceci est un petit exemple pour utiliser le programme et certaines des étapes importantes qui nous suive.

Premièrement, ouvrir le logiciel de l'ANSYS APDL (la version ANSYS 12.1 a été utilisée pour ce projet) montrez-nous une fenêtre (Fig. IV.1) contient plusieurs barre :

- ANSYS menu bar.
- ANSYS toolbar.
- ANSYS command prompt.
- ANSYS main menu.

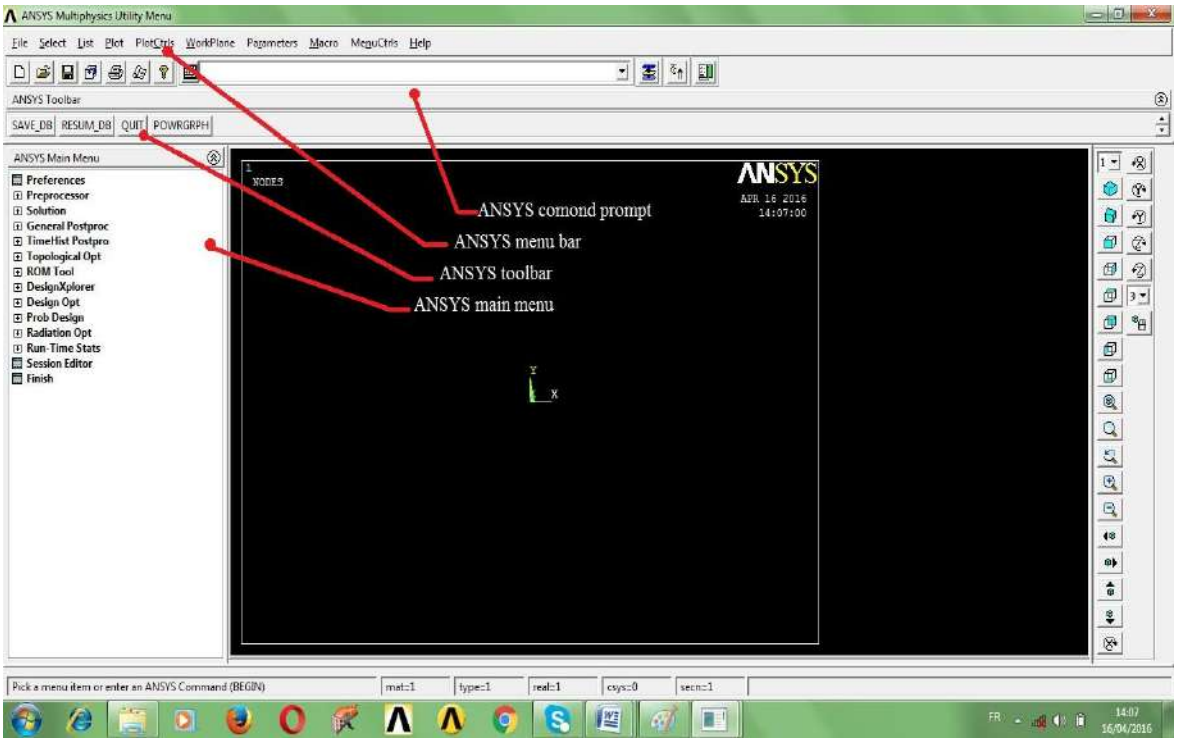


Figure III.2 : Photographe de ANSYS Mechanical APDL

Dans le menu bar clique **file> clear and start new** pour supprime tous qui est avant, après on a clique 2^{éme} fois sur **file> change title** pou enregistre le travail.

Le projet contient l'étude de structure d'un palier donc nous clique sur **préférences** et choisir **structural** et presse **ok** (Figure III.3).

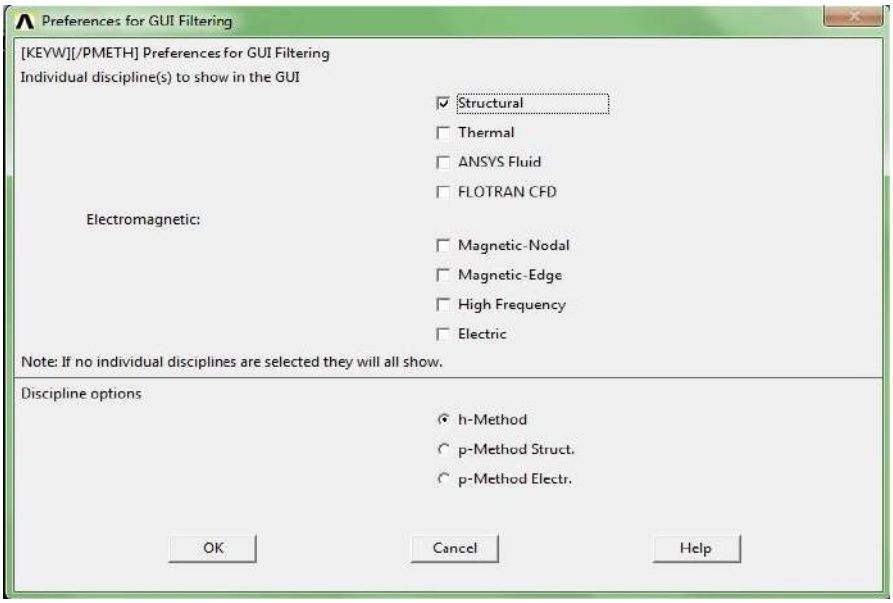


Figure III.3 : Définie le type de solution.

Pour résoudre un problème dans l'ANSYS vous avez besoin au moins six étape :

1. Définir l'élément type :

Cette étape très important dans ce programme pour savoir quel type d'élément à utiliser pour notre problème.

Dans la **main menu** choisir **preprocessor**, clique sur **Elemet Type> Add/Edit/Delete>Add**. la fenêtre suivante apparaît alors (Figure III.4) :

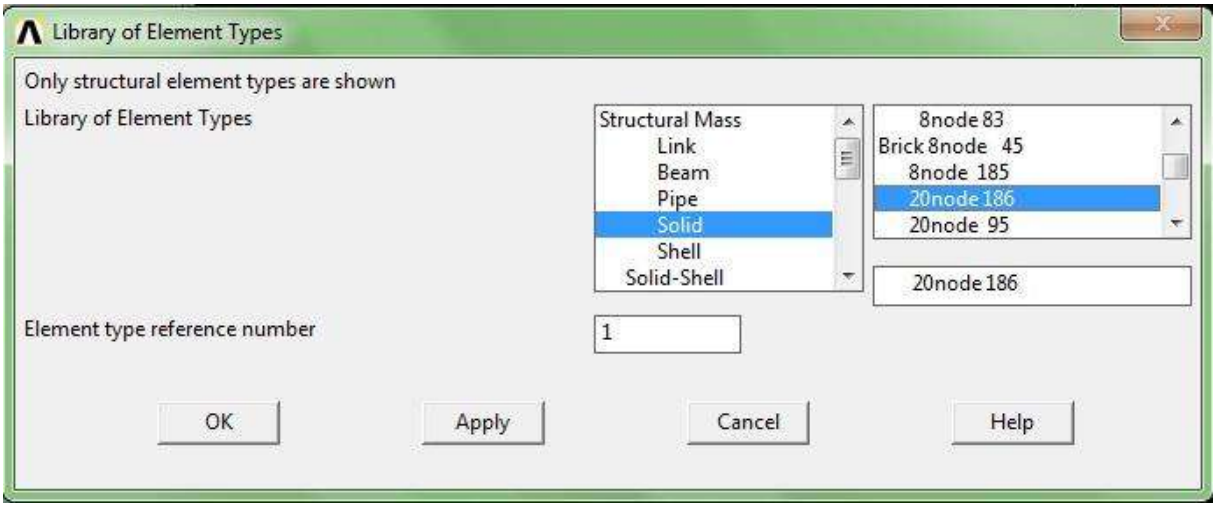


Figure III.4 : Définie le type de l'élément.

Par exemple, je vais utiliser la **solid> 20node 186** pour un problème de 3D et clique sur **ok.**

2. Les propriétés du matériau de l'élément :

Nous allons spécifier les propriétés des matériaux pour trouver real résultat. Dans la main menu aller à **preprocessor> Material props> Material Models.** la fenêtre suivante apparaît alors (Figure III.5) :

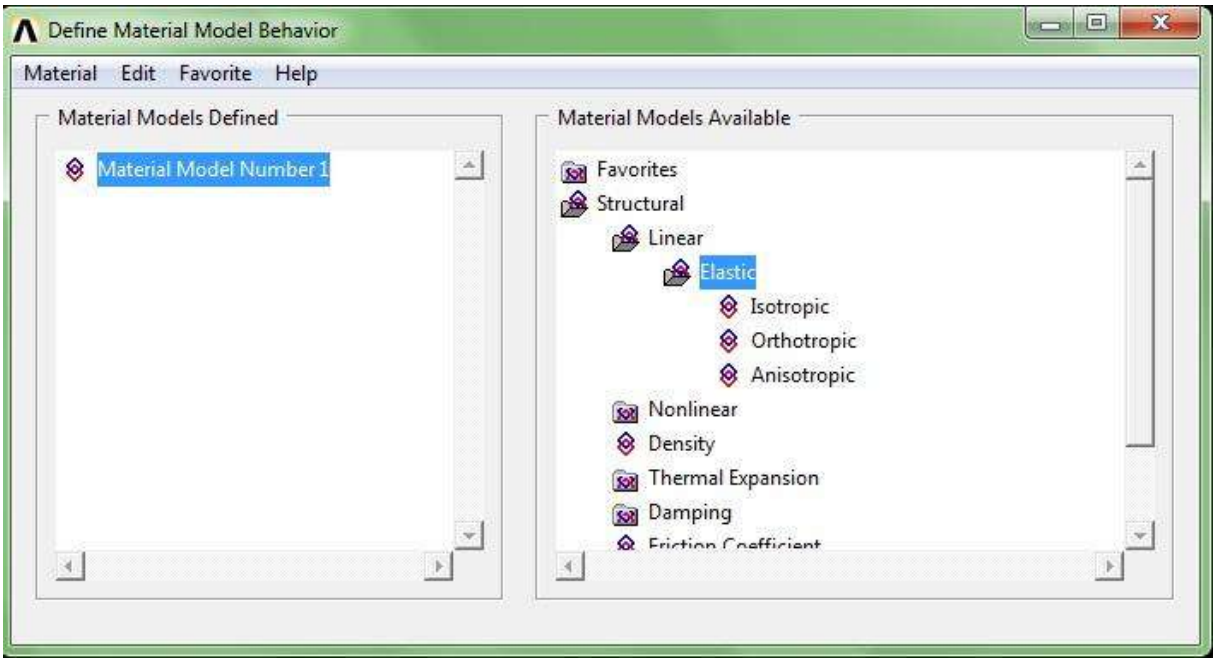


Figure III.5: Définie les propriétés de élément.

Double clique sur **Structural> Linear> Elastic> Isotropic**, la fenêtre suivant apparaît pour enter les propriétés du matériau comme density, module de Young (EX) et le coefficient de puissance (PRXY). La figure III.6:

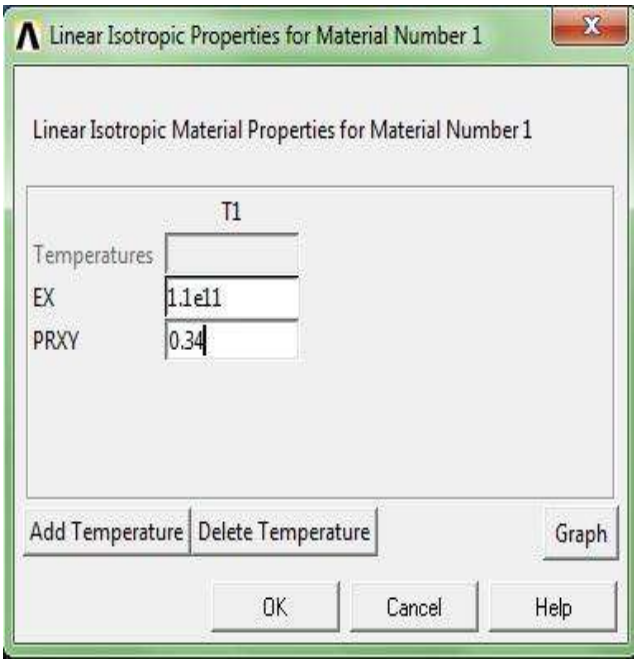


Figure III.6 : Entre le module de Young et coefficient de poissant.

3. Définir les propriétés géométriques :

Pour dessinée une géométrie sur l'ANSYS, clique sur **preprocessor** > **Modeling> Create**, et choisie keypoint, Area, volume… par exemple, on a dessiné un bague. Donc, en a clique sur **volume> Cylinder> Hollow cylinder,** après nous entre les coordonnes et clique **OK (**figure III.7).

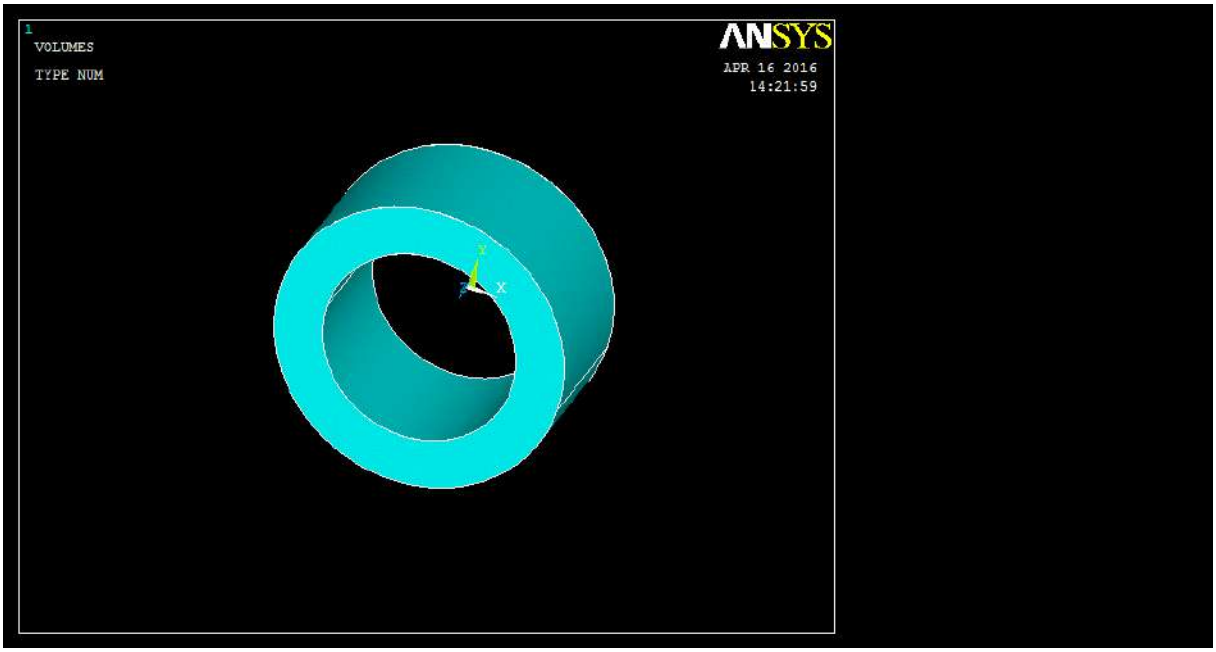
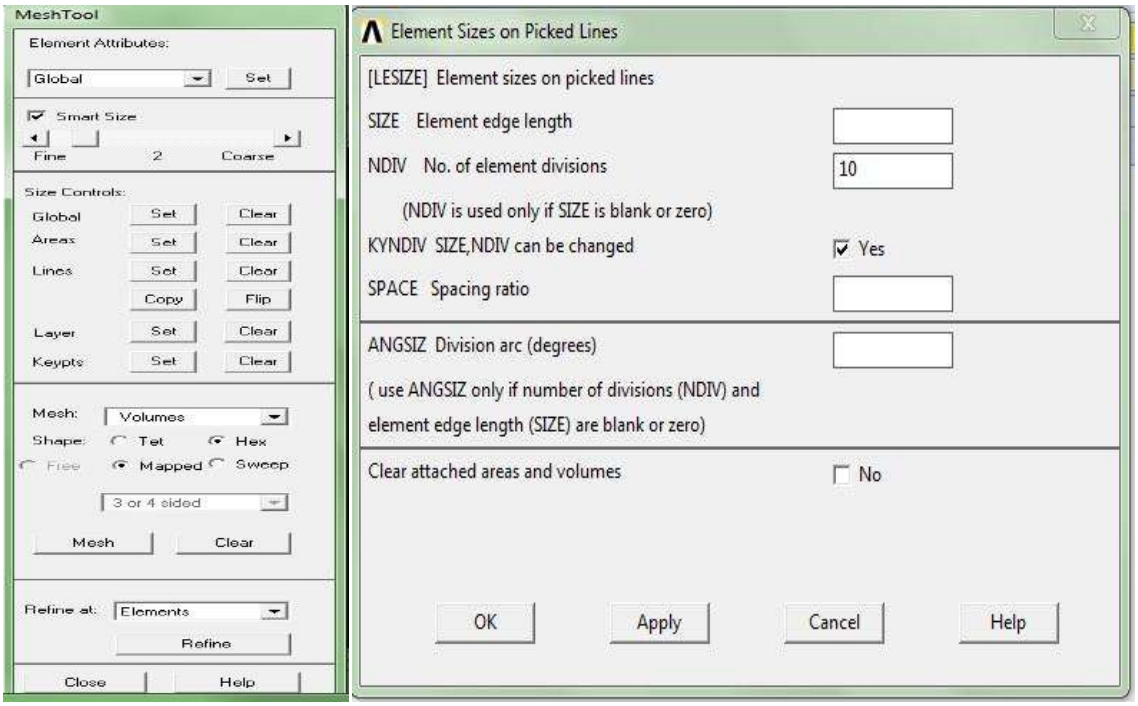


Figure III.7 : Géométrie dessiné par l'ANSYS APDL.

4. Le maillage (Figure III.8):

Pour discrétiser l'élément et étudier par la méthode des éléments finies il faut clique sur **preprocessor> Meshing> Mesh Tool,** les deux fenêtres suivante apparaît alors :



a) Mesh Tool. b) Elément size.

Figure III.8 : les opérations de maillage.

En peut choisie le maillage ce que nous voulons (Figure III.9).

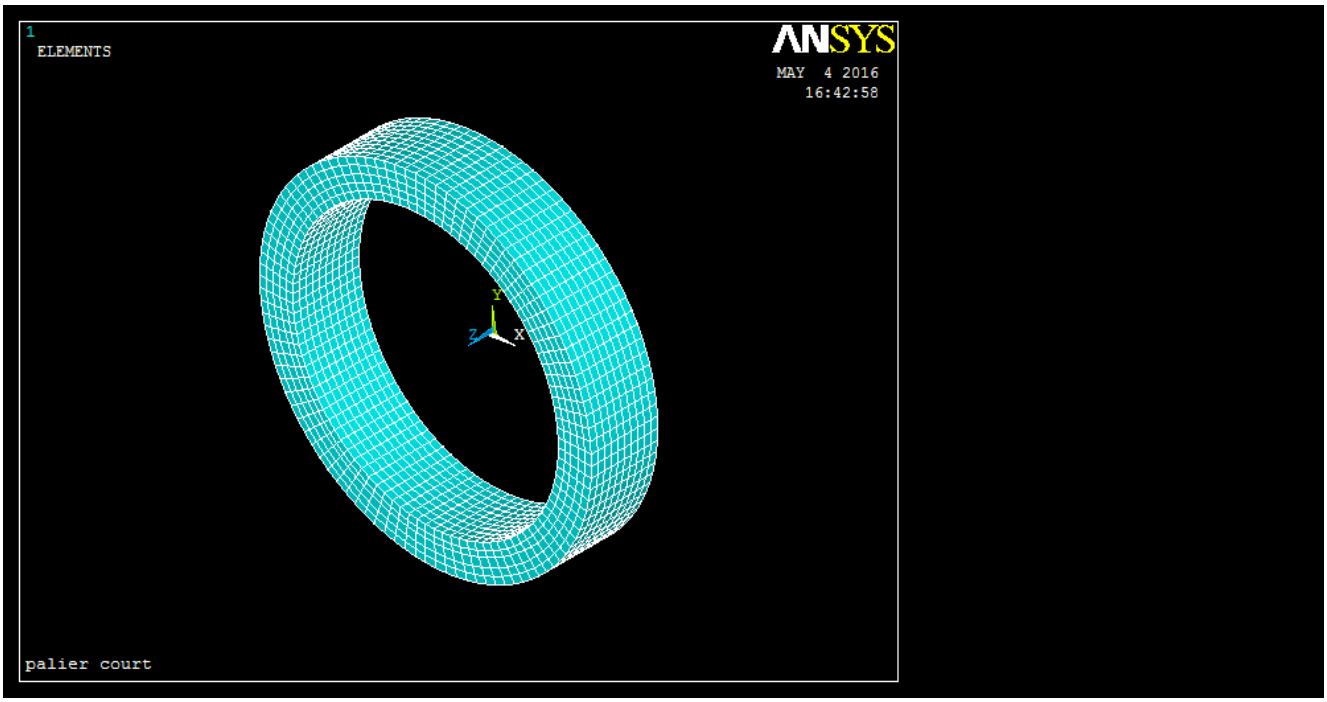


Figure III.9 : Maillage brick d'élément de 3D.

5. Appliquent des forces/ pression :

Pour faire applique les forces ou pression ou contrainte on a deux façons :

a) **Preprocessor> Load> Define load> Apply> Stuctural** après choisir soit déplacement, force, pression… etc.

b) **Solution> Define load> Apply> Stuctural** après choisir la même chose soit déplacement, force, pression… etc.

