République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De l'enseignement Supérieur et La Recherche Scientifique

Université YAHIA FARES de MEDEA

Faculté De Technologie

Département Génie Mécanique



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

Option : Conception Mécanique

Determination de la déformation d'un palier sous l'effet d'un champ de pression hydrodynamique global en utilisant le logiciel ANSYS APDL

Présenté par :

- **Benkhorchef Lamia**
- **Yanes Safia**

Proposé et dirigé par :

Dr. Djilali BOUKHELEF

Année universitaire : 2016-2017

Remerciment

Avant d'ouvrir ce projet nous tenons tout d'abord à remercier allah qui nous a aidé à compléter ce travail et nous a donner la force et le courage.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Dr.boukhelef djilali pour qu'il n'ait cessé de nous prodiguer tout au long de la période de projet.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien accepté d'examiner ce travail.

A tous les enseignants qui nous ont aidé dans ce projet (Dr. Bentchikou, Dr. Rebhi, Dr. Alliche, Dr. Tablnhas ,Dr.Youssfi).

Nous tenons a remercie m^{elle} Bentiba Abir

Tous les enseignant de université Dr. Yahia fares faculté science technologie et surtout département de génie mécanique.

Et tous ceux qui nous a aidé, prés aux de loin.

Merci à tout

Dédicace

A l'esprit de mon père

A ma mère mon soutien

A ma deuxième mère(ma sœur fatma) merci pour tout ce que vous avez fait pour nous.

A mon seul frère houssam

A mes sœurs Manal, Fouzia et son mari Mohamed et leurs enfants (Imane, Nadjib, Rimas).

A ma tante Nafissa et la famille Hraoua

A ma tante Soumia hamla ,mon oncle Djalloul et leurs enfants.

A mon cousin Foudil et sa femme et leurs enfants

A ma grand mère

A ma chère amie Yousfi Halima et ma chère cousine Mounira.

A ma coupine Yanes Safia

A mes amis (Khadidja, Ahlam , Amal).

La famille: Benkhorchef et Bouzara

Et tous mes amis qui ne sont pas mentionnés

Ben khorchef Lamia

Dèdicace

Je dédie ce travail

A Mon défunt frère kamel que le destin ne lui a pas permis de vivre cet instant tant souhaité et quin'a pas pu voir ce que je suis devenue.

A mes très chères parents pour toute l'affection, tendresse et l'attention qu'ilsm'ont témoignéset les sacrifices qu'ils ont bien voulume consentir pour la réussite dans mes études.

A mon très chère mari Amine messaoudi et sa famille.

A mes très chers frères: Amine, Rayen et Ramzi.

A mon frère khaled et sa femme et ses enfants: Adem ,Amina.

A toute la famille: Yanes et ouzal.

A mes amis proches: Amel, lamia.

A tous mes amis de la promotion de Génie Mécanique.

YANES SAFIA

Résume :

Le comportent d'un machine tournant dépend essentiellement des paliers ce qui donne l'importance à l'étude de perfermance de ces dernier.

Dans ce contexte, ce travail traite la déformation élastique d'un palier sous l'éffet de pression hydrodynamique.

Les mots clé :

Palier lisse, déformation élastique, lubrification hydrodynamique

summary

The behavior of a rotating machine depends essentially on the bearings which gives importance to the study of perfermance of the latter In this context, this work deals with theelastic deformation of a bearing under hydrodynamic pressure.

key words:

Plain bearing, elastic deformation, hydrodynamic lubrication

ملخص

سلوك آلة الدورية يعتمد أساسا على المحامل التي تعطي أهمية لدراسة اداء هذا الأخير.

و في هذا السياق، هذا العمل يعالج تشوه مرن لمحمل تحت الضغط الهيدروديناميكي.

الكلمات الرئيسية:

محمل عادي، تشوه مرن، تزييت الهيدروديناميكية

Table des matières :

Table des figures……..