6. La Solution :

La dernier étape, sur l'ANSYS est la solution et exploiter les résultats de problème. Alors nous allons clique sur Solution après choisie **Solve> Current LS**, Après atender lo programme un peut de temps pour calculer (figure III.10)

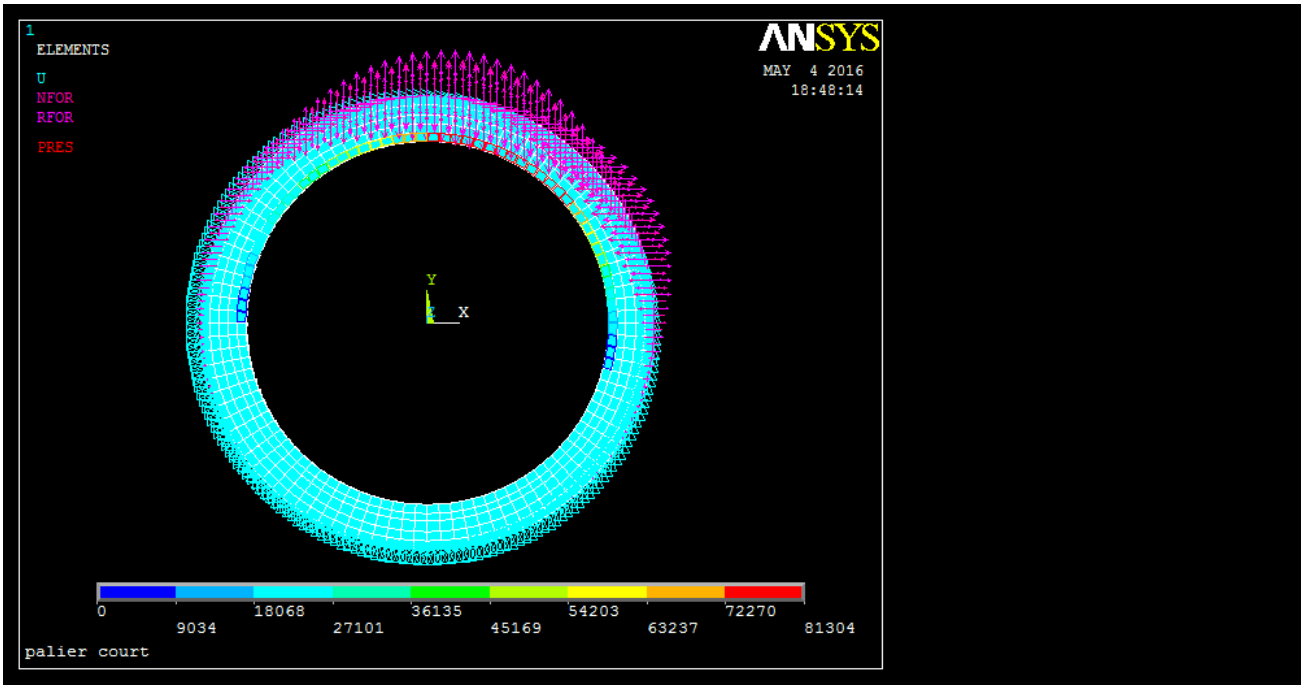


Figure III.10 : Solution sur l'ANSYS APDL.

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le logiciel ANSYS APDL ainsi que les étapes importantes pour résoudre un problème de structure.

Chaitre IV:
Résultats et Discutions

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons étudier les déformations élastiques sous l'effet d'une pression hydrodynamique sur un palier court, un palier infiniment long et un palier de longueur finie, en utilisons le logiciel ANSYS APDL. Dans ces trois cas on compare toujours le cas d'un palier peut charger et fortement charger.

IV.2. Propriétés de matériaux :

Le matériau constituant le coussinet est généralement le cuivre. Le tableau ci dessous représente les caractéristiques physique et mécanique d'palier en cuivre:

Alliage cuivre	**Valeur**	**Unité**
Module de Young	$1,1^{e+11}$	Pa
Coefficient du poisson	0,34	/
Densité	8300	Kg. m^-3
Module de compressibilité	$1,1458^{e+11}$	Pa
Module de cisaillement	$4,1045^{e+11}$	Pa

Tableau.VI.1 : Tableau de propriété du palier.

Ces valeurs restent constantes pour tous les exemples Pour faciliter la comparaison. Mais d'abord nous représente un exemple d'étude de déformation d'un palier hydrodynamique soumis à un chargement axisymétrique.

Exemple sur un chargement axisymétrique appliqué sur un palier hydrodynamique :

Pour un problème axisymétrique, nous avons besoin d'une structure de deux dimensions (2D), voire la figure ci-dessous :

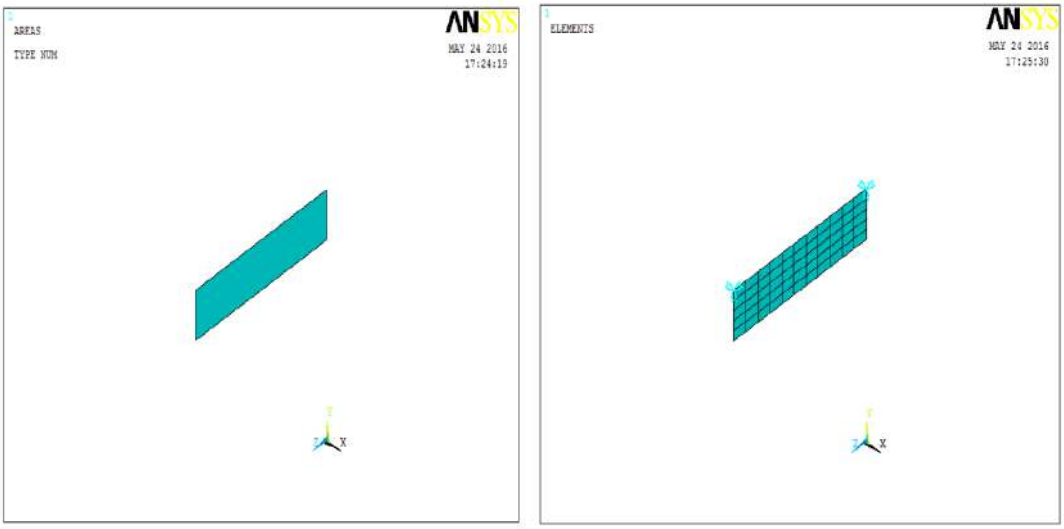


Figure IV.1 : La structure et le maillage de problème axisymétrique 2D.

Apres nous allons tous d'abord choisir l'élément type de structure (axisym 4node 272) et faire le maillage et nous allons entre les conditions aux limite dans cet exemple p=3.28^{e+7}MPa aux mielleux de la structure, après on choisir l'axe de la symétrie (z). voir la figure ci-dessous :

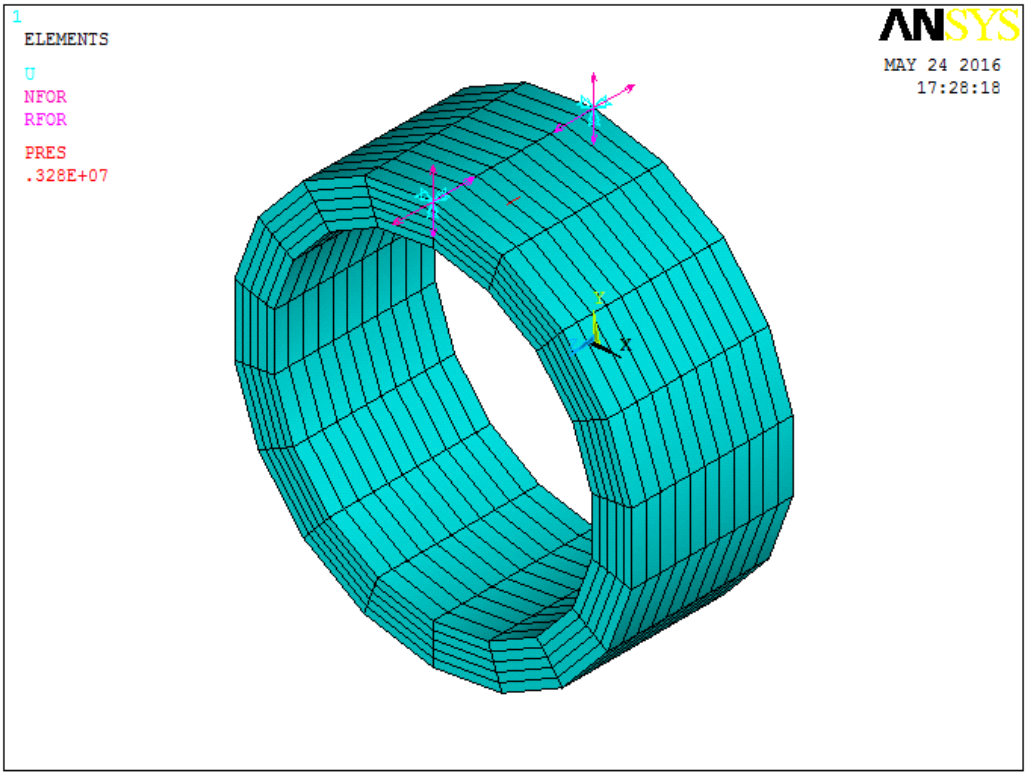


Figure IV.2 : La révolution de la structure 2D de 3D.

Nous allons voire la solution de déformation à chaque nœud, voir le tableau de déplacement ci-dessous :

Position des nœuds	déplacement (µm)
1	5,75E-02
2	6,65E-02
3	8,43E-02
4	1,07E-01
5	1,27E-01
6	1,59E-01
7	1,59E-01
8	1,27E-01
9	1,07E-01
10	8,43E-02
11	6,65E-02
12	5,75E-02

Tableau IV.2 : Tableau de déplacement axisymétrique dans chaque nœud.

La représentation graphique de déplacement axisymétrique du palier (L/D=0.5) ci-dessous :

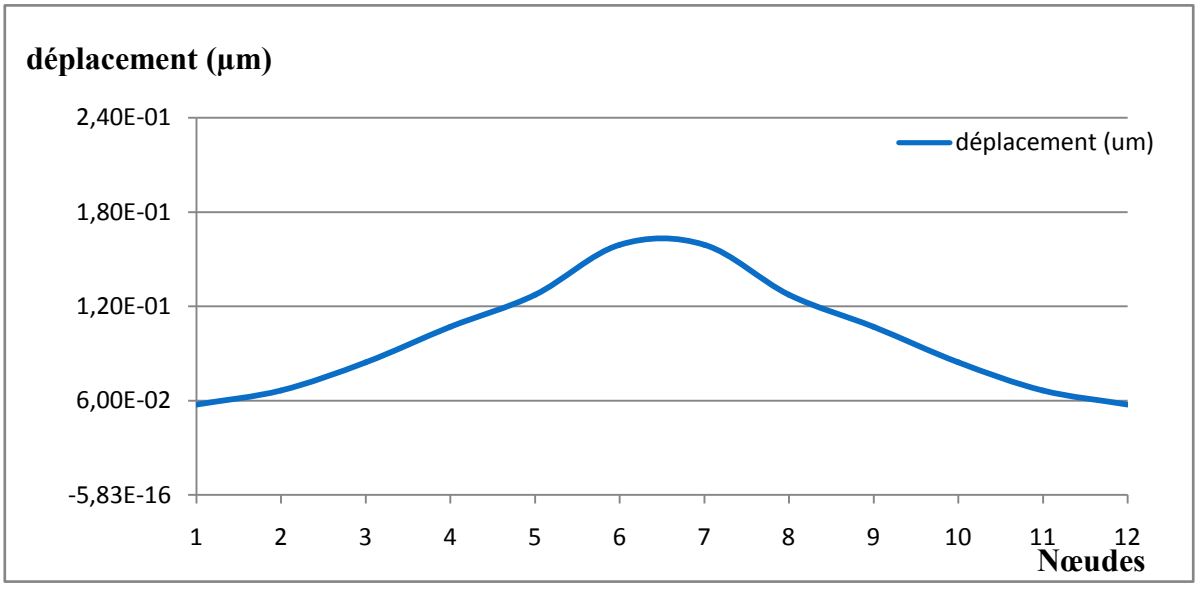


Figure IV.3 : Déplacement axisymétrique du palier.

Le schéma ci-dessous représente les conteurs de déformation axisymétrique du palier :

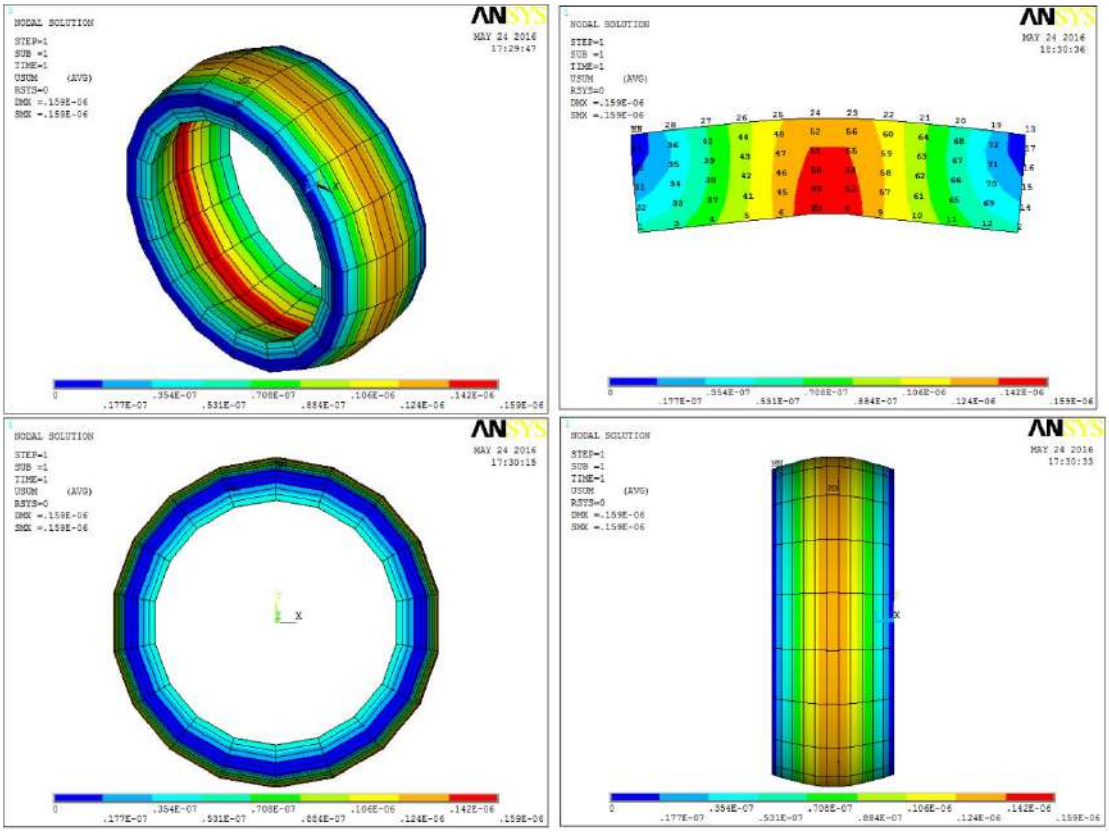


Figure IV.4 : Les déformations axisymétriques du palier.

On constat que le palier est complètement déformé sauf les nœuds que considérai comme support fixe.

IV.3. Déformation radial :

Dans cet exemple en exploiter les déformations radiales à partir d'un palier court et à longueur finie et long. Cette partie contient deux trois cas, chaque cas comporter deux exemples, Figure IV.5 :

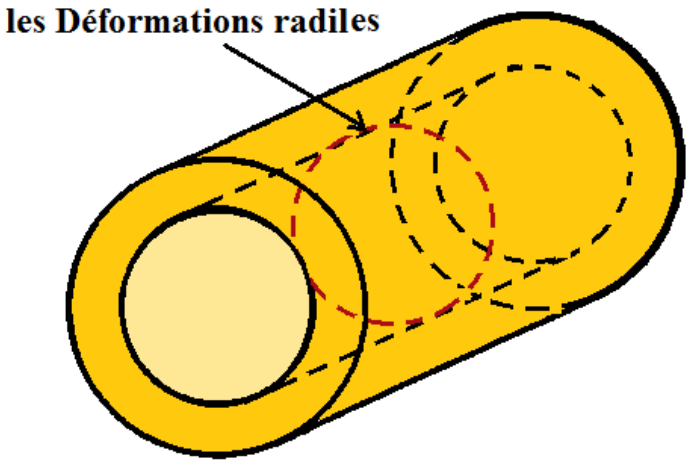


Figure IV.5 : La position de Déformation étudié.

a. Palier court L/D=0,5 :

Tableau du donné :

Diamètre intérieur	0.0200	[m]
Diamètre extérieur	0.0250	[m]
Longueur	0.0100	[m]
Rayon intérieur	0.0100	[m]
Rayon intérieur	0.0125	[m]

Tableau.VI.3 : Tableau de géomètre d'un palier.

Après nous dessiné sur ANSYS APDL on la structure au-dessous (figure IV.6) :

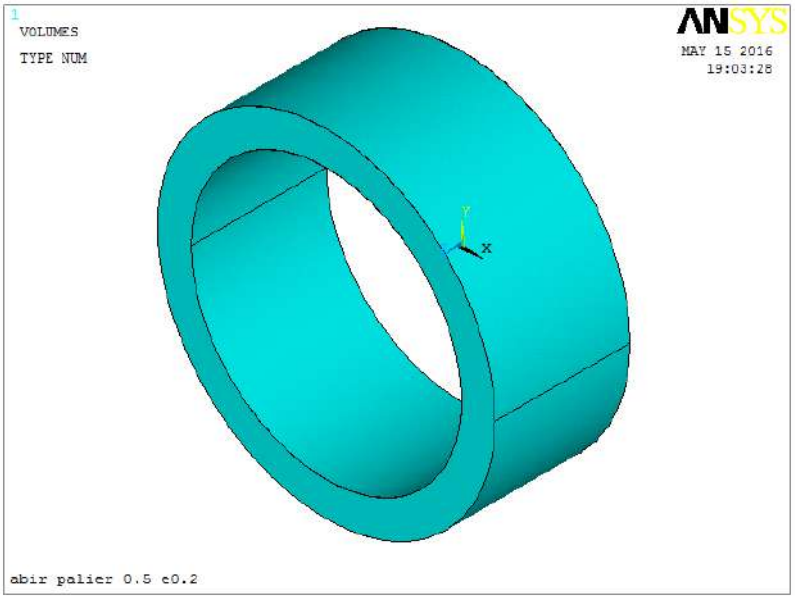


Figure IV.6 : La géométrie d'un palier court.

A) Maillage :

Le maillage de la structure se fait de la manière suivante:

Suivant le rayon R : 5 éléments.

Suivant l'angle θ : 100 éléments.

Suivant la longueur : L 10 éléments.

Le maillage est dans la figure IV.7 ci-dessous :

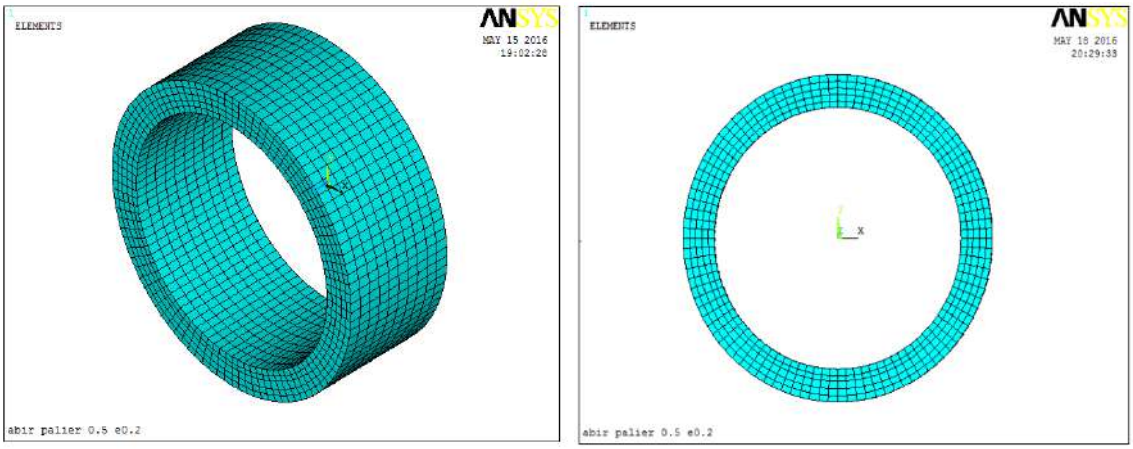


Figure IV.7: Maillage de palier.

B) Application :

Pour obtenir les résultats des déformations élastiques sur le palier court de rapport longueur/diamètre=0.5, nous allons tout d'abord fixer la surface extérieur du palier court. Ensuite nous allons appliquer un champ de pression hydrodynamique suivant l'angle θ et Z=0.5L et R_i=cts.

Il ya deux type de champ de pression sur cette application :

a- Palier court faiblement charger ou l'excentricité est petite (e=0.2).
b- Palier court fortement charger avec une excentricité plus grande (e=0.8).

Le tableau suivant représente les champs de pression applique sur un palier fortement et faiblement charger simultanément :

Angle θ (degré)	Pression e=0.2 (MPa)	Pression e=0,8 (MPa)	Angle θ (degré)	Pression e=0.2 (MPa)	Pression e=0,8 (MPa)
0 /360	0,00E+00	0,00E+00	179,7	1,71E+04	1,52E+06
3,6	2,56E+03	3,64E+03	183,3	1,21E+04	9,10E+05
7,2	5,17E+03	7,36E+03	186,9	7,67E+03	3,77E+05
10,8	7,81E+03	1,12E+04	190,5	4,07E+03	0,00E+00
14,4	1,05E+04	1,52E+04	194,1	1,46E+03	0,00E+00
18	1,32E+04	1,93E+04	197,7	0,00E+00	0,00E+00
21,6	1,59E+04	2,37E+04	201,3	0,00E+00	0,00E+00
25,2	1,87E+04	2,84E+04	204,9	0,00E+00	0,00E+00
28,8	2,15E+04	3,34E+04	208,5	0,00E+00	0,00E+00
32,4	2,44E+04	3,88E+04	212,1	0,00E+00	0,00E+00
36	2,72E+04	4,47E+04	215,7	0,00E+00	0,00E+00
39,6	3,01E+04	5,11E+04	219,3	0,00E+00	0,00E+00
42,9	3,31E+04	5,81E+04	222,9	0,00E+00	0,00E+00
46,5	3,60E+04	6,59E+04	226,5	0,00E+00	0,00E+00
50,1	3,90E+04	7,46E+04	230,1	0,00E+00	0,00E+00
53,7	4,20E+04	8,42E+04	233,7	0,00E+00	0,00E+00
57,3	4,49E+04	9,50E+04	237,3	0,00E+00	0,00E+00
60,9	4,79E+04	1,07E+05	240,9	0,00E+00	0,00E+00
64,5	5,09E+04	1,21E+05	244,5	0,00E+00	0,00E+00
68,1	5,39E+04	1,36E+05	248,1	0,00E+00	0,00E+00
71,7	5,68E+04	1,54E+05	251,7	0,00E+00	0,00E+00
75,3	5,97E+04	1,74E+05	255,3	0,00E+00	0,00E+00
78,9	6,25E+04	1,97E+05	258,9	0,00E+00	0,00E+00
82,5	6,52E+04	2,24E+05	262,5	0,00E+00	0,00E+00
86,1	6,78E+04	2,54E+05	266,1	0,00E+00	0,00E+00
89,7	7,02E+04	2,89E+05	269,7	0,00E+00	0,00E+00
93,3	7,25E+04	3,30E+05	273,3	0,00E+00	0,00E+00
96,9	7,46E+04	3,77E+05	276,9	0,00E+00	0,00E+00

100,5	7,65E+04	4,31E+05	280,5	0,00E+00	0,00E+00
104,1	7,81E+04	4,94E+05	284,1	0,00E+00	0,00E+00
107,7	7,95E+04	5,67E+05	287,7	0,00E+00	0,00E+00
111,3	8,05E+04	6,53E+05	291,3	0,00E+00	0,00E+00
114,9	8,11E+04	7,52E+05	294,9	0,00E+00	0,00E+00
118,5	8,13E+04	8,67E+05	298,5	0,00E+00	0,00E+00
122,1	8,11E+04	1,00E+06	302,1	0,00E+00	0,00E+00
125,7	8,04E+04	1,15E+06	305,7	0,00E+00	0,00E+00
129,3	7,92E+04	1,33E+06	309,3	0,00E+00	0,00E+00
132,9	7,75E+04	1,53E+06	312,9	0,00E+00	0,00E+00
136,5	7,53E+04	1,75E+06	316,5	0,00E+00	0,00E+00
140,1	7,25E+04	1,99E+06	320,1	0,00E+00	0,00E+00
143,7	6,92E+04	2,26E+06	323,7	0,00E+00	0,00E+00
147,3	6,54E+04	2,53E+06	327,3	0,00E+00	0,00E+00
150,9	6,11E+04	2,79E+06	330,9	0,00E+00	0,00E+00
154,5	5,63E+04	3,02E+06	334,5	0,00E+00	0,00E+00
158,1	5,11E+04	3,20E+06	338,1	0,00E+00	0,00E+00
161,7	4,57E+04	3,28E+06	341,7	0,00E+00	0,00E+00
165,3	3,99E+04	3,23E+06	345,3	0,00E+00	0,00E+00
168,9	3,41E+04	3,02E+06	348,9	0,00E+00	0,00E+00
172,5	2,82E+04	2,65E+06	352,5	0,00E+00	0,00E+00
176,1	2,25E+04	2,13E+06	356,1	0,00E+00	0,00E+00

Tableau. IV.4 : Tableau de champ du pression applique sur le palier court.[16]

La représentation graphique de chaque champ de pression de ce tableau est comme suite:

Champ de pression e=0.2 la figure IV.8:

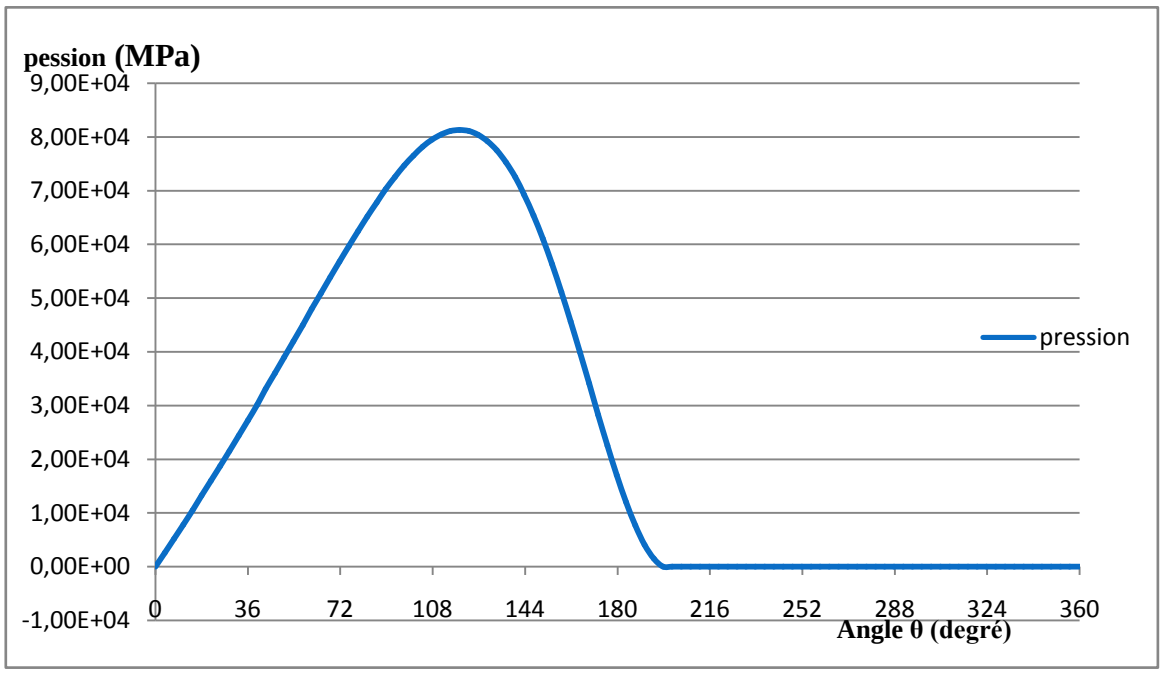


Figure IV.8 : Champ de pression d'un palier court faiblement charger (L/D=0.5 et e= 0.2).

Champ de pression e=0.8 la figure IV.9 :

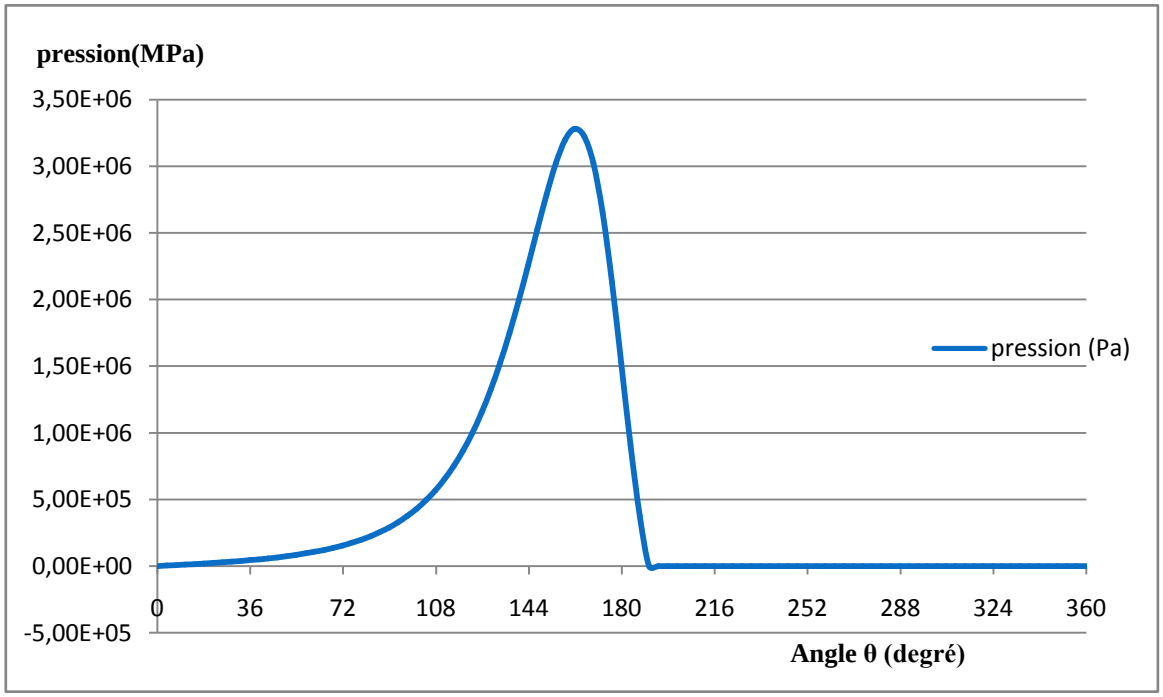


Figure IV.9: Champ de pression d'un palier court fortement charger (L/D=0,5 et e=0,8).

On remarque ici que la pression maximale du palier faiblement chargé très petite par rapport à la pression d'un palier fortement chargé $P_{(e=0.2)\ max}$ =8,13E+04<<$P_{(e=0.8)\ max}$=3,23E+06.

Le champ de pression hydrodynamique applique sur le palier court dans le logiciel ANSYS APDL doivent maintenant apparaitre comme indiqué ci-dessous :

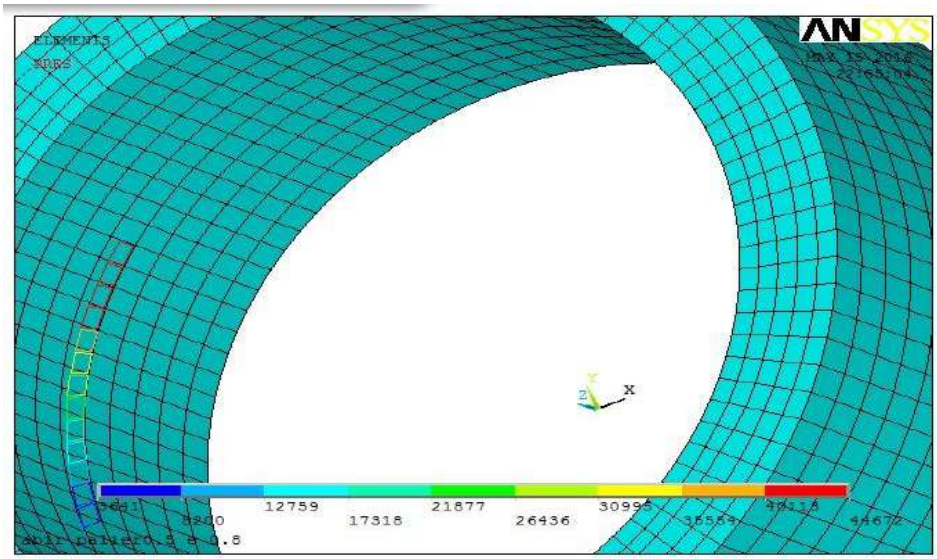


Figure IV.10 : Le champ de pression appliquée sur un palier court.

C) Solution et résultat:

Ce champ de pression a été introduit dans le logiciel ANSYS APDL pour déterminer le champ de déformation élastique on obtient ainsi le schéma de la solution suivante :

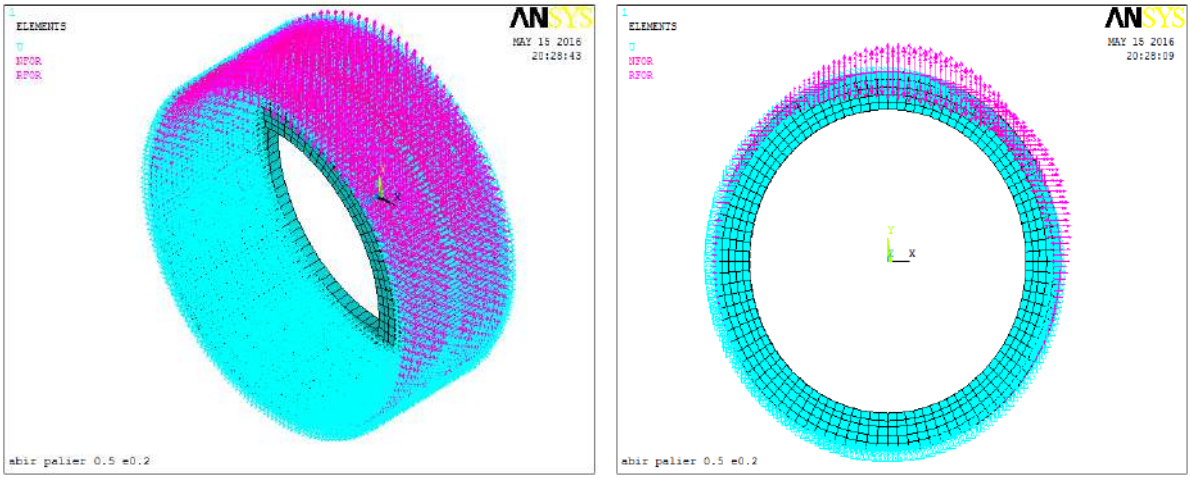


Figure IV.11: Schéma de solution sur ANSYS APDL (pour e=0.2).

Nous disons maintenant pour ANSYS APDL de trouver la solution et la déformation, pour obtenir ces résultats clique sur General post-proc ma liste de résultat et choisir « Vecteur Sum » (fig. IV.12) :

PRNSOL Command

File

```
PRINT U     NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX          UY          UZ          USUM
      1 -0.21616E-10-0.12329E-10 0.44119E-10 0.50653E-10
      2 -0.28132E-11-0.68584E-11 0.69463E-11 0.10159E-10
      3 -0.16603E-11-0.56554E-11 0.49757E-11 0.77135E-11
      4 -0.29030E-12-0.35234E-11 0.24025E-11 0.42744E-11
      5  0.44531E-13-0.26755E-11 0.16267E-11 0.31315E-11
      6  0.21270E-12-0.19636E-11 0.10663E-11 0.22445E-11
      7  0.28197E-12-0.14134E-11 0.68974E-12 0.15978E-11
      8  0.28272E-12-0.99021E-12 0.43487E-12 0.11178E-11
      9  0.25815E-12-0.68666E-12 0.27359E-12 0.78294E-12
     10  0.22350E-12-0.47258E-12 0.17222E-12 0.55040E-12
     11  0.18643E-12-0.32230E-12 0.10818E-12 0.38773E-12
     12  0.15154E-12-0.21735E-12 0.67646E-13 0.27346E-12
     13  0.11581E-12-0.14204E-12 0.41227E-13 0.18785E-12
     14  0.84520E-13-0.89764E-13 0.24595E-13 0.12572E-12
     15  0.56990E-13-0.53251E-13 0.14100E-13 0.79261E-13
     16  0.31936E-13-0.27356E-13 0.74194E-14 0.42700E-13
     17  0.75737E-14-0.84722E-14 0.30957E-14 0.11778E-13
     18 -0.18322E-13 0.58351E-14 0.23621E-15 0.19230E-13
     19 -0.48156E-13 0.16939E-13-0.16486E-14 0.51075E-13
     20 -0.86393E-13 0.25553E-13-0.27052E-14 0.90133E-13
     21 -0.13606E-12 0.31470E-13-0.30431E-14 0.13968E-12
     22 -0.20431E-12 0.33400E-13-0.22575E-14 0.20703E-12
     23 -0.29887E-12 0.28415E-13 0.40113E-15 0.30021E-12
```

Figure IV.12 : Liste de résultat de déformation.

Dans la liste de résultat de déformation on a :

UX, UY, UZ : les vecteurs de déplacement à chaque nœud.

USUM : la somme des trois vecteurs.

Lorsque nous allons appliquer un champ de pression aux milieux de palier on a considéré la surface extérieure comme support fixe, la déformation de résultante est symétrique par rapport à le linge de chams de pression.

Les résultats de déplacement (f(x,y,z)=USUM) sur le tableau ci-dessous varient suivant l'angle θ R_i=cts Z=0.5L (Z donc dans cette exemple est 0.005m), pour obtenir juste la déformation radiale du palier court faiblement/fortement charger :

angle(θ) (degré)	**Déplacement f(x,y,z) pour e=0.2 [µm]**	**Déplacement f(x,y,z) pour e=0.8 [µm]**	**angle(θ) (degré)**	**Déplacement f(x,y,z) pour e=0.2 [µm]**	**Déplacement f(x,y,z) pour e=0.8 [µm]**
0	4.8756E+5	1.9634E-5	179,7	2.7575E-4	7.8598E-3
3,6	8.3113E+5	3.9113E-5	183,3	2.0086E-4	4.7880E-3
7,2	1.2255E+4	6.1120E-5	186,9	1.3673E-4	2.3386E-3
10,8	1.6479E+4	8.4771E-5	190,5	8.5513E-5	9.9867E-4
14,4	2.0881E+4	1.0975E-4	194,1	4.8761E-5	5.2255E-4
18	2.5407E+4	1.3617E-4	197,7	2.6711E-5	2.8481E-4
21,6	3.0010E+4	1.6412E-4	201,3	1.5033E-5	1.5722E-4
25,2	3.4674E+4	1.9393E-4	204,9	8.2050E-6	8.5192E-5
28,8	3.9387E+4	2.2596E-4	208,5	4.1336E-6	4.3965E-5
32,4	4.4159E+4	2.6077E-4	212,1	1.7875E-6	2.0417E-5
36	4.8947E+4	2.9847E-4	215,7	5.0330E-7	7.2071E-6
39,6	5.3754E+4	3.3959E-4	219,3	1.4298E-7	1.0927E-6
42,9	5.8604E+4	3.8507E-4	222,9	4.2214E-7	3.3926E-6
46,5	6.3526E+4	4.3593E-4	226,5	5.0130E-7	4.8164E-6
50,1	6.8493E+4	4.9278E-4	230,1	4.7988E-7	5.0830E-6
53,7	7.3485E+4	5.5649E-4	233,7	4.1513E-7	4.7517E-6
57,3	7.8486E+4	6.2815E-4	237,3	3.3810E-7	4.1532E-6
60,9	8.3478E+4	7.0905E-4	240,9	2.6432E-7	3.4763E-6
64,5	8.8843E+4	8.0072E-4	244,5	2.0048E-7	2.8226E-6
68,1	9.3360E+4	9.0491E-4	248,1	1.4851E-7	2.2405E-6
71,7	9.8209E+4	1.0239E-3	251,7	1.0793E-7	2.7474E-6
75,3	1.0297E+3	1.0601E-3	255,3	7.7241E-8	1.3439E-6
78,9	1.0761E+3	1.3167E-3	258,9	5.4664E-8	1.0220E-6
82,5	1.1213E+3	1.4974E-3	262,5	3.8507E-8	7.7001E-7
86,1	1.1648E+3	1.7065E-3	266,1	2.7336E-8	5.7587E-7
89,7	1.2067E+3	1.9502E-3	269,7	2.0032E-8	4.2822E-7
93,3	1.2464E+3	2.2340E-3	273,3	1.5793E-8	3.1723E-7
96,9	1.2834E+3	2.5659E-3	276,9	1.4114E-8	2.3471E-7
100,5	1.3171E+3	2.9539E-3	280,5	1.4763E-8	1.7411E-7

104,1	1.3462E+3	3.4059E-3	284,1	1.7769E-8	1.3027E-7
107,7	1.3687E+3	3.9260E-3	287,7	2.3406E-8	9.9239E-8
111,3	1.3830E+3	4.5212E-3	291,3	3.2189E-8	7.8064E-8
114,9	1.3884E+3	5.2014E-3	294,9	4.4854E-8	6.4549E-8
118,5	1.3842E+3	5.9719E-3	298,5	6.2319E-8	5.7093E-8
122,1	1.3709E+3	6.8465E-3	302,1	8.5581E-8	5.4515E-8
125,7	1.3496E+3	7.8436E-3	305,7	1.1550E-7	5.5882E-8
129,3	1.3215E+3	8.9783E-3	309,3	1.5236E-7	6.0321E-8
132,9	1.2868E+3	1.0258E-2	312,9	1.9513E-7	6.6788E-8
136,5	1.2450E-3	1.1672E-2	316,5	2.4002E-7	7.3736E-8
140,1	1.1947E-3	1.3176E-2	320,1	2.7827E-7	7.8649E-8
143,7	1.1348E-3	1.4699E-2	323,7	2.9223E-7	7.7291E-8
147,3	1.0662E-3	1.6177E-2	327,3	2.4936E-7	6.2553E-8
150,9	9.9065E-4	1.7524E-2	330,9	9.2546E-7	2.2463E-8
154,5	9.0920E-4	1.8596E-2	334,5	2.7422E-7	6.3239E-8
158,1	8.2206E-4	1.9198E-2	338,1	1.0063E-6	2.2911E-7
161,7	7.3033E-4	1.9147E-2	341,7	2.3497E-6	5.3615E-7
165,3	6.3586E-4	1.8830E-2	345,3	4.6774E-6	1.0939E-6
168,9	5.4085E-4	1.6605E-2	348,9	8.5758E-6	2.1094E-6
172,5	4.4774E-4	1.4142E-2	352,5	1.4951E-5	4.0506E-6
176,1	3.5874E-4	1.1117E-2	356,1	3.0054E-5	6.5877E-6

Tableau IV.5 : Tableau de déformation radiale de palier court faiblement/fortement chargé.

On a tracé les résultat de déformation f(x,x,z) sous forme de graphe :

La figure IV.13 représenté la déformation élastique de palier court faiblement charger (e=0.2) :

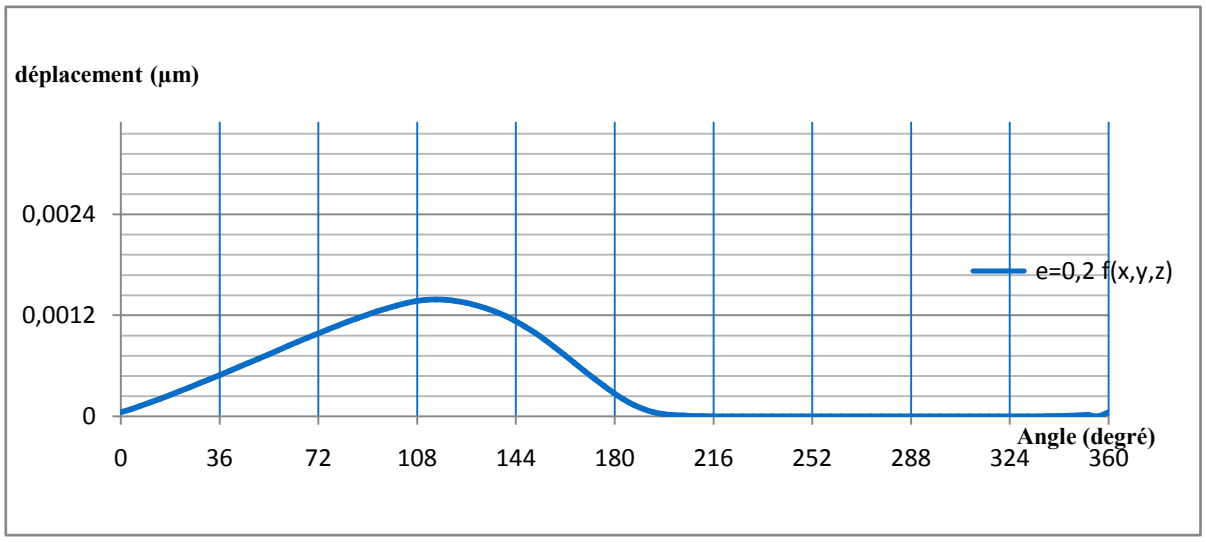


Figure IV.13 : Déformation élastique de palier court faiblement charger (D/L=0,5 et e=0,2).