Liste des tableaux……

Introduction générale…….. 6

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction……... 9

I.2. Historique…….. 9

I.3. Les paliers lisses …….. 16

I.3.1. Introduction …….. 16

I.3.2. Classement des paliers lisses …… 17

a) selon la forme géométrique …….. 17

1. La forme circulaire (coussinet à portée 360)…… 17
2. Palier à arc partiel……..... 17
3. Forme elliptique (citron)…….. 18
4. A patin oscillants…… 18
5. A lobe …….. 19

b) selon le type de lubrification ……... 19

1. Palier à régime sec ……... 19
2. Palier à régime onctueux ……..... 19
3. Palier à régime hydrostatique …….. 19
4. Palier à gaz …….. 19
5. Palier à régime hydrodynamique ……..... 19
6. Palier magnétiques ……... 20

c) selon leurs diamètres …… 20

1. Palier court ……... 20
2. Palier infiniment long …….. 20
3. Palier de longueur finie…….. 20

I.3.3. les paliers lisses cylindriques hydrodynamiques ……... 21

I.3.4. Principe de fonctionnement du palier …….. 21

I.3.5. Mode d'alimentation des paliers lisses…….. 22

A) Rainures axiales……..…… 22)

B) Rainure circonférentielle……... 23

I.3.6. Les avantages et Les inconvénients des paliers lisses ……. 25
A) Les avantages……..……. 25
B) Les inconvénients……..……. 25
I.4. lubrifiant ……... 25
I.4.1. Composition des huile de lubrifiantes…….. 25
a) Les huiles à base minérale……. 26
b) Les huiles à base semi- synthétique…… 26
c) Les huiles à base synthétique…… 26
d) Les additifs ……... 26
I.4.2. Caractéristiques principales des lubrifiants liquides……..... 26
a. Les propriétés des lubrifiants……..…… 26
1. La viscosité……..……...…… 26
2. L'indice de viscosité……...…… 27
b. Classification viscosimétrique……..…… 27
1. Le point d'écoulement……...……...…… 27
1. Le point d'éclaire……...……...…… 27
I.4.3. Fluide newtonien …….. 27
I.4.4.Fluide non-newtonien …… 28
I.5.Les types de lubrification ……..... 28
I. Lubrification limite…… 28
II. Lubrification mixte ……... 28
III. Lubrification hydrodynamique ……..... 28
IV . Lubrification élastohydrodynamique (EHD)……..... 29
I.6.Conclusion ……. 29

Chapitre II : Présentation des problèmes

II.1. Introduction……..... 31
II.2. les caractéristiques géométriques d'un palier lisse…….. 31
II.3. Equation de Reynolds……. 32
II.4.Conditions aux limites de Reynolds …… 33
II.5. Conclusion …….. 34

Chapitre III : Etude Numérique

III.1. introduction ……..……. 36
III.2. Présentation du logiciel……..…… 36
III.2.1. Définition du logiciel……..…… 36
III.2.2. Aspects techniques……..……... 37
III.2.2.1. principaux produits……..……. 37
III.2.2.2 Environnements logiciels …… …… …… 37
III.3.Mèthode de Calcul……..……..…… 38
1.Difinir lèlèment type…… ……. 40
2.Les propriètès du matèriau de l'èlèment …… 41
3. Difinir les propriètès gèomètriques…… 42
4. Maillage……. 42
5. Appliquation de forces ……..……... 43
6. Solution ……..…. 43
III..4. Conclusion. ……..…… …… 44

Chapitre IV : Modèlisation

IV.1.Itroduction ……..…… 45
IV.2.Propritès de matieriaux…… 46
IV.3.Dèformation radial …… 46
a. Palier court L/D=0.5……. 47
b. 1. Palier longueur finie L/D=0.1…… 47
c. Palier infiniment long L/D=0.15……. 47
a). Maillage……. 48
b). Application ……..…….... 52
c). Solution et rèsultat …….. 54
IV.4. Conclusion. ……..…… 56

Chapitre V : Rèsultat et Discution

V.1.Itroduction…… 58
V.2.Application ……..…… 58

1. Palier court L/D=0.5……..…… 58
a) Discussion des résultats…… 60
b) Discussion des résultats…… 63
c) Discussion des résultats…… 64
2. Palier de longueur finie L/D=1.…….. 64
a.les paliers faiblement chargée 0.2 …… 65
b.les paliers fortement chargée 0.8 …… 66
a) Discussion des résultats…… 67
a.les paliers faiblement chargée 0.2 …… 68
b.les paliers fortement chargée 0.8 …… 70
a) Discussion des résultats…… 72
b) Discussion des résultats…… 73
c) Discussion des résultats…… 73
3. Palier infiniment long L/D=1.5……. 74
a)Discussion des résultats……. 74
b) Discussion des résultats……. 76
c) Discussion des résultats……. 78
d) Discussion des résultats……. 79
VI. Discussion gènèrale ……..… 79
V. Conclusion..... 80
Conclusion Général…….. 82
Bibliographie……... 84

Table de figure :