La figure IV.14 représenté la déformation élastique de palier court fortement charger (e=0.8) :

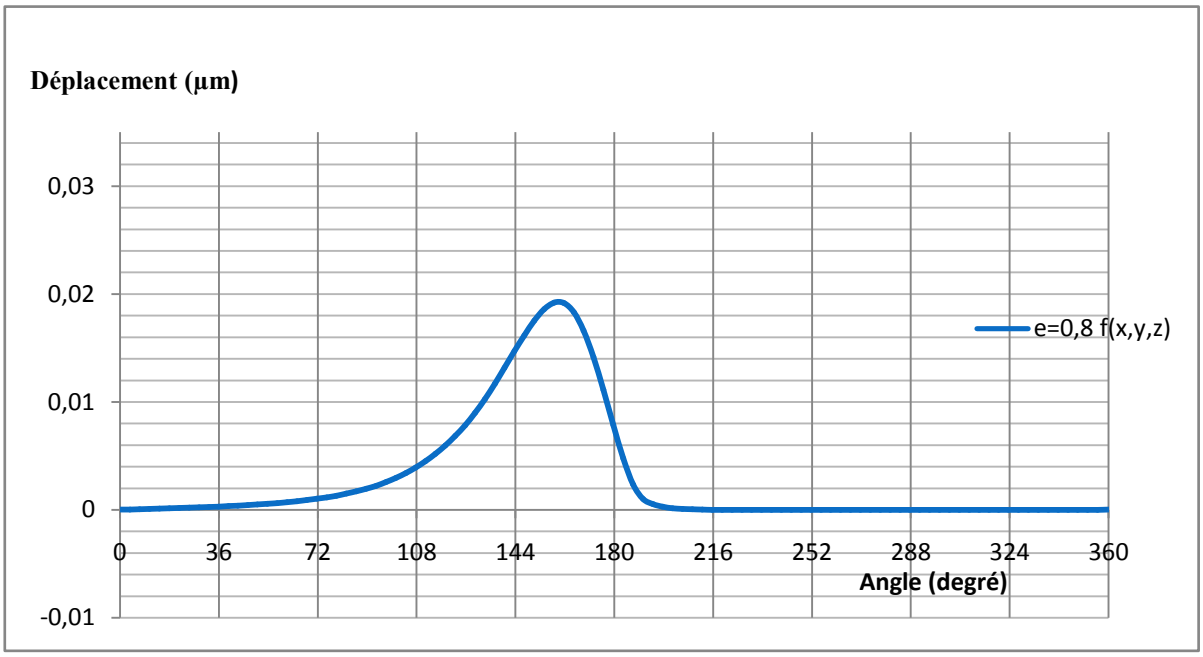


Figure IV.14: Déformation élastique de palier court fortement charger (D/L=0,5 et e=0,8)

D) Discussion des résultats :

Dans le graphe de figure IV.13, On constat que la déformation augmente en fonction de θ entre les points angulaires 0° et 114.9° (position de la déformation maximale f(x,y,z)= $1{,}3884^{e-3}$µm) dans l'intervalle 114.9°<θ<179.7° on remarque une décroissance de la déformation et tend vers zéro (f(x,y,z)→0) en se rapprochant de 360°.

Le schéma ci-dessous représente les contours de la déformation d'un palier court faiblement chargé obtenus par le logiciel ANSYS APDL :

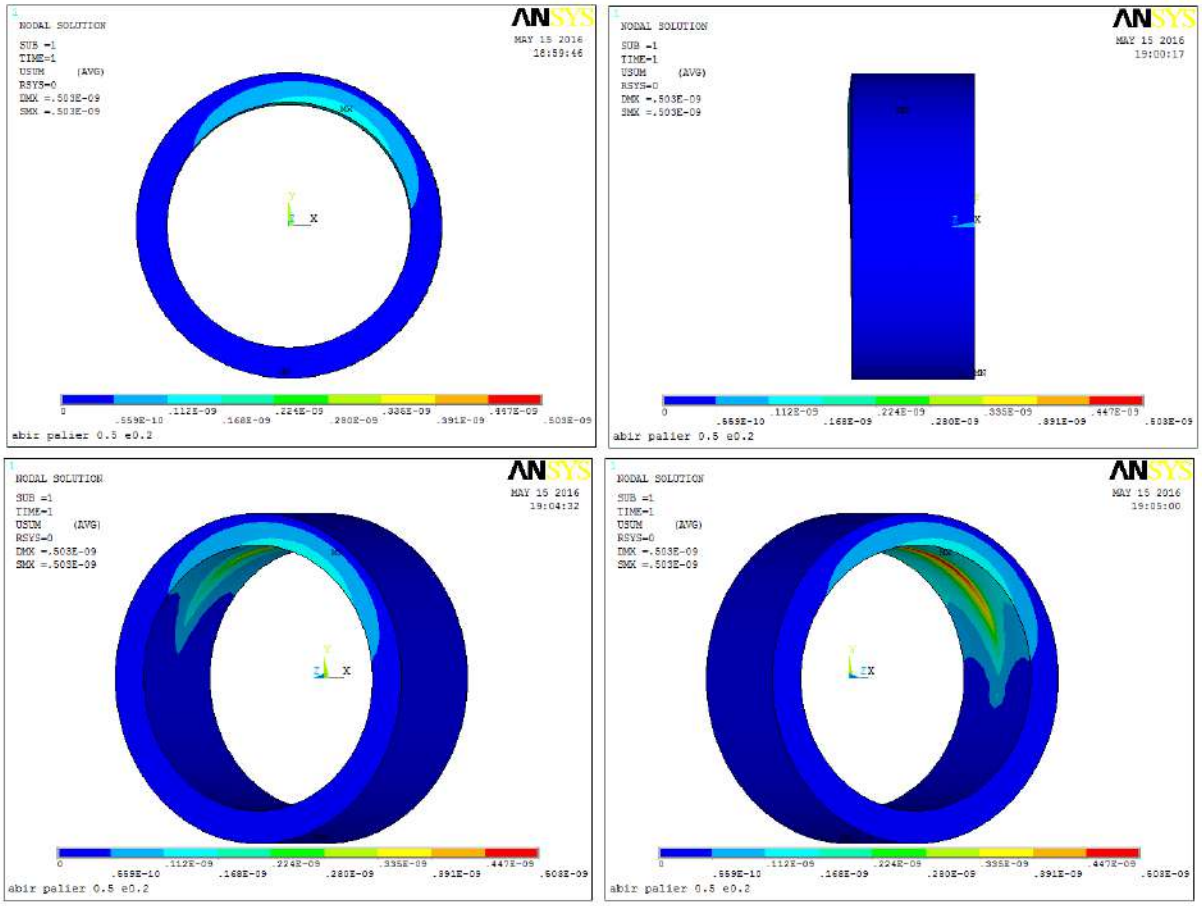


Figure IV.15 : Schéma de déformation palier court faiblement charger (e=0.2).

Dans le graphe de figure IV.14**,** on constat que la déformation est augment rapidement en fonction de θ entre 0° et 158.1° (position de déformation maximale du palier court fortement charger f(x,y,z)= 19,198^{e-3}µm), et dans l'intervalle 158.1°<θ<201.3° la déformation décroissante et tend vers zéro (f(x,y,z)→0) en se rapprochant de 360°.

Le schéma ci-dessous les contours de la déformation d'un palier court fortement charger obtenus dans le logiciel ANSYS APDL :

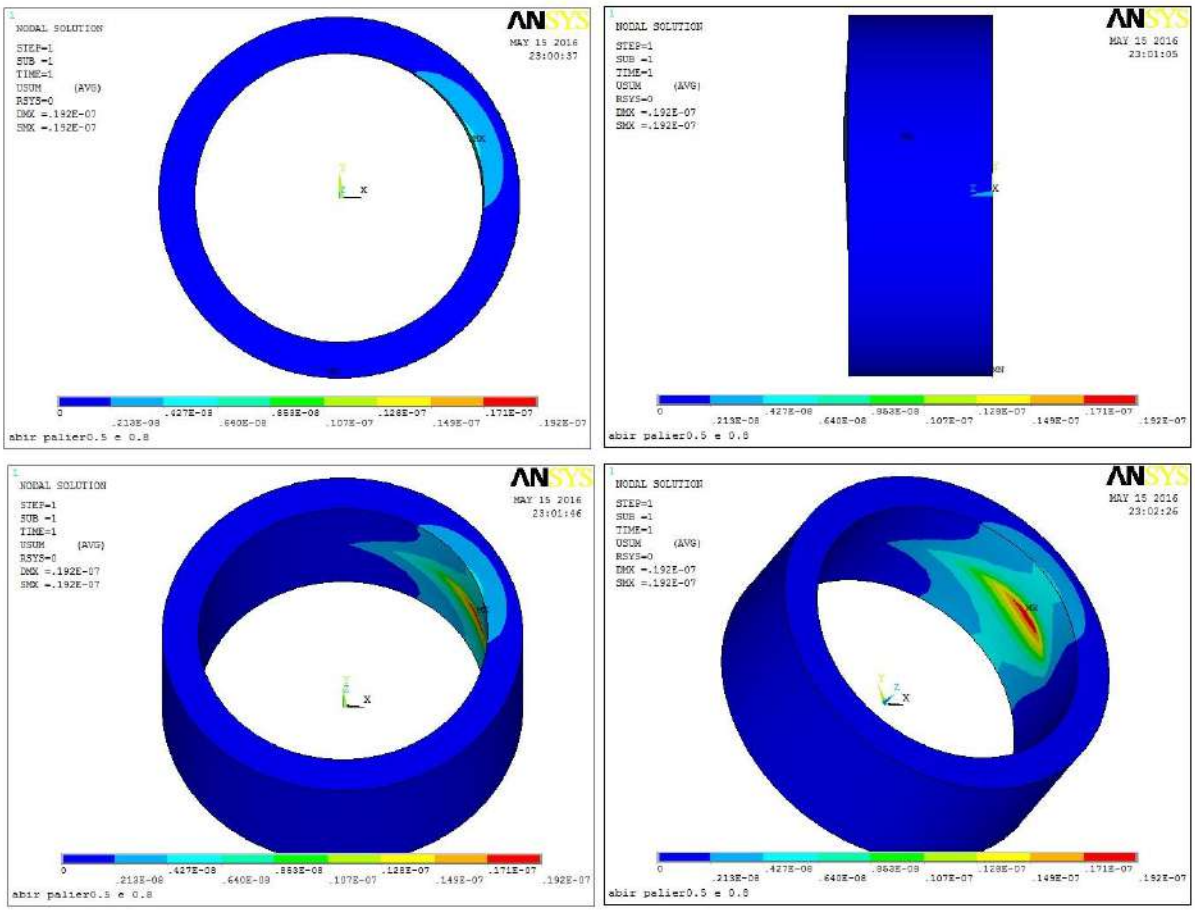


Figure IV.16 : Schéma de déformation palier court fortement charger (e=0.8).

Après les deux exemples de palier faiblement charger (e=0.2) et fortement charger (e=0.8), on remarque que la déformation d'exemple du palier ou l'excentricité e=0.2 et inférieur aux la déformation de palier d'excentricité e=0.8 ($1{,}3884^{e-3}$µm<$19{,}198^{e-3}$µm).

On constate que la forme de déformation élastique radiale de la paroi de coussinet prend la même forme que celle du champ de pression.

On remarque ici qu'un palier fortement chargé subit des déformations plus importantes que celui faiblement chargé mais concentrées dans la zone du film fluide minimale (voir figures IV.15/16).

b. Palier de longueur finie L/D=1 :

Tableau du donné :

Diamètre intérieur	0.0200	[m]
Diamètre extérieur	0.0250	[m]
Longueur	0.0200	[m]
Rayon intérieur	0.0100	[m]
Rayon intérieur	0.0125	[m]

Tableau IV.6 : Tableau de géomètre d'un palier.

Après nous dessiné sur ANSYS APDL on la structure au-dessous (figure IV.17) :

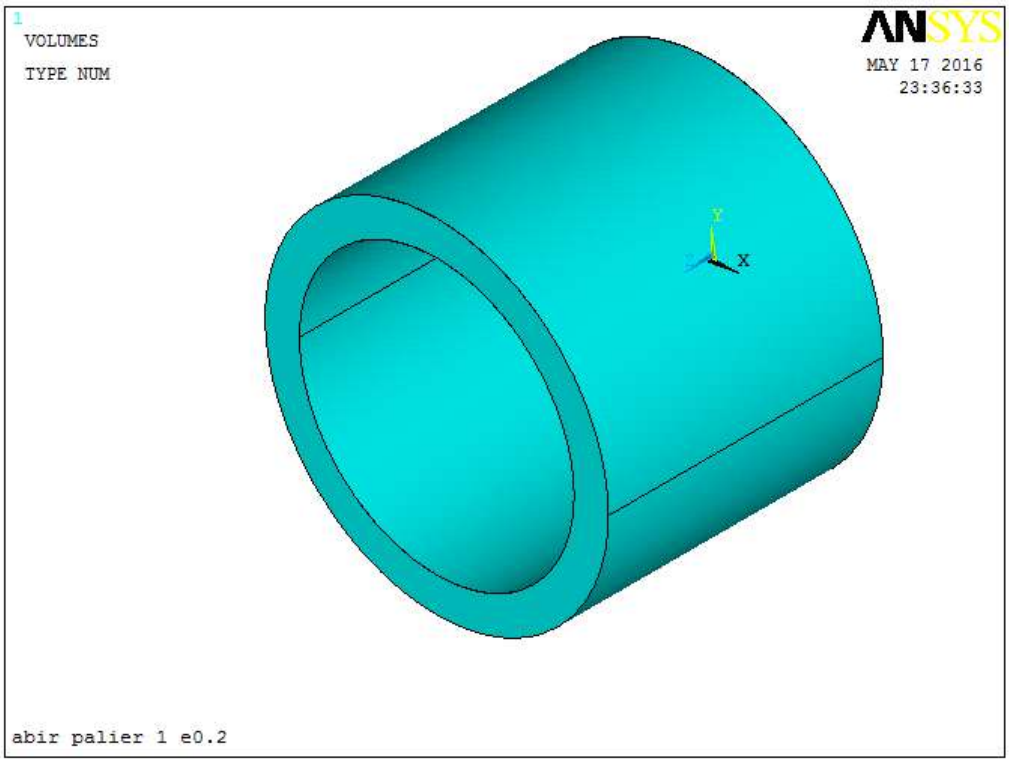


Figure IV.17 : La géométrie d'un palier à longueur finie.

A) Maillage :

Le maillage de la structure se fait de la manière suivante:

Suivant le rayon : R 5 éléments.

Suivant l'angle θ : 100 éléments.

Suivant la longueur L : 20 élément, pour que les éléments de maillage de les trois cas raster équivalent.

Le maillage est dans la figure IV.18 dessous :

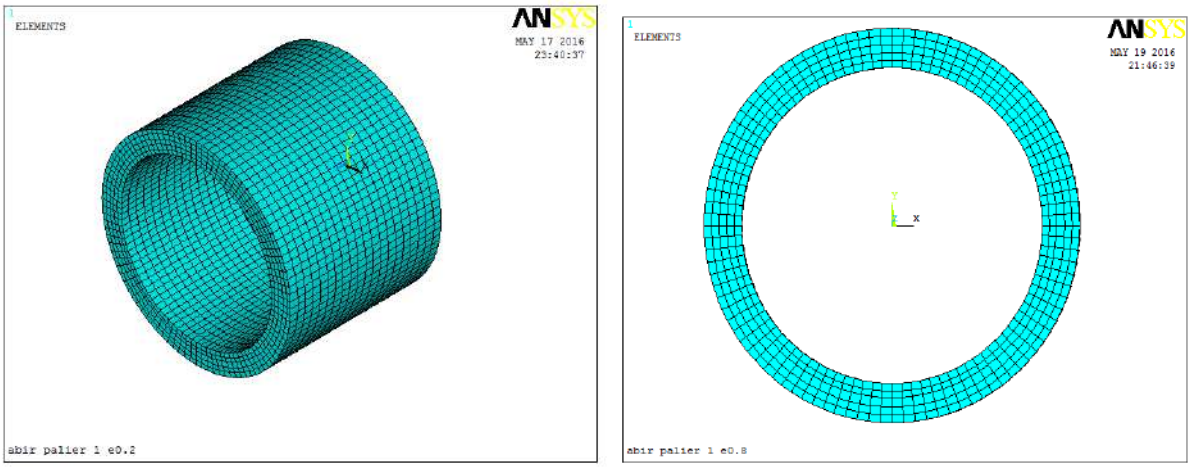


Figure IV.18 : Maillage du palier à longueur finie.

B) Application :

Pour obtenir les résultats des déformations élastiques sur un palier à longueur finie de rapport longueur/diamètre=1, Nous allons aussi dans cette exemple fixer la surface extérieur du palier court (supprime les degrés de liberté du surface extérieure) après applique le champ de pression hydrodynamique suivant l'angle θ et Z=0.5L (pour cette exemple Z=0.01m) et R_i=cts.

Il ya deux type de champ de pression sur cette application :

c- Palier faiblement charger ou l'excentricité est petite (e=0.2).
d- Palier fortement chargé avec une excentricité grande (e=0.8).

Le tableau suivant représente les champs de pression applique sur un palier fortement est faiblement charger simultanément:

Angle(θ) (degré)	Pression e=0.2(MPa)	Pression e=0.8(MPa)	Angle(θ) (degré)	Pression e=0.2(MPa)	Pression e=0.8(MPa)
0	0,00E+00	0,00E+00	179,7	7,86E+04	3,09E+06
3,6	9,20E+03	1,62E+04	183,3	6,40E+04	2,11E+06
7,2	1,84E+04	3,25E+04	186,9	5,02E+04	1,21E+06
10,8	2,77E+04	4,91E+04	190,5	3,73E+04	4,87E+05

14,4	3,70E+04	6,60E+04	194,1	2,57E+04	0,00E+00
18	4,63E+04	8,34E+04	197,7	1,55E+04	0,00E+00
21,6	5,57E+04	1,01E+05	201,3	6,84E+03	0,00E+00
25,2	6,51E+04	1,20E+05	204,9	0,00E+00	0,00E+00
28,8	7,45E+04	1,40E+05	208,5	0,00E+00	0,00E+00
32,4	8,39E+04	1,60E+05	212,1	0,00E+00	0,00E+00
36	9,33E+04	1,82E+05	215,7	0,00E+00	0,00E+00
39,6	1,03E+05	2,05E+05	219,3	0,00E+00	0,00E+00
42,9	1,12E+05	2,30E+05	222,9	0,00E+00	0,00E+00
46,5	1,22E+05	2,57E+05	226,5	0,00E+00	0,00E+00
50,1	1,31E+05	2,86E+05	230,1	0,00E+00	0,00E+00
53,7	1,40E+05	3,17E+05	233,7	0,00E+00	0,00E+00
57,3	1,49E+05	3,51E+05	237,3	0,00E+00	0,00E+00
60,9	1,58E+05	3,87E+05	240,9	0,00E+00	0,00E+00
64,5	1,67E+05	4,28E+05	244,5	0,00E+00	0,00E+00
68,1	1,76E+05	4,72E+05	248,1	0,00E+00	0,00E+00
71,7	1,85E+05	5,21E+05	251,7	0,00E+00	0,00E+00
75,3	1,93E+05	5,75E+05	255,3	0,00E+00	0,00E+00
78,9	2,01E+05	6,35E+05	258,9	0,00E+00	0,00E+00
82,5	2,08E+05	7,02E+05	262,5	0,00E+00	0,00E+00
86,1	2,15E+05	7,76E+05	266,1	0,00E+00	0,00E+00
89,7	2,22E+05	8,59E+05	269,7	0,00E+00	0,00E+00
93,3	2,28E+05	9,52E+05	273,3	0,00E+00	0,00E+00
96,9	2,34E+05	1,06E+06	276,9	0,00E+00	0,00E+00
100,5	2,38E+05	1,17E+06	280,5	0,00E+00	0,00E+00
104,1	2,42E+05	1,31E+06	284,1	0,00E+00	0,00E+00
107,7	2,45E+05	1,46E+06	287,7	0,00E+00	0,00E+00
111,3	2,48E+05	1,62E+06	291,3	0,00E+00	0,00E+00
114,9	2,49E+05	1,81E+06	294,9	0,00E+00	0,00E+00
118,5	2,49E+05	2,03E+06	298,5	0,00E+00	0,00E+00
122,1	2,48E+05	2,26E+06	302,1	0,00E+00	0,00E+00
125,7	2,45E+05	2,53E+06	305,7	0,00E+00	0,00E+00
129,3	2,42E+05	2,83E+06	309,3	0,00E+00	0,00E+00
132,9	2,37E+05	3,16E+06	312,9	0,00E+00	0,00E+00
136,5	2,31E+05	3,52E+06	316,5	0,00E+00	0,00E+00
140,1	2,23E+05	3,91E+06	320,1	0,00E+00	0,00E+00
143,7	2,14E+05	4,31E+06	323,7	0,00E+00	0,00E+00
147,3	2,04E+05	4,71E+06	327,3	0,00E+00	0,00E+00
150,9	1,93E+05	5,10E+06	330,9	0,00E+00	0,00E+00
154,5	1,81E+05	5,43E+06	334,5	0,00E+00	0,00E+00
158,1	1,68E+05	5,68E+06	338,1	0,00E+00	0,00E+00
161,7	1,54E+05	5,78E+06	341,7	0,00E+00	0,00E+00
165,3	1,39E+05	5,69E+06	345,3	0,00E+00	0,00E+00
168,9	1,24E+05	5,37E+06	348,9	0,00E+00	0,00E+00
172,5	1,09E+05	4,80E+06	352,5	0,00E+00	0,00E+00
176,1	9,36E+04	4,02E+06	356,1	0,00E+00	0,00E+00

Tableau IV. 7: Tableau de champ de pression applique sur un palier à longueur finie.

La représentation graphique de chaque champ de pression de ce tableau est comme suite:

Champ de pression e=0.2 la figure IV.19:

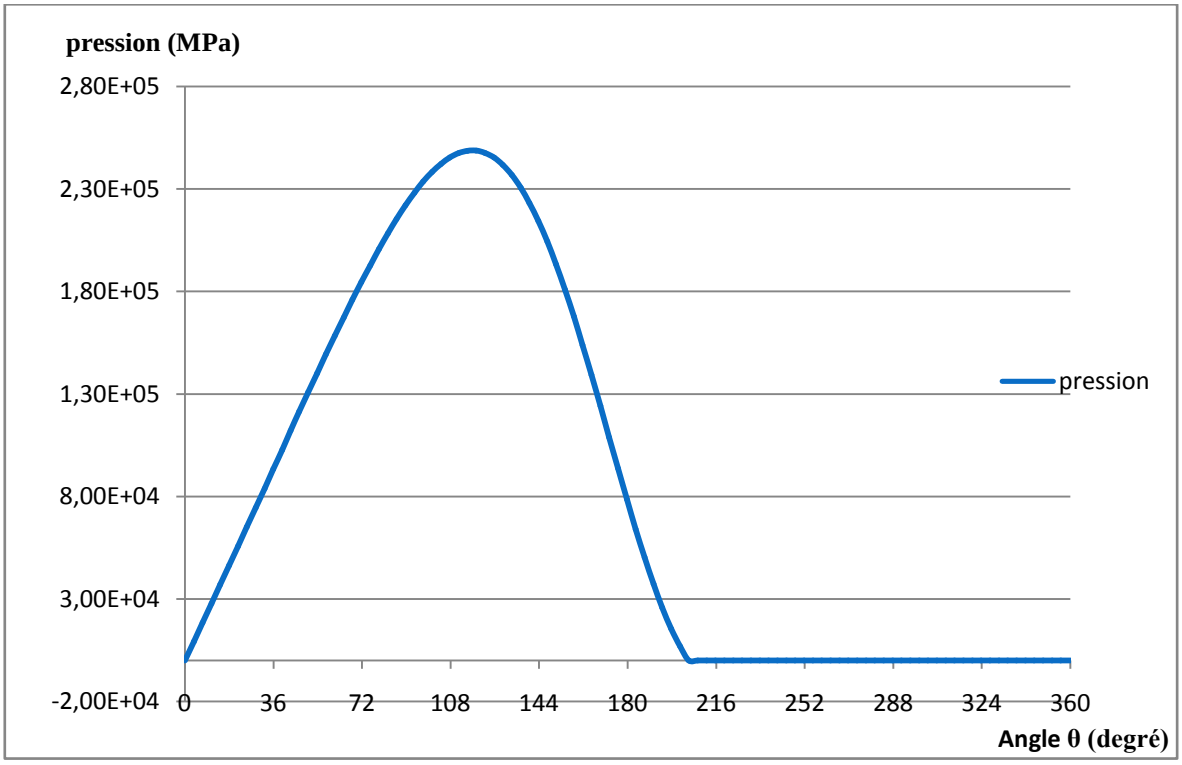


Figure IV.19 : Champ de pression d'un palier à longueur finie faiblement chargé.

Champ de pression e=0.8 la figure IV.20 :

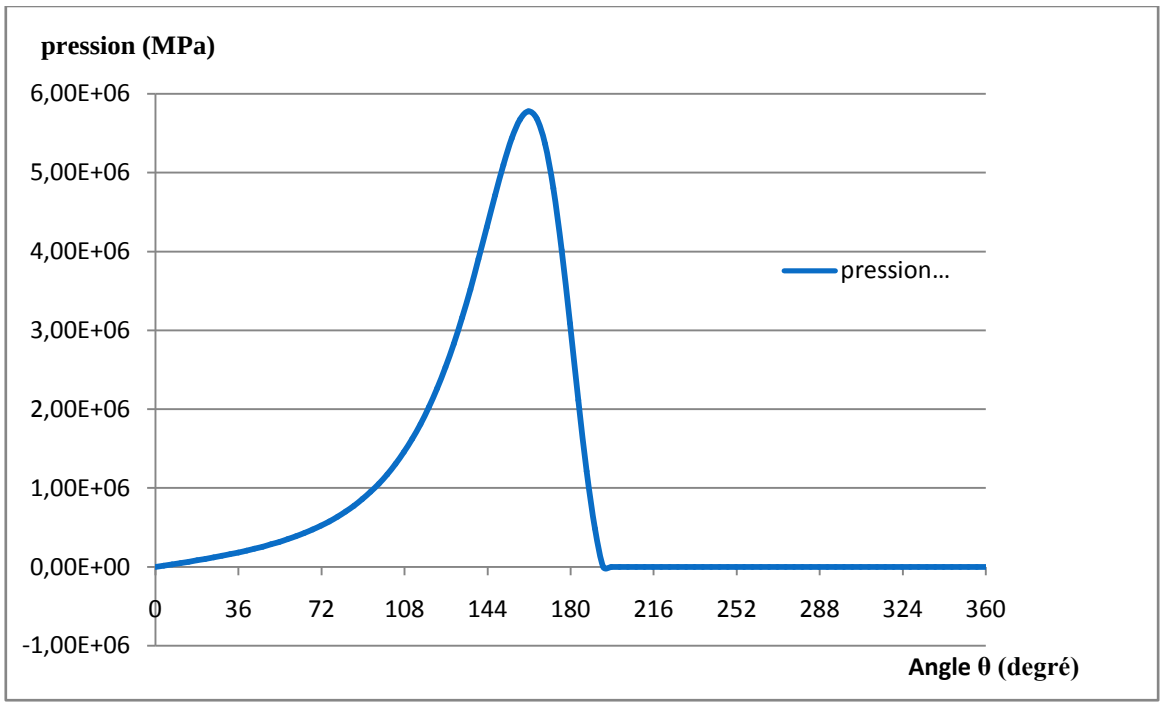


Figure IV.20: Champ de pression d'un palier à longueur finie fortement chargé.

On remarque ici que la pression de palier faiblement chargé très petite aux la pression de palier fortement chargé $P_{(e=0.2)\ max}$ =2,49^{e+5}<<$P_{(e=0.8)\ max}$=5.78^{e+6}.

Le champ de pression hydrodynamique applique sur le palier à longueur finie dans le logiciel ANSYS APDL doivent maintenant apparaitre comme indiqué ci-dessous :

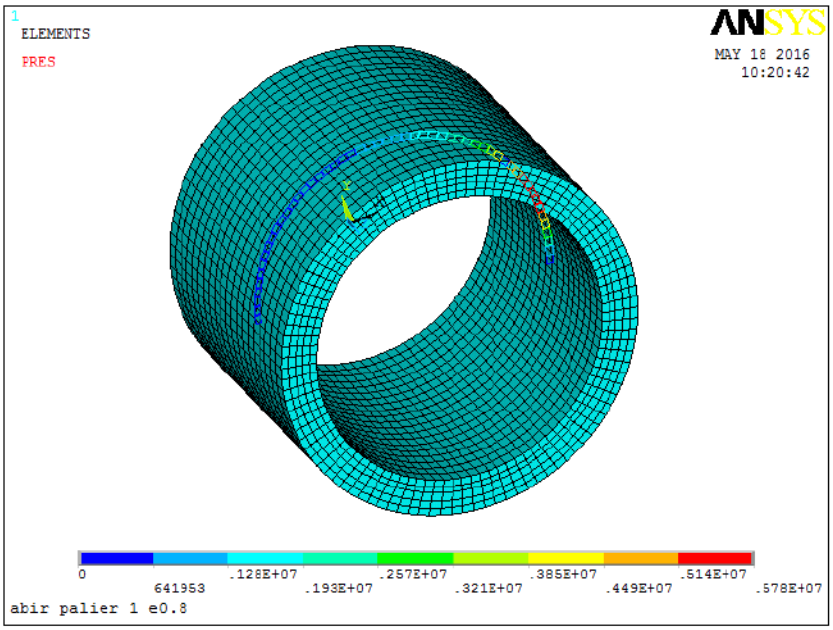


Figure IV.21: Le champ de pression appliquée sur le palier.

C) Solution et résultat:

Ce champ de pression a été introduit dans le logiciel ANSYS APDL pour déterminer le champ de déformation élastique on obtient ainsi le schéma de la solution suivante (fig. IV.22) :

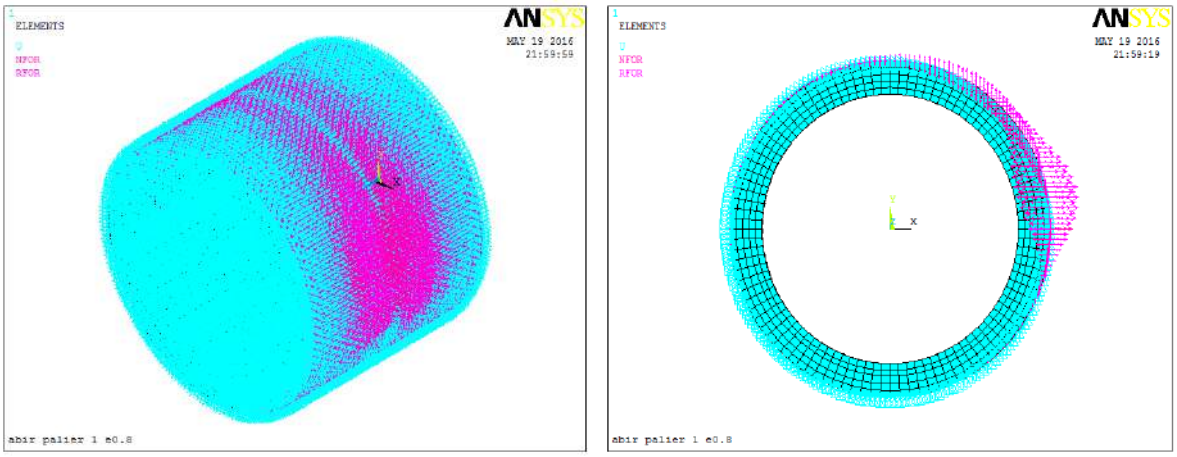


Figure IV.22: Schéma de solution sur ANSYS APDL (pour e=0.8).

Les résultats de déformations sur le tableau ci-dessous sont variés suivant l'angle θ R_i=cts Z=0.5L, pour obtenir juste la déformation radiale du palier à longueur finie faiblement/fortement charger.

angle(θ) (degré)	**Déformation f(x,y,z) pour e=0.2 [µm]**	**Déformation f(x,y,z) pour e=0.8 [µm]**	**angle(θ) (degré)**	**Déformation f(x,y,z) pour e=0.2 [µm]**	**Déformation f(x,y,z) pour e=0.8 [µm]**
0	6.5372E-6	1.1261E-5	179,7	6.0009E-4	2.5256E-2
3,6	1.5107E-5	2.6403E-5	183,3	5.1294E-4	2.0675E-2
7,2	4.2556E-5	7.4952E-5	186,9	4.2692E-4	1.5573E-2
10,8	8.8917E-5	1.5720E-4	190,5	3.4405E-4	1.0535E-2
14,4	1.4006E-4	2.4871E-4	194,1	2.6589E-4	6.1302E-3
18	1.9311E-4	3.4500E-4	197,7	1.9428E-4	2.8124E-3
21,6	2.4700E-4	4.4493E-4	201,3	1.3087E-4	1.0618E-3
25,2	3.0107E-4	5.4801E-4	204,9	7.7463E-5	4.7127E-4
28,8	3.5521E-4	6.5485E-4	208,5	3.5696E-5	2.0109E-4
32,4	4.0931E-4	7.6611E-4	212,1	1.2835E-5	7.3934E-5
36	4.6368E-4	8.8329E-4	215,7	5.3610E-6	1.4186E-5
39,6	5.1759E-4	1.0060E-3	219,3	2.0257E-6	1.1809E-5
42,9	5.7101E-4	1.1353E-3	222,9	5.1644E-7	2.1114E-5
46,5	6.2446E-4	1.2735E-3	226,5	1.4910E-7	2.2524E-5
50,1	6.7845E-4	1.4231E-3	230,1	4.0247E-7	2.0508E-5
53,7	7.3248E-4	1.5847E-3	233,7	4.5940E-7	1.7302E-5
57,3	7.8628E-4	1.7597E-3	237,3	4.2970E-7	1.3970E-5
60,9	8.3968E-4	1.9498E-3	240,9	3.6773E-7	1.0967E-5
64,5	8.9249E-4	2.1570E-3	244,5	2.9954E-7	8.4477E-6
68,1	9.4454E-4	2.3837E-3	248,1	2.3666E-7	6.4213E-6
71,7	9.9556E-4	2.6324E-3	251,7	1.8325E-7	4.8348E-6
75,3	1.0455E-3	2.9066E-3	255,3	1.3999E-7	3.6154E-6
78,9	1.0941E-3	3.2098E-3	258,9	1.0602E-7	2.6905E-6
82,5	1.1412E-3	3.5464E-3	262,5	7.9906E-7	1.9955E-6
86,1	1.1866E-3	3.9220E-3	266,1	6.0190E-8	1.4770E-6
89,7	1.2303E-3	4.3424E-3	269,7	4.5550E-8	1.0922E-6
93,3	1.2723E-3	4.8169E-3	273,3	3.4897E-8	8.0793E-7
96,9	1.3124E-3	5.3528E-3	276,9	2.7377E-8	5.9872E-7
100,5	1.3502E-3	5.9605E-3	280,5	2.2361E-8	4.4550E-7
104,1	1.3855E-3	6.6503E-3	284,1	1.9412E-8	3.3405E-7
107,7	1.4171E-3	7.4299E-3	287,7	1.8270E-8	2.5393E-7
111,3	1.4424E-3	8.2980E-3	291,3	1.8830E-8	1.9758E-7
114,9	1.4595E-3	9.2579E-3	294,9	2.1140E-8	1.5968E-7
118,5	1.4683E-3	1.0319E-2	298,5	2.5397E-8	1.3660E-7
122,1	1.4677E-3	1.1479E-2	302,1	3.1959E-8	1.2609E-7
125,7	1.4583E-3	1.2783E-2	305,7	4.1358E-8	1.2702E-7
129,3	1.4423E-3	1.4156E-2	309,3	5.4310E-8	1.3919E-7
132,9	1.4219E-3	1.5692E-2	312,9	7.1718E-8	1.6319E-7
136,5	1.3969E-3	1.7319E-2	316,5	9.4638E-8	2.0025E-7
140,1	1.3670E-3	1.8848E-2	320,1	1.2415E-7	2.5196E-7

143,7	1.3294E-3	1.9801E-2	323,7	1.6114E-7	3.1981E-7
147,3	1.2820E-3	2.1081E-2	327,3	2.0568E-7	4.0409E-7
150,9	1.2262E-3	2.3507E-2	330,9	2.5588E-7	5.0186E-7
154,5	1.1646E-3	2.6478E-2	334,5	3.0578E-7	6.0319E-7
158,1	1.0978E-3	2.9664E-2	338,1	3.4104E-7	6.8354E-7
161,7	1.0247E-3	3.1677E-2	341,7	3.3115E-7	6.8983E-7
165,3	9.4557E-4	3.2678E-2	345,3	2.1430E-7	5.1359E-7
168,9	8.6179E-4	3.2616E-2	348,9	1.3179E-7	6.1089E-7
172,5	7.7504E-4	3.1365E-2	352,5	9.4694E-7	1.4592E-7
176,1	6.8755E-4	2.8894E-2	356,1	2.7086E-7	4.5290E-6

Tableau IV.8 : Tableau de déformation radiale de palier à longueur finit faiblement/fortement chargé.

On a tracé les résultat de déformation f(x,x,z) pour e=0.2 et e=0.8 sous forme de graphe :

La figure IV.23 représenté la déformation élastique de palier a longueur finie faiblement charger (e=0.2) :

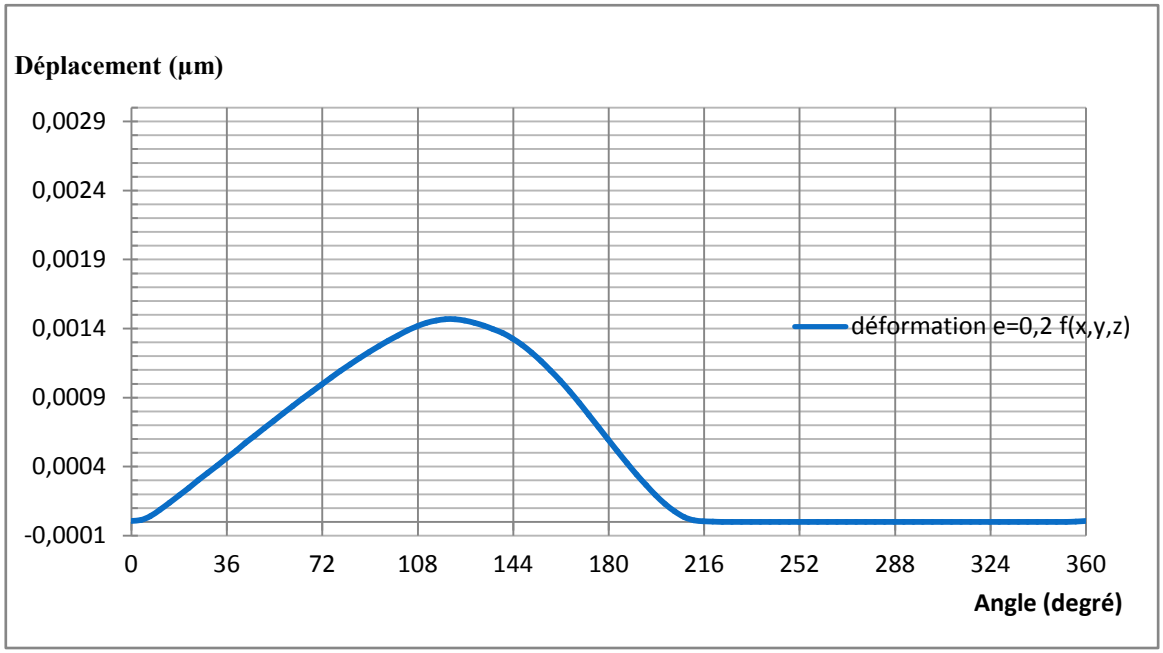


Figure IV.23 : Déformation élastique de palier à longueur finie faiblement charger.

La figure IV.24 représenté la déformation élastique de palier court fortement charger (e=0.8) :

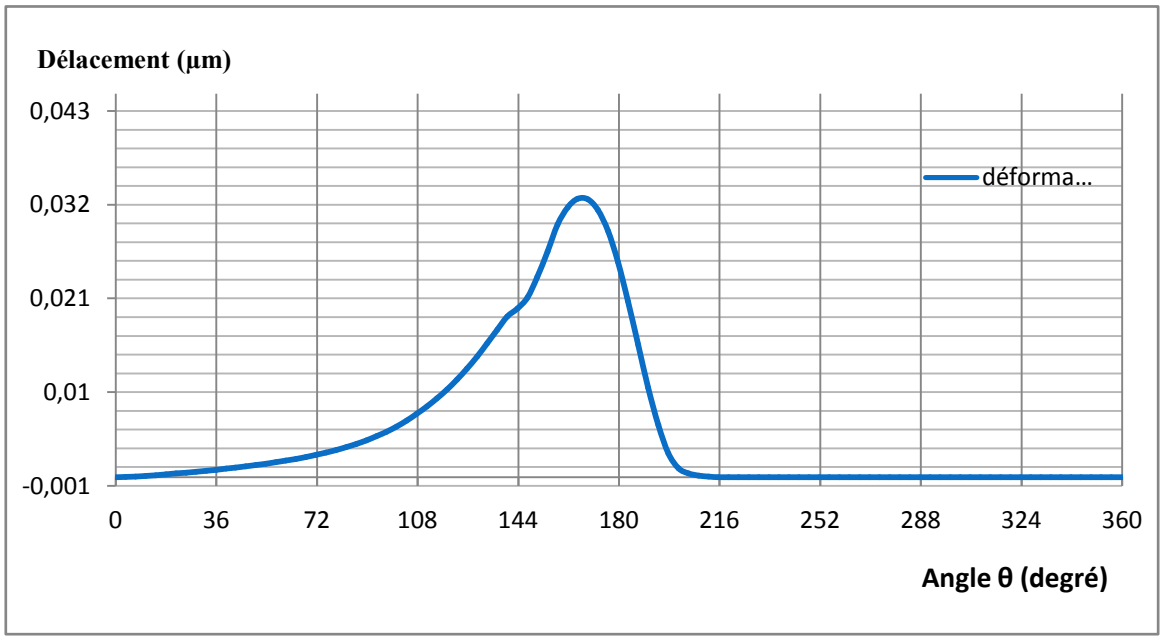


Figure IV.24: Déformation élastique de palier à longueur finie fortement charger.

D) Discussion des résultats :

On remarque que la forme de déformation élastique radiale de la paroi de coussinet à longueur finie prend la même forme que celle du champ de pression.

Dans le graphe de figure IV.23, On constat que la déformation est augmenter lentement en fonction de θ est entre les points angulaires 0° et 118.5° et (la déplacement maximale $f(x,y,z)=14{,}683^{e-3}$µm), et dans l'intervalle 118.5°<θ<212.1° la déformation décroissante et vers zéro ($f(x,y,z)\rightarrow 0$) jusqu' a $\theta\rightarrow 360°$.

Le schéma représenté les contours de déformation élastique d'un palier à longueur finie faiblement chargé introduit dans le logiciel ANSYS APDL à la figure IV.25:

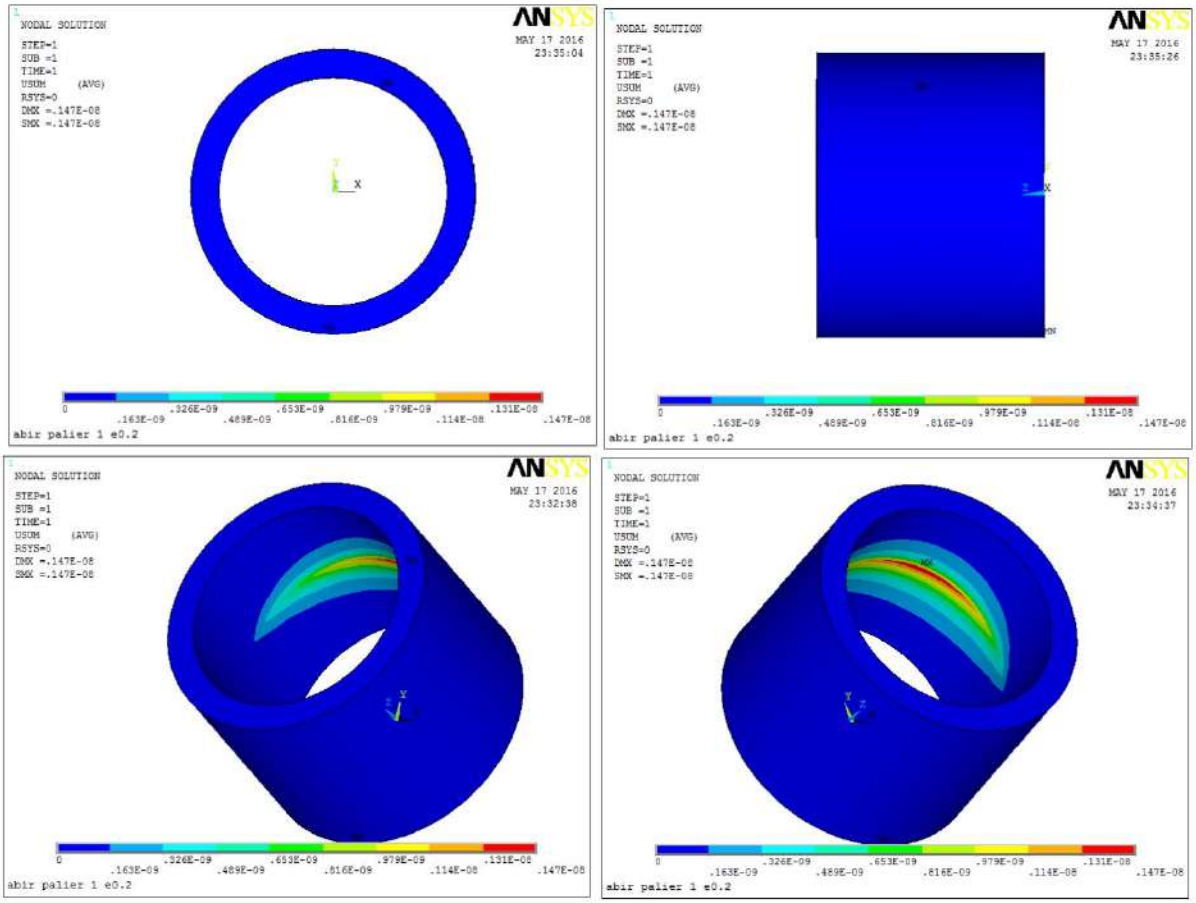


Figure IV.25: schéma de déformation élastique du palier à longueur finie faiblement charger (e=0.2).

Dans le graphe de figure IV.24, on constat que la déformation est augmente rapidement en fonction de θ entre 0° et 165.3° (valeur maximale de déplacement f(x,y,z)= 32,678^{e-2}µm) et elle est décroissante rapidement dans l'intervalle 165.3°<θ<208.5°.

Le schéma ci-dessous représenté un conteur de déformation de palier à longueur finie (L/D=1) fortement charger (e=0.8) introduit dans le logiciel ANSYS APDL :

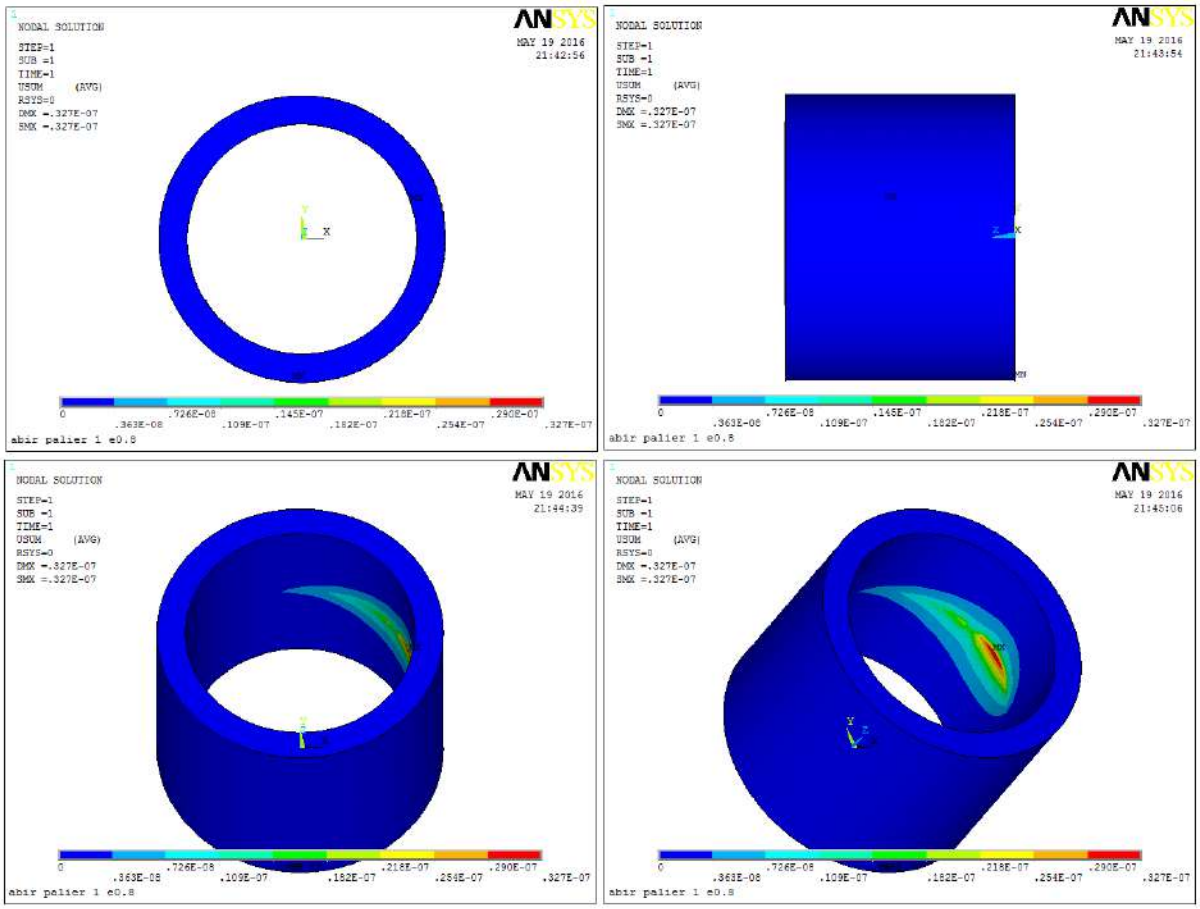


Figure IV.26 : Schéma de déformation élastique du palier à longueur finie fortement charger (e=0.8).

Après les deux exemples de palier faiblement charger (e=0.2) et fortement charger (e=0.8), on remarque que la déformation d'exemple de palier d'excentricité e=0.2 et inférieur aux la déformation de palier d'excentricité e=0.8.

c. Palier infiniment long L/D=1.5 :

Tableau du donné :

Diamètre intérieur	0.0200	[m]
Diamètre extérieur	0.0250	[m]
Longueur	0.0300	[m]
Rayon intérieur	0.0100	[m]
Rayon intérieur	0.0125	[m]

Tableau.VI.9 : Tableau de géomètre de palier.

Après nous dessiné sur ANSYS APDL on la structure au-dessous (figure IV.26) :

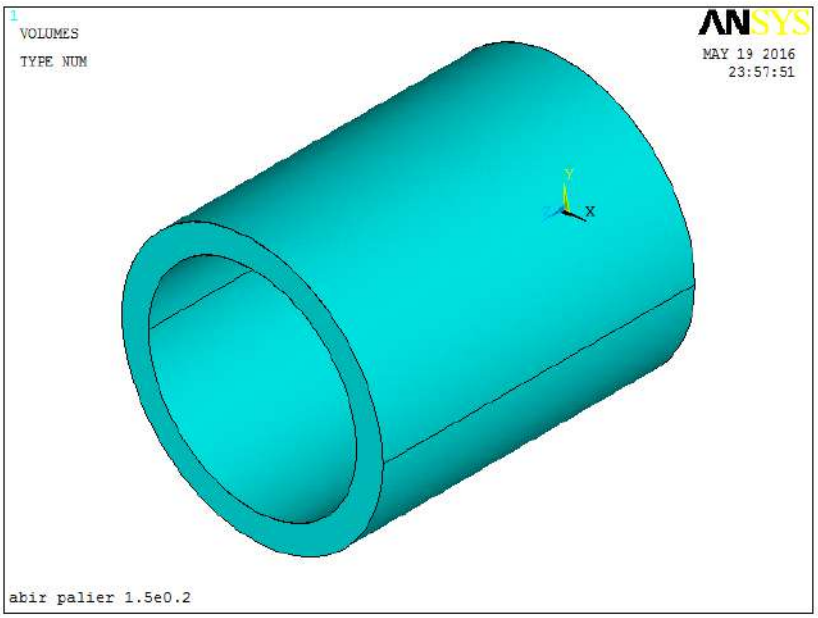


Figure IV.27 : la géomètre d'un palier infiniment long.

A) Maillage :

Le maillage de la structure se fait de la manière suivante:

Suivant le rayon R : 5 éléments.

Suivant l'angle θ : 100 éléments.

Suivant la longueur L : 30 éléments, pour que les éléments de maillage des trois cas raster équivaillent.

Le maillage est dans la figure IV.28 ci-dessous :

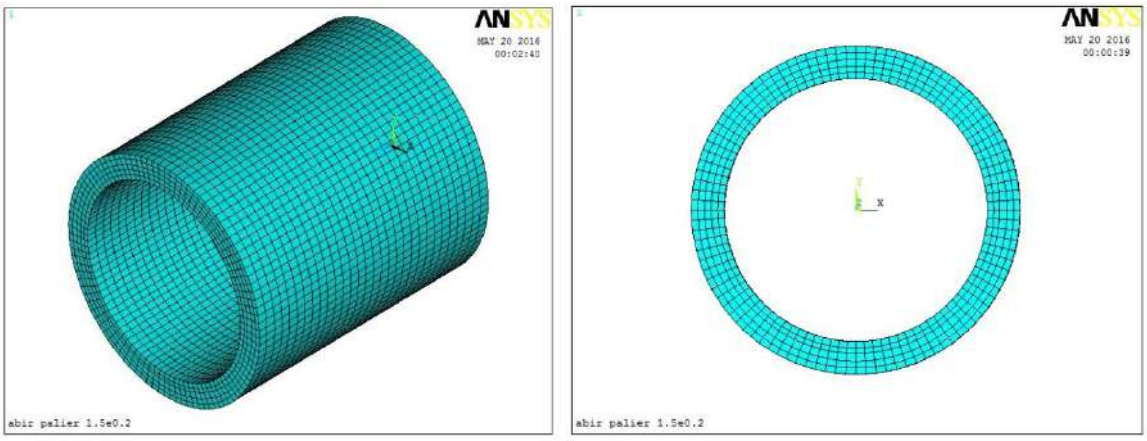


Figure IV.28 : Maillage d'un palier infiniment long.

B) Application :

Pour obtenir les résultats des déformations élastiques sur le palier de infiniment long de rapport longueur/diamètre=1.5, on va d'abord fixer la surface extérieur de palier court après applique le champ de pression hydrodynamique suivant l'angle θ et Z=0.5L (Z donc est 0.015m) et R_i=cts.

Il ya deux type de champ de pression sur cette application :

e- Palier infiniment long faiblement charger ou l'excentricité est petite (e=0.2).

f- Palier infiniment long fortement chargé avec une excentricité plus grande (e=0.8).

Le tableau suivant représente les champs de pression applique sur palier infiniment long fortement est faiblement charger simultanément :

angle(θ) (degré)	pression e=0,2 (Mpa)	pression e=0,8 (Mpa)	angle(θ) (degré)	pression e=0,2 (Mpa)	pression e=0,8 (Mpa)
0	0,00E+00	0,00E+00	179,7	1,59E+05	3,89E+06
3,6	1,62E+04	2,97E+04	183,3	1,36E+05	2,80E+06
7,2	3,24E+04	5,95E+04	186,9	1,14E+05	1,77E+06
10,8	4,87E+04	8,95E+04	190,5	9,27E+04	9,22E+05
14,4	6,50E+04	1,20E+05	194,1	7,27E+04	3,24E+05
18	8,12E+04	1,51E+05	197,7	5,42E+04	0,00E+00
21,6	9,75E+04	1,83E+05	201,3	3,75E+04	0,00E+00
25,2	1,14E+05	2,16E+05	204,9	2,28E+04	0,00E+00
28,8	1,30E+05	2,50E+05	208,5	1,02E+04	0,00E+00
32,4	1,46E+05	2,85E+05	212,1	0,00E+00	0,00E+00
36	1,62E+05	3,21E+05	215,7	0,00E+00	0,00E+00
39,6	1,78E+05	3,60E+05	219,3	0,00E+00	0,00E+00
42,9	1,94E+05	4,00E+05	222,9	0,00E+00	0,00E+00
46,5	2,10E+05	4,43E+05	226,5	0,00E+00	0,00E+00
50,1	2,25E+05	4,89E+05	230,1	0,00E+00	0,00E+00
53,7	2,41E+05	5,37E+05	233,7	0,00E+00	0,00E+00
57,3	2,56E+05	5,88E+05	237,3	0,00E+00	0,00E+00
60,9	2,71E+05	6,44E+05	240,9	0,00E+00	0,00E+00
64,5	2,86E+05	7,04E+05	244,5	0,00E+00	0,00E+00
68,1	3,00E+05	7,68E+05	248,1	0,00E+00	0,00E+00
71,7	3,14E+05	8,38E+05	251,7	0,00E+00	0,00E+00
75,3	3,27E+05	9,14E+05	255,3	0,00E+00	0,00E+00
78,9	3,39E+05	9,97E+05	258,9	0,00E+00	0,00E+00
82,5	3,51E+05	1,09E+06	262,5	0,00E+00	0,00E+00
86,1	3,63E+05	1,19E+06	266,1	0,00E+00	0,00E+00
89,7	3,73E+05	1,30E+06	269,7	0,00E+00	0,00E+00
93,3	3,83E+05	1,42E+06	273,3	0,00E+00	0,00E+00
96,9	3,91E+05	1,55E+06	276,9	0,00E+00	0,00E+00

100,5	3,98E+05	1,70E+06	280,5	0,00E+00	0,00E+00
104,1	4,05E+05	1,86E+06	284,1	0,00E+00	0,00E+00
107,7	4,09E+05	2,05E+06	287,7	0,00E+00	0,00E+00
111,3	4,13E+05	2,25E+06	291,3	0,00E+00	0,00E+00
114,9	4,14E+05	2,48E+06	294,9	0,00E+00	0,00E+00
118,5	4,14E+05	2,73E+06	298,5	0,00E+00	0,00E+00
122,1	4,13E+05	3,01E+06	302,1	0,00E+00	0,00E+00
125,7	4,09E+05	3,32E+06	305,7	0,00E+00	0,00E+00
129,3	4,04E+05	3,66E+06	309,3	0,00E+00	0,00E+00
132,9	3,97E+05	4,04E+06	312,9	0,00E+00	0,00E+00
136,5	3,88E+05	4,44E+06	316,5	0,00E+00	0,00E+00
140,1	3,77E+05	4,87E+06	320,1	0,00E+00	0,00E+00
143,7	3,64E+05	5,32E+06	323,7	0,00E+00	0,00E+00
147,3	3,49E+05	5,77E+06	327,3	0,00E+00	0,00E+00
150,9	3,32E+05	6,19E+06	330,9	0,00E+00	0,00E+00
154,5	3,14E+05	6,55E+06	334,5	0,00E+00	0,00E+00
158,1	2,95E+05	6,81E+06	338,1	0,00E+00	0,00E+00
161,7	2,74E+05	6,91E+06	341,7	0,00E+00	0,00E+00
165,3	2,52E+05	6,80E+06	345,3	0,00E+00	0,00E+00
168,9	2,29E+05	6,44E+06	348,9	0,00E+00	0,00E+00
172,5	2,06E+05	5,81E+06	352,5	0,00E+00	0,00E+00
176,1	1,83E+05	4,93E+06	356,1	0,00E+00	0,00E+00

Tableau IV.10: Tableau de champ de pression applique sur le palier infiniment long (L/D=1,5).

La représentation graphique de chaque champ de pression de ce tableau est comme suite:

Champ de pression e=0.2 la figure IV.29:

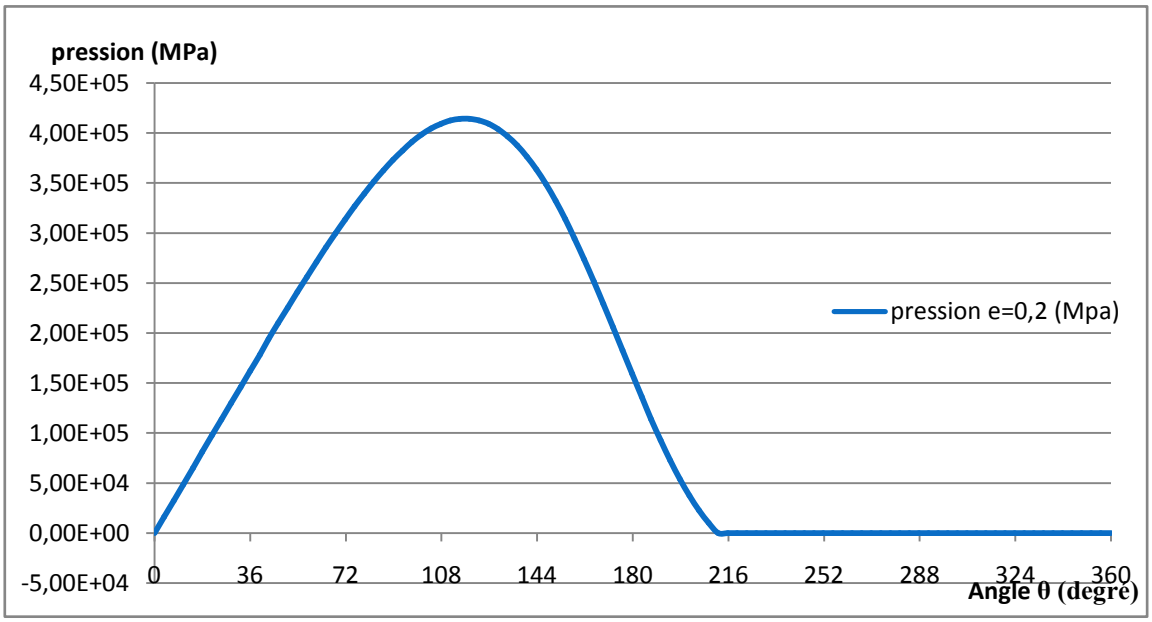


Figure IV.29 : Champ de pression d'un palier infiniment long faiblement charger (L/D=1.5 et e=0.2).

Champ de pression e=0.8 la figure IV.30 :

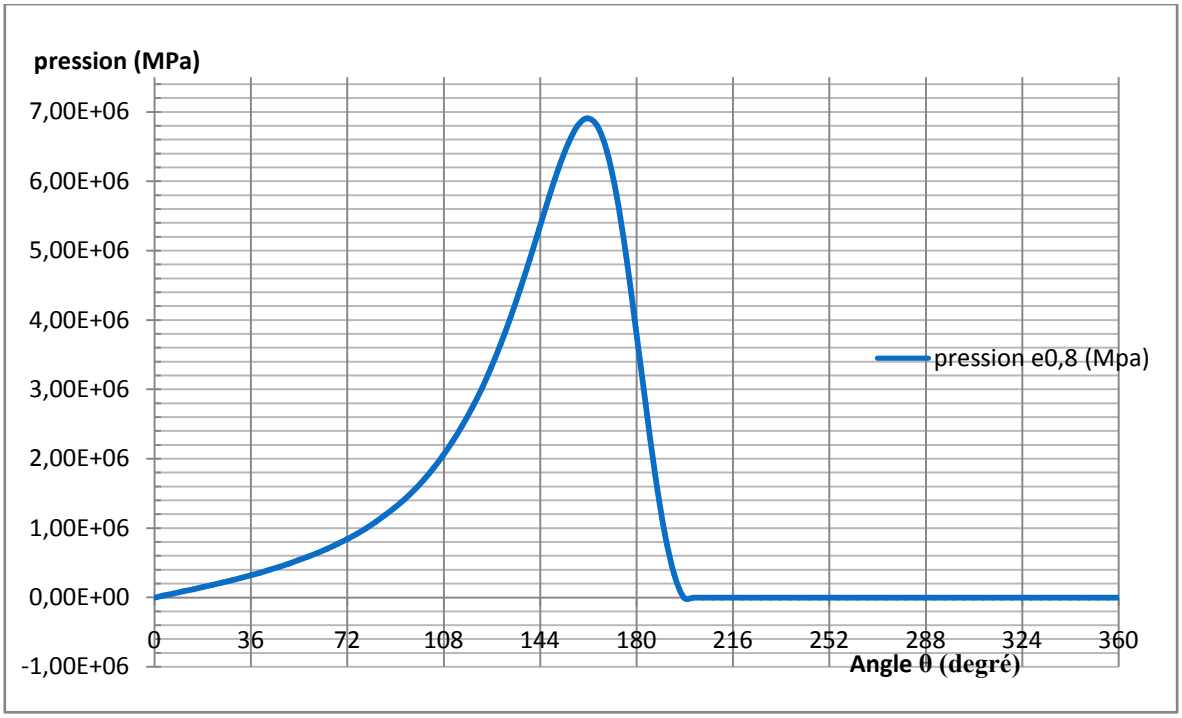


Figure IV.30 : Champ de pression d'un palier infiniment long fortement charger (L/D=1.5 et e=0.8)

On remarque ici que la pression de palier faiblement chargé très petite aux la pression de palier fortement chargé $P_{(e=0.2)\ max}=4{,}14^{e+05}<<P_{(e=0.8)\ max}=6{,}91^{e+06}$.

Le champ de pression hydrodynamique applique sur le palier de infiniment long dans le logiciel ANSYS APDL doivent maintenant apparaitre comme indiqué ci-dessous :

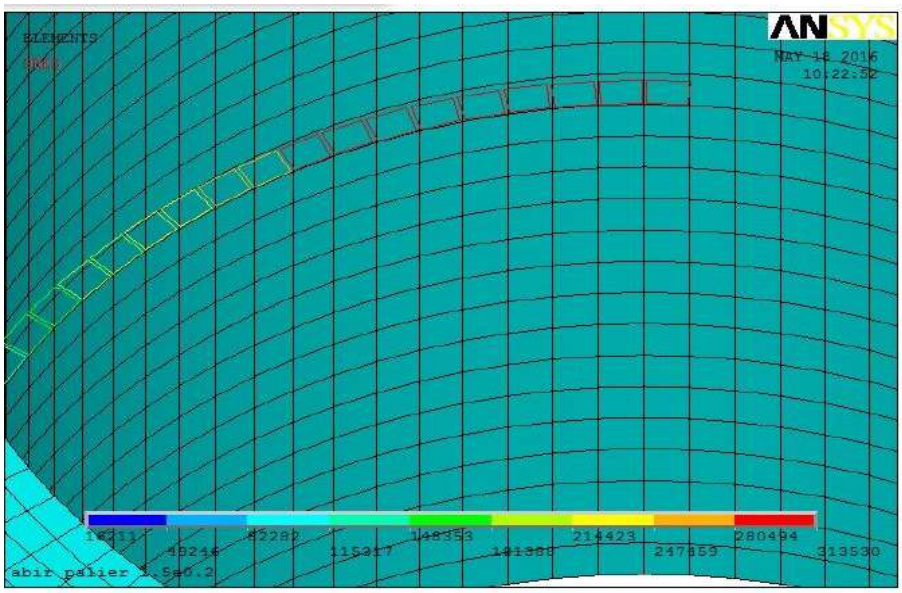


Figure IV.31 : Le champ de pression appliquée sur le palier.

C) Solution et résultat:

Ce champ de pression a été introduit dans le logiciel ANSYS APDL pour déterminer le champ de déformation élastique on obtient ainsi le schéma de la solution suivante (fig. IV.32) :

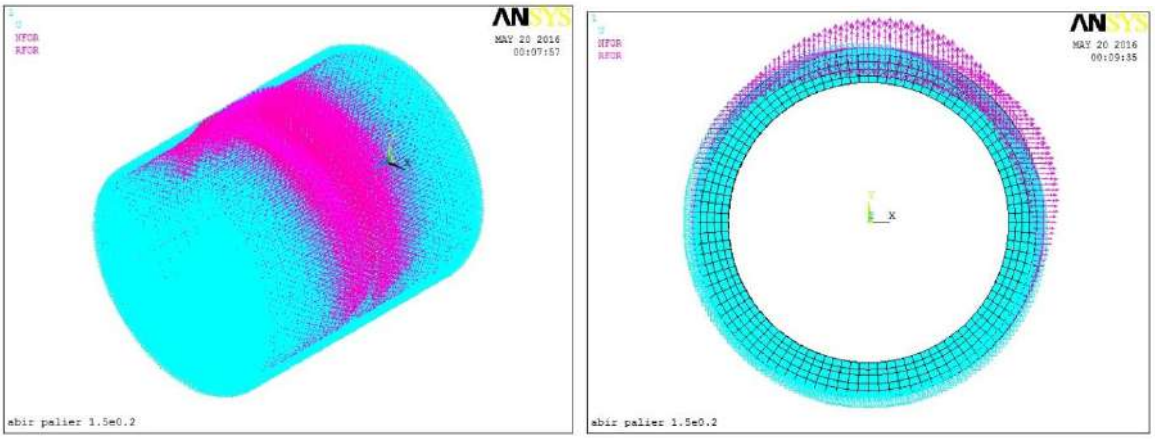


Figure IV.32: Schéma de solution sur ANSYS APDL (pour e=0.2).

Les résultats de déformations sur le tableau ci-dessous sont variés suivant l'angle θ R_i=cts Z=0.5L, pour obtenir juste la déformation radiale de palier infiniment long de rapport L/D= 1.5 faiblement/fortement charger :

angle(θ) (degré)	déformation f(x,y,z) pour e=0,2 [µm]	déformation f(x,y,z) pour e=0,8	angle(θ) (degré)	déformation f(x,y,z) pour e=0,2 [µm]	déformation f(x,y,z) pour e=0,8
0	1.1228E-5	1.9523E-5	179,7	1.1455E-3	3.0716E-2
3,6	2.6273E-5	4.6316E-5	183,3	1.0118E-3	2.5589E-2
7,2	7.4580E-5	1.3083E-4	186,9	8.7870E-4	1.9878E-2
10,8	1.5610E-4	2.8074E-4	190,5	7.4694E-4	1.4148E-3
14,4	2.4598E-4	4.5120E-4	194,1	6.1920E-4	9.0145E-3
18	3.3927E-4	6.2661E-4	197,7	4.9735E-4	4.9487E-3
21,6	4.3351E-4	8.0632E-4	201,3	3.8380E-4	2.2026E-3
25,2	5.2801E-4	9.9032E-4	204,9	2.8065E-4	8.4161E-4
28,8	6.2198E-4	1.1783E-3	208,5	1.8998E-4	3.5947E-4
32,4	7.1542E-4	1.3716E-3	212,1	1.1293E-4	1.3918E-4
36	8.0823E-4	1.5711E-3	215,7	5.1946E-5	3.7264E-4
39,6	9.0108E-4	1.7796E-3	219,3	1.8335E-5	8.4235E-6
42,9	9.9253E-4	1.9957E-3	222,9	7.4641E-6	2.6271E-6
46,5	1.0825E-3	2.2209E-3	226,5	2.6512E-6	3.0692E-6
50,1	1.1720E-3	2.4590E-3	230,1	5.0098E-7	2.9066E-6
53,7	1.2620E-3	2.7140E-3	233,7	4.2514E-7	2.5097E-6
57,3	1.3514E-3	2.9863E-3	237,3	7.5545E-7	2.0591E-6

60,9	1.4398E-3	3.2773E-3	240,9	8.0565E-7	1.6366E-6
64,5	1.5268E-3	3.5893E-3	244,5	7.3509E-7	1.2733E-6
68,1	1.6120E-3	3.9250E-3	248,1	6.2226E-7	9.7589E-6
71,7	1.6952E-3	4.2872E-3	251,7	5.0458E-7	7.3984E-6
75,3	1.7759E-3	4.6791E-3	255,3	3.9819E-7	5.5637E-6
78,9	1.8540E-3	5.1055E-3	258,9	3.0866E-7	4.1589E-6
82,5	1.9291E-3	5.5707E-3	262,5	2.3647E-7	3.0950E-6
86,1	2.0008E-3	6.0804E-3	266,1	1.7994E-7	2.2961E-6
89,7	2.0692E-3	6.6419E-3	269,7	1.3667E-7	1.7002E-6
93,3	2.1339E-3	7.2626E-3	273,3	1.0426E-7	1.2583E-6
96,9	2.1953E-3	7.9549E-3	276,9	8.0594E-8	9.3266E-7
100,5	2.2526E-3	8.7276E-3	280,5	6.3963E-8	6.9426E-7
104,1	2.3059E-3	9.5943E-3	284,1	5.3090E-8	5.2151E-7
107,7	2.3545E-3	1.0567E-2	287,7	4.7099E-8	3.9842E-7
111,3	2.3966E-3	1.1654E-2	291,3	4.5494E-8	3.1343E-7
114,9	2.4279E-3	1.2850E-2	294,9	4.8136E-8	2.5842E-7
118,5	2.4457E-3	1.4154E-2	298,5	5.5237E-8	2.2802E-7
122,1	2.4497E-3	1.5580E-2	302,1	6.7363E-8	2.1907E-7
125,7	2.4383E-3	1.7123E-2	305,7	8.5452E-8	2.3028E-7
129,3	2.4130E-3	1.8805E-2	309,3	1.1083E-7	2.6196E-7
132,9	2.3777E-3	2.0663E-2	312,9	1.4521E-7	3.1579E-7
136,5	2.3358E-3	2.2724E-2	316,5	1.9060E-7	3.9462E-7
140,1	2.2876E-3	2.4996E-2	320,1	2.4917E-7	5.0197E-7
143,7	2.2325E-3	2.7454E-2	323,7	3.2265E-7	6.4108E-7
147,3	2.1663E-3	3.0001E-2	327,3	4.1153E-7	8.1330E-7
150,9	2.0853E-3	3.2498E-2	330,9	5.1284E-7	1.0142E-6
154,5	1.9926E-3	3.4857E-2	334,5	6.1633E-7	1.2265E-6
158,1	1.8918E-3	3.6960E-2	338,1	6.9721E-7	1.4072E-6
161,7	1.7843E-3	3.8585E-2	341,7	7.0192E-7	1.4619E-6
165,3	1.6683E-3	3.9429E-2	345,3	5.2225E-7	1.1977E-6
168,9	1.5441E-3	3.9208E-2	348,9	5.7486E-7	2.2827E-6
172,5	1.4137E-3	3.7706E-2	352,5	1.4588E-6	2.2045E-6
176,1	1.2797E-3	3.4840E-2	356,1	4.4325E-6	7.6120E-6

Tableau IV.11 : Tableau de déformation radiale de palier infiniment long faiblement/fortement chargé.

On a tracé les résultat de déformation f(x,x,z) sous forme de graphe.

La figure IV.33 : représenté la déformation élastique de palier court faiblement charger (e=0.2) :

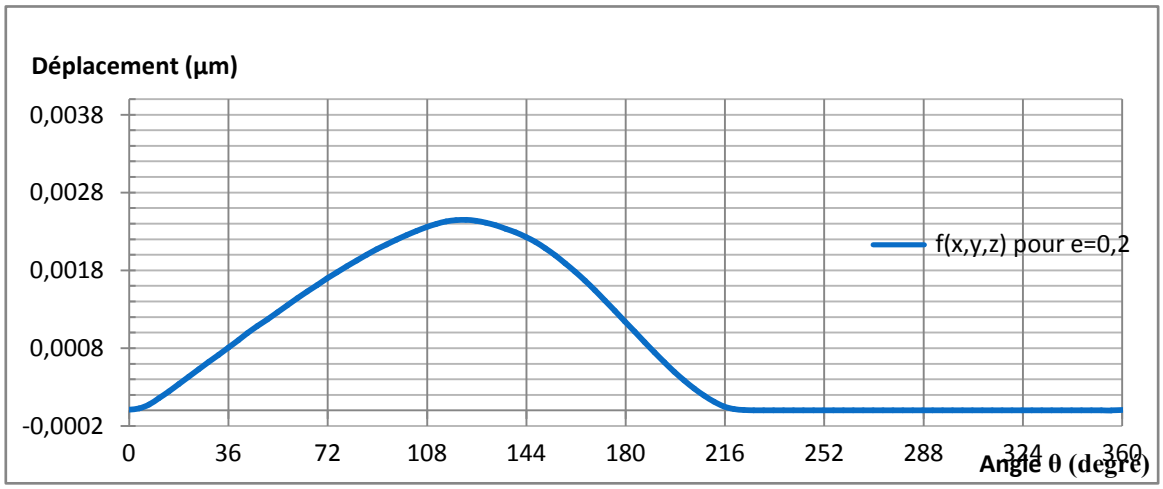


Figure IV.33 : déformation élastique du palier infiniment long faiblement charger (L/D=1.5 et e=0.2).

La figure IV.34: représenté la déformation élastique de palier court fortement charger (e=0.8) :

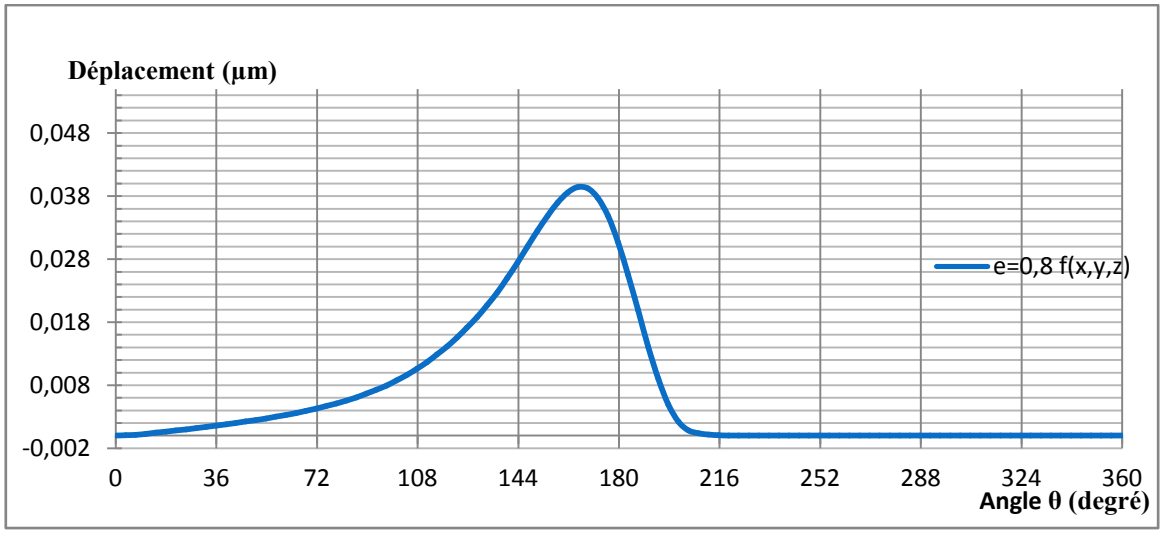


Figure IV.34 : Déformation élastique de palier infiniment long fortement charger (L/D= 1.5 et e=0.8).

D) Discussion des résultats :

On remarque que la forme de déformation radiale de la paroi de coussinet infiniment long prend la même forme que celle du champ de pression. On constate aussi que un palier long fortement charger subit des déformations importante que celui faiblement charger est aussi concentrées dans la zone du filme minimale (voir les figures IV. 34/35).

Dans le graphe de figure IV. 33, on constat que la déplacement augmente lentement dans l'intervalle $0°<\theta<122.1°$ (la déplacement maximale $f(x,y,z)= 24{,}497^{e-3}$µm) et entre l'intervalle $122.1°<\theta<219.3°$ on remarque une décroissance de la déplacement.

Le schéma ci-dessous représente les conteurs de la déformation de palier long faiblement chargé introduit dans le logiciel ANSYS APDL :

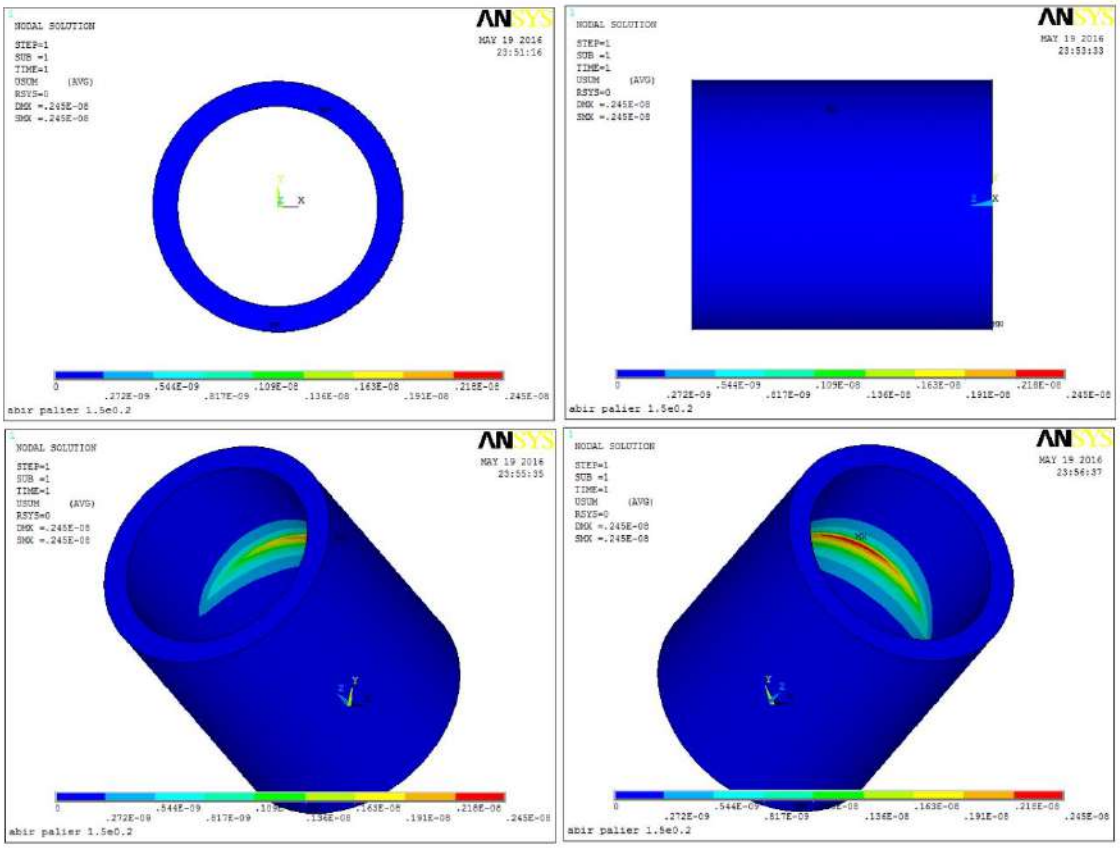


Figure IV.35 : Schéma de déformation élastique du palier infiniment long faiblement charger (L/D=1.5 et e=0.2).

Dans le graphe de figure IV.34, on constat que la déplacement augment fortement en fonction de θ entre les points angulaire 0° et 165.3° (position de la déformation maximale f(x,y,z)= 39,429^{-2}µm) dans l'intervalle 165.3°<θ<208.3° remarque une décroissante rapide.

Le schéma ci-dessous représente les conteurs de la déformation de palier long fortement chargé introduit dans le logiciel ANSYS APDL :

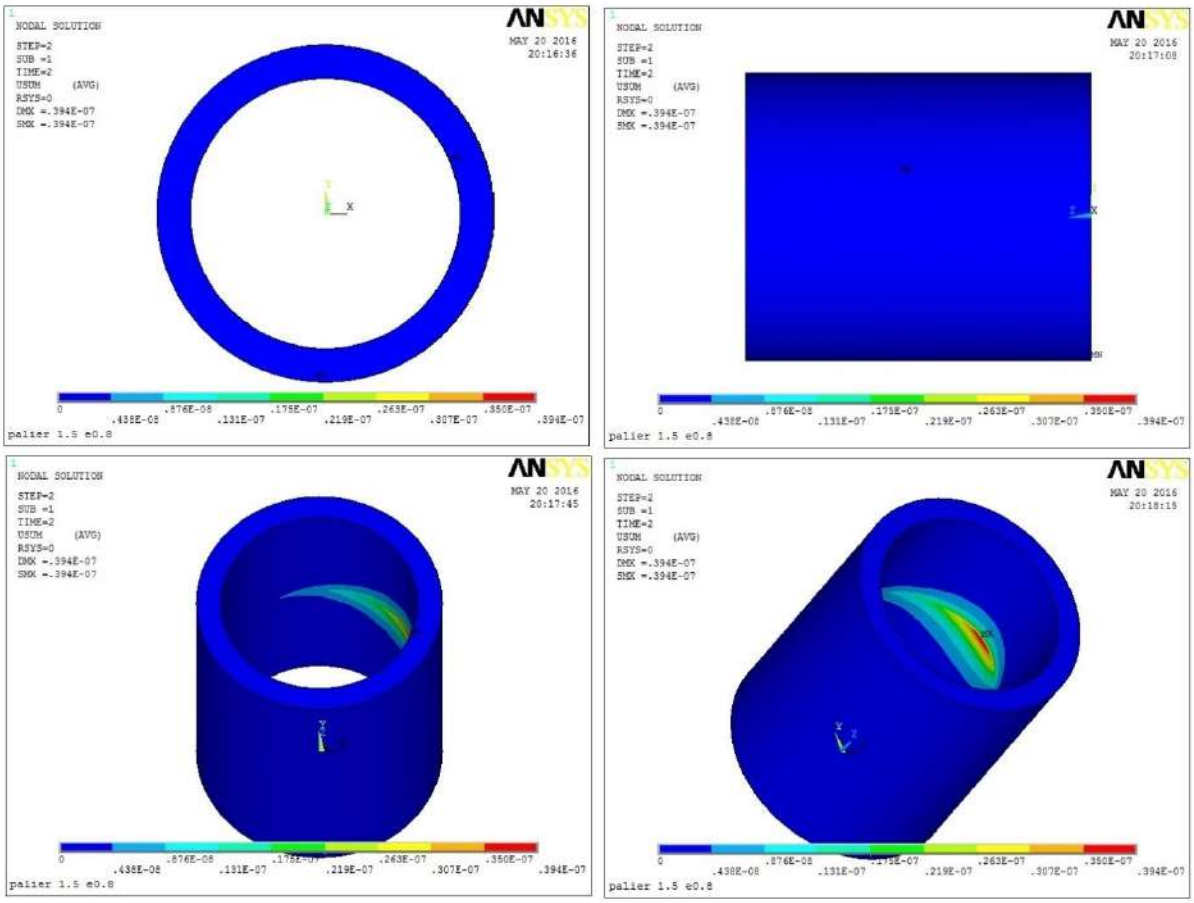


Figure IV.36 : Schéma de déformation élastique du palier infiniment long fortement charger (L/D=1.5 et e=0.8).

Après les trois exemples d'un palier court et de longueur finit et infiniment long :

On remarque que les déformations d'un palier fortement charger augmente rapidement et décroissante prés de zéro. Ceci est dû au la grande différence entre le centre de palier et le centre de l'arbre qui en retour exercer des pressions sur l'huile ce qui cause une pression énorme concentré sur palier.

On remarque, aussi que les déformations d'un palier faiblement charger n'ai pas grande comme un palier forte charger par ce que la distance entre les center de coussinet et l'arbre petite par rapport a l'autre, cela laisser l'espace et le filme d'huile no compressé pas beaucoup.

On remarque aussi que les déformations d'un palier long et importante que d'un palier court malgré la charge et grand (figure IV.35/36).

IV.4. Déformation Axiale :

La déformation d'un palier hydrodynamique est au tour du sont la surface intérieure, dans les études président cette déformation nous avons pris les résultats radiale en fonction de angle θ. Mais dans ces calcule nous allons prendre les déformations des nœuds (voir figure IV.37) en fonction de la longueur L d'un palier court, à longueur finie et long Dans la surface intérieur:

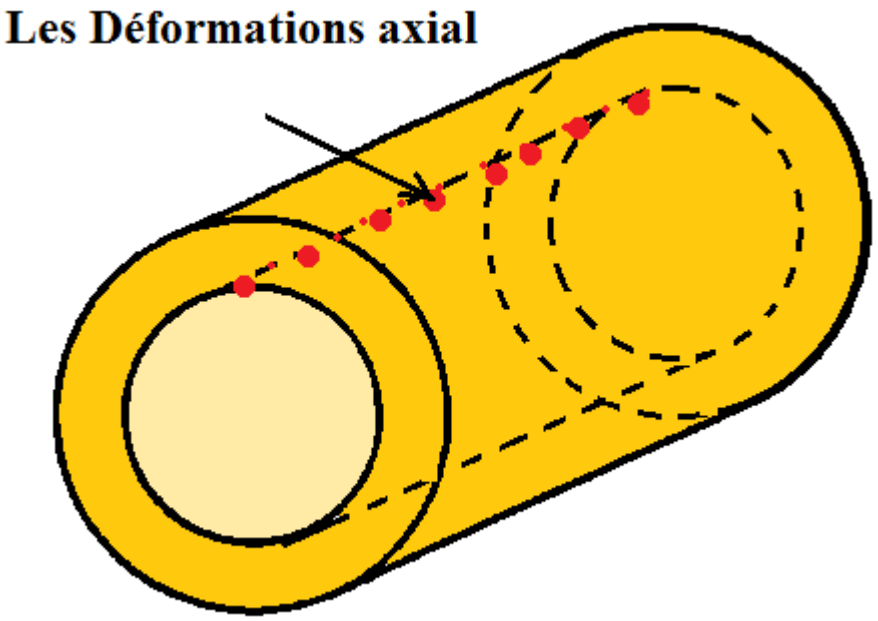


Figure IV.37 : La position de Déformation étudié.

Dans cette étude nous allons prendre les résultats de déplacements à partir l'ancienne application. Premièrement en comparé les déformations de les trois type du palier faiblement charger puis en compare les trois type d'un palier fortement charger.

Les conditions de champ de la pression toujours la même, les résultats de déformation pour les trois cas sont :

a. Les paliers faiblement chargé :

Déformation d'un palier cour faiblement chargé :

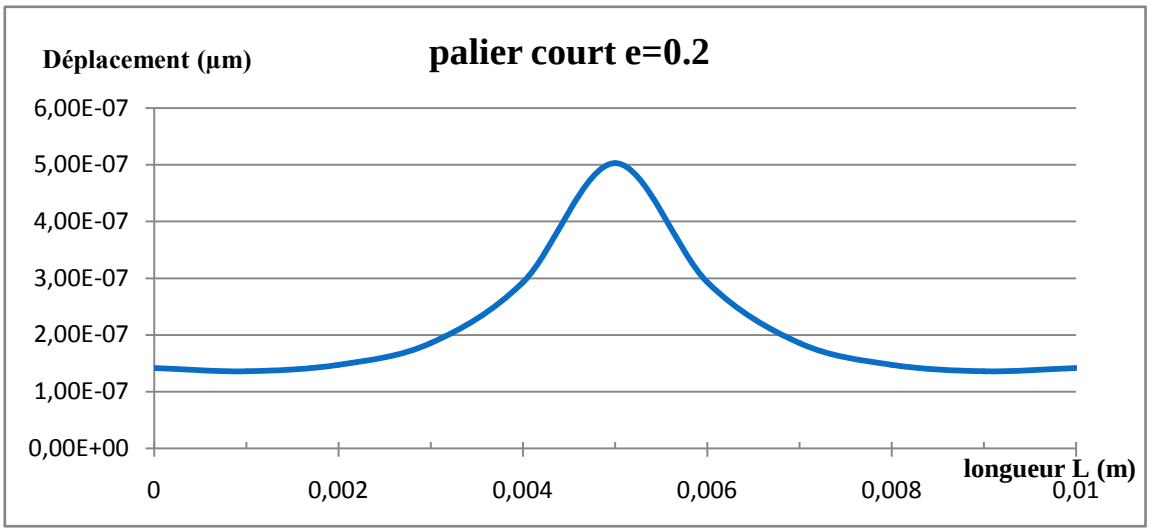


Figure IV.38 : Déplacement d'un palier court ou e=0.2.

On remarque que, les déplacements dans figure IV.38 très loin du zéro au début et à la fin de la courbe.

Déplacement d'un palier à longueur finie faiblement charger :

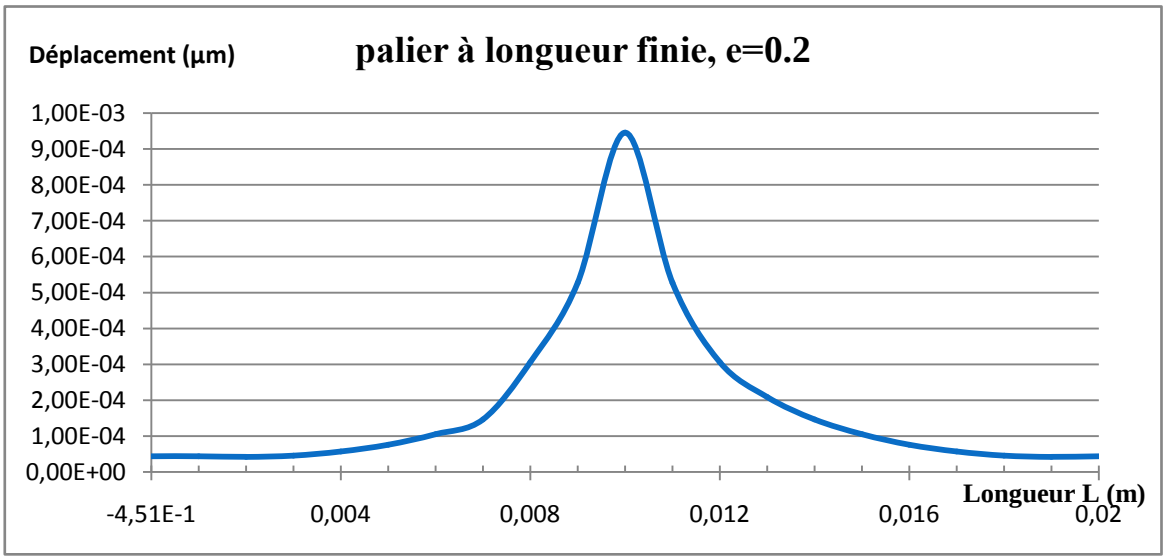


Figure IV.39: Déplacement d'un palier à longueur finie ou e=0.2.

On remarque que, les déplacements dans la figure IV.39 proche de zéro au départ et à la fin de la courbe.

Déplacement d'un palier long faiblement chargé :

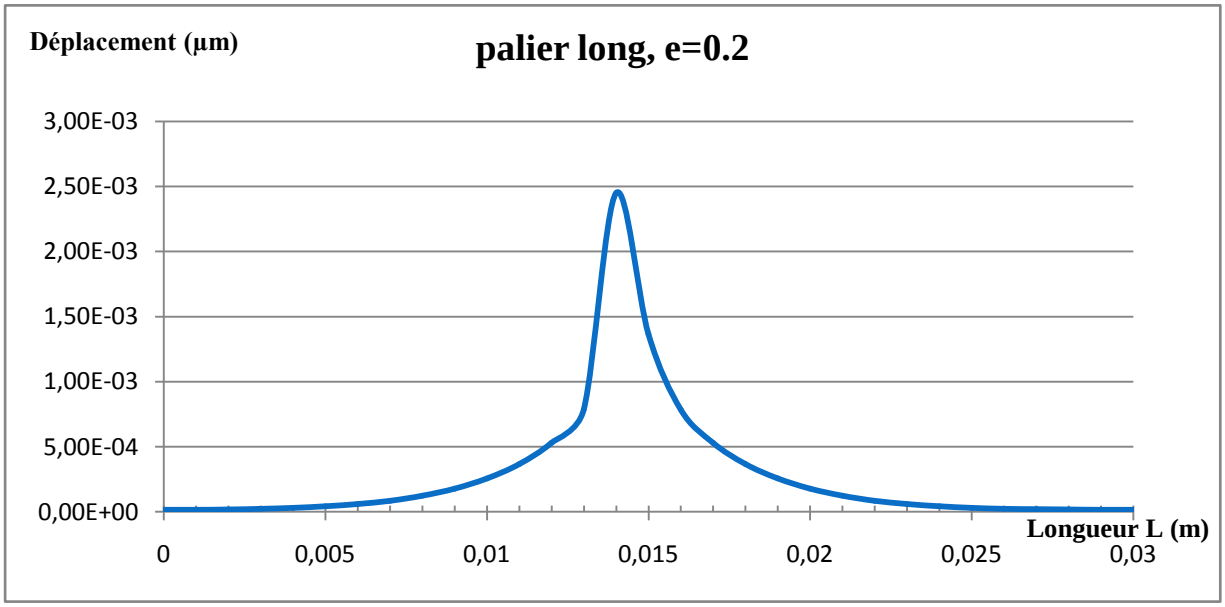


Figure IV.40 : Déplacement d'un palier long ou e=0.2.

On remarqué ici, que les déplacements et égale a zéro au départ et à la fin de la courbe

D'après les trois courbe on conclure que la déformation d'un palier long très petite aux les limites par rapport les déformations d'un palier à longueur finie et d'un palier court, qui totalement déformée.

a. Les paliers fortement chargé :

Déplacement d'un palier court fortement charger :

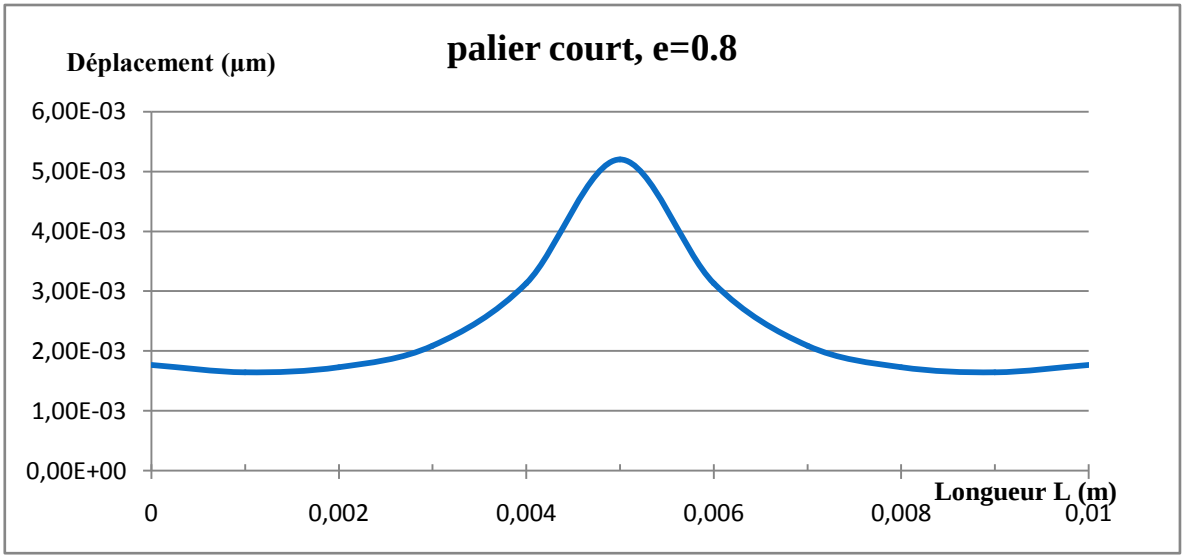


Figure IV.41 : Déplacement d'un palier court ou e=0.8.

On remarque ici, que le déplacement d'un palier fortement charger cout est le même que le déplacement d'un palier faiblement charger, très loin à zéro.

Déplacement d'un palier à longueur finie fortement charger :

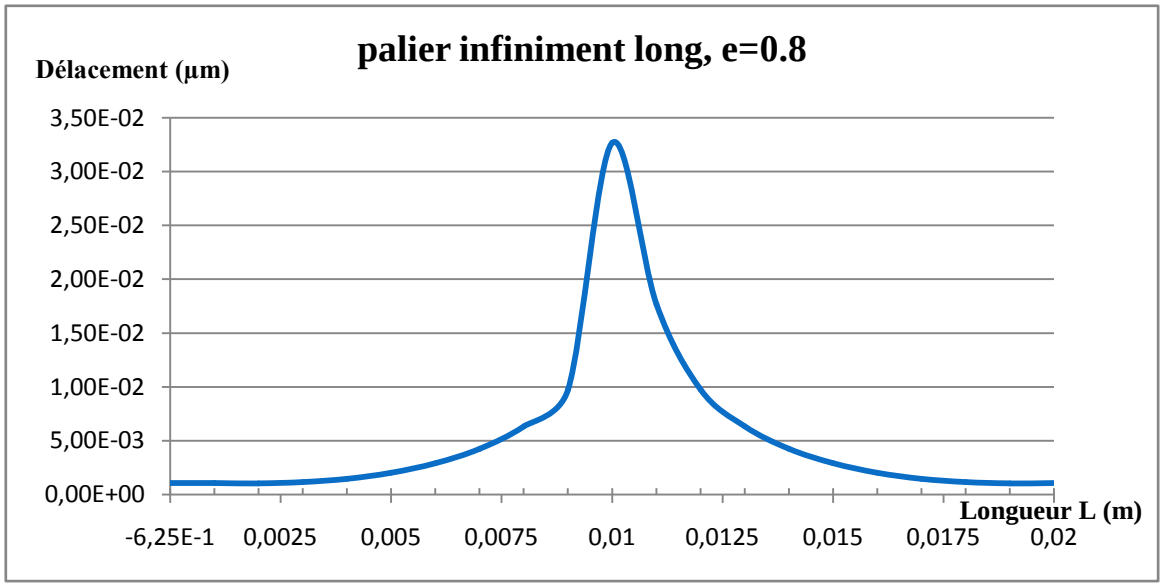


Figure IV.42 : Déformation d'un palier à longueur finie ou e=0.8.

On constat dans cette déformation que le palier à longueur finie pondre la même déformation axiale soit pour une grand charger ou une petite charge.

Déplacement d'un palier long fortement chargé :

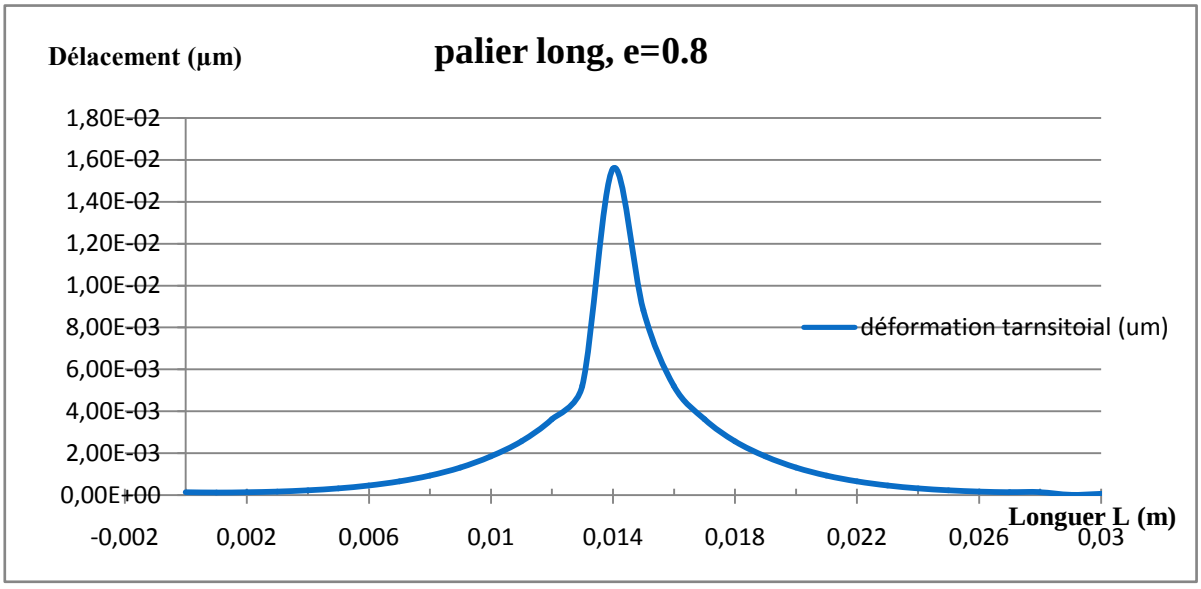


Figure IV.43 : Déplacement d'un palier long ou e=0.8.

On remarque, que le déplacement dans le début et la fin d'un palier long est zéro, et on remarque aussi qu'un palier long soumis a une grande ou faible charge no déformé a come un palier court.

IV.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, on conclure que dans les paliers hydrodynamique les déformations sont plus importante dans la zone la plus chargée. On remarque aussi que les déformations sont plus significatives pour des palies courts.

En fin, cette déformation peut affecter la forme circulaire du palier donc il faux mieux choisir le palier hydrodynamique selon son application.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

L'objectif principal de notre travail est l'étude de la déformation élastique d'un palier lisse cylindrique à graissage hydrodynamique.

Dans ce contexte nous avons traité trois types de paliers, palier court, palier à longueur finie et palier long. Deux situations ont été prise en compte pour chaque cas, celle d'un palier faiblement chargé et l'autre d'un palier très chargé.

On constate que chaque champ de pression hydrodynamique engendre des déformations importante dans le coussinet qu'on doit tenir compte pour le calcul des performances des paliers, et de prévoir la stabilité de la machine.

Aussi notre travail, nous permet d'utiliser et de fonctionner le logiciel ANSYS APDL, qui reste un outil de calcul très efficace pour le calcul des structures.

En perspective, une étude de déformation sous l'effet d'un champ de pression globale est nécessaire pour caractériser un palier hydrodynamique.

Bibliographie

Bibliographie :

[1] Jean Frêne et autre, Lubrification Hydrodynamique Palier et Butées, direction des études et recherches d'électricité, France, 1990.

[2] Virgile Optasanu, « modélisation experimental et numérique de la lubrification des paliers compliants sous chargement dynamique » thèse de doctorats, université de Poitiers, 2000.

[3] Dj.Boukhelef, cour de conception mécanique, université Dr Yahia Fares, Médéa, 2015.

[4] http://fr.wikipedia.org/wiki/Lubrification.

[5] http://fr.wikipedia.org/wiki/ANSYS.

[6] Abdallah El-Hadj, cour élément finie 2, université Dr Yahia Feras, Médéa, 2015.

[7] Georges Jean-Marie, Frottement usure et lubrification, Paris, 2000.

[8] http://fr.wikipedia.org/wiki/Lubrifiant_(mécanique).

[9] K. Zenati et H.Menacer, « Etude de déformation d'une structure axisymétrique soumis à un chargement non axisymétrique application au palier hydrodynamique » Thèse de master, université Dr Yahia Feras, Médéa, 2015.

[10] Yousef Amine Masmoudi, mémoire de magister, « Etude de l'influence de déformations élastique et des effets thermiques sur les caractéristiques du lourdement charger » thèse de magister, université Badji Mokhtar, Annaba, 2007.

[11] Meramria Wafa, « Etude de l'effet dynamique d'un palier lisse par Analyse vibratoire » thèse de magister, université Badji Mokhtar, Annaba, 2009.

[12] Vialettes J-M, Production de l'energie (hydraulique, thermique et nucléaire), Direction des études et recherche, France, janvier 1997.

[13] https://moodle.univ-tln.fr/pluginfile.php/50684/mod_resource/content/1/Les-Paliers-lisses-ou-Coussinets.pdf.

[14] Dominique Dubuis, Guidage en rotation par palier lisses et leur dérive, Lycée Margueritte Verdun.

[15] Sahli Abdelkader, Mémoire de magister, Etude expérimentale d'un palier lubrifie mesaligne, Université de Hassiba Ben Bouali, Chlef, 2011.

[16] Dj. Boukhelef, « Etude elastohydrodynamique du comportement en mode dynamique des paliers à très hautes vitesses » thèse de doctorat es sciences, UST MB, Oran, 2013.

Table des figures

Table des figures :

Chapitre I :

Figure I.1	Transport d'une statue, tombe de Tchuti Hetep, El-Bersheh, Egypte, 1880 avant J-C.	4
Figure I.2	Différent coussinets des paliers circulaire……	7
Figure I.3	Les Roulements……	7
Figure I.4	Paliers circulaire……..	8
Figure I.5	Palier a l'arc partiel……..	8
Figure I.6	Schéma représente la forme elliptique (citron)……	8
Figure I.7	Photographie d'un palier à3 patins……...	9
Figure I.8	Palier à trois lobes (symétriques et asymétriques)……	9
Figure I.9	Défirent type des régimes…….	10
Figure I.10	Schéma représente un palier hydrodynamique……	11
Figure I.11	Position des rainures axiale……..	12
Figure I.12	Palier à rainure circonférentielle……...	13
Figure I.13	Variation de la pression en fonction de la coordonnée axiale z...	14
Figure I.14	Schématisation de fonctionnement d'un palier lisse……	14
Figure I.15	courbe de Stribeck……	19

Chapitre II :

Figure II.1	Schéma d'un palier lisse hydrodynamique……..	21
Figure II.2	Géométrie d'un palier lisse circulaire……...	22
Figure II.3	Palier lisse développé……...	24
Figure II.4	Conditions aux limites de Sommerfeld……	25
Figure II.5	Conditions aux limites de Gümbel……...	26
Figure II.6	Conditions aux limites de Reynolds…….	27
Figure II.7	Conditions aux limites de rupture du film……	27
Figure II.8	Schéma représenté différent forme des éléments de maillage d'ANSYS…….	29

Chapitre III :

Figure III.1	Photographe représentera le symbole de logiciel ANSYS……...	31
Figure III.2	Photographe de ANSYS Mechanical APDL……...	34
Figure III.3	Définie le type de solution……	34
Figure III.4	Définie le type de l'élément……..	35

Figure III.5	Définie les propriétés de élément…….	36
Figure III.6	Entre le module de Young et coefficient de poissant……...	36
Figure III.7	Géométrie dessiné par l'ANSYS APDL……..	37
Figure III.8	les opérations de maillage…….	38
Figure III.9	Maillage brick d'élément de 3D……...	38
Figure III.10	Solution sur l'ANSYS APDL……..	39

Chapitre IV :

Figure IV.1	La structure et le maillage de problème axisymétrique 2D……..	42
Figure IV.2	La révolution de la structure 2D de 3D……	42
Figure IV.3	Déplacement axisymétrique du palier……..	43
Figure IV.4	Les déformations axisymétriques du palier……..	44
Figure IV.5	La position de déformation étudiée……..	45
Figure IV.6	La géométrie d'un palier court…….	46
Figure IV.7	Maillage de palier…….	46
Figure IV.8	Champ de pression d'un palier court faiblement charger (L/D=0.5 et e=0.2)……	48
Figure IV.9	Champ de pression d'un palier court fortement charger (L/D=0,5 et e=0,8)……	49
Figure IV.10	Le champ de pression appliquée sur un palier court……	49
Figure IV.11	Schéma de solution sur ANSYS APDL (pour e=0.2)……..	50
Figure IV.12	Liste de résultat de déformation……...	50
Figure IV.13	Déformation élastique de palier court faiblement charger (D/L=0,5 et e=0,2)……	52
Figure IV.14	Déformation élastique de palier court fortement charger (D/L=0,5 et e=0,8)……	53
Figure IV.15	Schéma de déformation palier court faiblement charger (e=0.2).	54
Figure IV.16	Schéma de déformation palier court fortement charger (e=0.8)...	55
Figure IV.17	La géométrie d'un palier à longueur finie……	56
Figure IV.18	Maillage du palier à longueur finie……...	57
Figure IV.19	Champ de pression d'un palier à longueur finie faiblement chargé……	59
Figure IV.20	Champ de pression d'un palier à longueur finie fortement chargé……	59
Figure IV.21	Le champ de pression appliquée sur le palier……...	60
Figure IV.22	Schéma de solution sur ANSYS APDL (pour e=0.8)……..	60
Figure IV.23	Déformation élastique de palier à longueur finie faiblement	

	charger……..	62
Figure IV.24	Déformation élastique de palier à longueur finie fortement charger……..	63
Figure IV.25	Schéma de déformation élastique du palier à longueur finie faiblement charger (e=0.2)……..	64
Figure IV.26	Schéma de déformation élastique du palier à longueur finie fortement charger (e=0.8)…….	65
Figure IV.27	la géomètre d'un palier infiniment long……..	66
Figure IV.28	Maillage d'un palier infiniment long……	66
Figure IV.29	Champ de pression d'un palier infiniment long faiblement charger (L/D=1.5 et e=0.2)……..	68
Figure IV.30	Champ de pression d'un palier infiniment long fortement charger (L/D=1.5 et e=0.8)……..	69
Figure IV.31	Le champ de pression appliquée sur le palier……..	69
Figure IV.32	Schéma de solution sur ANSYS APDL (pour e=0.2)……..	70
Figure IV.33	Déformation élastique du palier infiniment long faiblement charger (L/D=1.5 et e=0.2)……..	72
Figure IV.34	Déformation élastique du palier infiniment long fortement charger (L/D= 1.5 et e=0.8)……..	72
Figure IV.35	Schéma de déformation élastique du palier infiniment long faiblement charger (L/D=1.5 et e=0.2)…….	73
Figure IV.36	Schéma de déformation élastique du palier infiniment long fortement charger (L/D=1.5 et e=0.8)……..	74
Figure IV.37	La position de Déformation étudié……..	75
Figure IV.38	Déplacement d'un palier court ou e=0.2……..	76
Figure IV.39	Déplacement d'un palier à longueur finie ou e=0.2…….	76
Figure IV.40	Déplacement d'un palier long ou e=0.2……..	77
Figure IV.41	Déplacement d'un palier court ou e=0.8……..	77
Figure IV.42	Déformation d'un palier à longueur finie ou e=0.8……..	78
Figure IV.43	Déplacement d'un palier long ou e=0.8……	78

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau.VI.1	Tableau de propriété du palier…….	41
Tableau IV.2	Tableau de déplacement axisymétrique dans chaque nœud…	43
Tableau.VI.3	Tableau de géomètre d'un palier……..	45
Tableau. IV.4	Tableau de champ de la pression applique sur le palier court.	47
Tableau IV.5	Tableau de déformation radiale de palier court faiblement/fortement chargé……	51
Tableau IV.6	Tableau de géomètre d'un palier……..	56
Tableau IV. 7	Tableau de champ de pression applique sur un palier à longueur finie……...	57
Tableau IV.8	Tableau de déformation radiale de palier à longueur finit faiblement/fortement chargé……	61
Tableau.VI.9	Tableau de géomètre de palier…….	65
Tableau IV.10	Tableau de champ de pression applique sur le palier infiniment long (L/D=1,5)……...	67
Tableau IV.11	Tableau de déformation radiale de palier infiniment long faiblement/fortement chargé…….....	70