Chapitre I

Figure.I.1 : Transport d'une statue, tombe de Tchuti Hetep, El- Bersheh, Egypte, 1880 avant J-C[5] 10
Figure.I.2 : Dessins du domaine de la tribologie illustrant les expériences de Leonardo da Vinci sur le frottement.[2] 11
Figure.I.3 : Le modèle de la rugosité du frottement de Coulomb. La force normale FN est distribuée sur les élévations du même angle d'inclinaison. [2] 13
Figure .I.4 : les roulements. 16
Figure .I.5 : les paliers lisses. 17
Figure .I.6 : paliers circulaire 17
Figure .I.7: Palier a l'arc partiel. 18
Figure I.8 : Palier elliptique. 19
Figure .I.9: Photographie d'un palier à3 patins. 19
Figure .I.10: Palier à trois lobes. 20
Figure .I.11 : les déférents types des régimes. 21
Figure .I.12: Schéma représente un palier hydrodynamique. 22
Figure .I.13: Schématisation de fonctionnement d'un palier lisse. 23
Figure .I.14: Position des rainures axiale. 24
Figure .I.15: Palier à rainure circonférentielle. 25
Figure .I.16: Variation de la pression en fonction de la coordonnée axiale z 25
Figure .I.17 : courbe de Steinbeck. 30

Chapitre II

Figure .II : schéma d'un palier lisse hydrodynamique. 31
Figure .II: Géométrie d'un palier lisse circulaire. 32
Figure .II : Condition aux limites de Reynolds. 34
Figure .II : Conditions aux limites de rupture du film. 34

Chapitre III

Figure .III.1 : photographe représente le symbole de logiciel ANSYS. 36
Figure .III.2 : le premier page de l'ANSYS APDL. 38
Figure .III.3 : fichier Start new. 39

Figure .III.4 : change le titre. 39
Figure .III.5 : définie le type de solution 40
Figure .III.6: Définie le type de l'élément. 40
Figure .III.7 : Définie les propriétés de élément. 41
Figure .III.8 : Entre le module de Young et coefficient de poissant. 41
Figure .III.9 : Géométrie dessiné par l'ANSYS APDL. 42
Figure .III.10 : les opérations de maillage. 42
Figure .III.11 : Maillage brick d'élément de 3D. 43
Figure .III.12 : Solution sur l'ANSYS APDL.[44

Chapitre IV

Figure.IV.1 : La position de Déformation étudié. 47
Figure.IV.2: La géométrie d'un palier court 1 48
Figure.IV.3:represente le maillage. 49
Figure.IV.4: Maillage de palier1. 50
Figure.IV.5: Maillage de palier2. 50
Figure.IV.6: Maillage de palier3. 50
Figure.IV.7 : La révolution de la structure de 3D de palier 1. 51
Figure.IV.8 : La révolution de la structure de 3D de palier. 51
Figure.IV.9 : La révolution de la structure de 3D de palier 3. 51
Figure.IV.10 : Le champ de pression appliquée sur les palier court1. 52
Figure.IV.11 : Le champ de pression appliquée sur les palier court2. 53
Figure.IV.12 : Le champ de pression appliquée sur les palier court3. 53
Figure.IV.13: Schéma de solution sur ANSYS APDL 1. 54
Figure.IV.14: Schéma de solution sur ANSYS APDL2. 54
Figure.IV.15: Schéma de solution sur ANSYS APDL3. 55
Figure.IV.16 :Liste de résultat de déformation 1. 55
Figure.IV.17 :Liste de résultat de déformation 2. 55
Figure.IV. 18 : Liste de résultat de déformation 3. 56

Chapitre V

Figure.V.1 : Champ de pression axial d'un palier court faiblement charger (L/D=0.5 et e= 0.2). 65

Figure .V.2 : Champ de pression radial d'un palier court faiblement charger 60
Figure.V.3 : Déformation élastique radial sur chaque éléments du palier court faiblement charger (D/L=0,5 et e=0,2).....62
Figure.V.5 : Déformation élastique axial de palier court faiblement charger (D/L=0,5 et e=0,2).63
Figure.V.4 : Déformation élastique radial sur millieux du palier court faiblement charger 63
Figure.V.6: schéma de déformation élastique du palier à court faiblement charger(e=0.2).....64
Figure.V.7 : Champ de pression axial de palier à longueur finie faiblement charger e=0.2. 66
Figure .V.8: Champ de pression radial de palier à longueur finie faiblement charger e=0.2. 66
Figure.V.9: Champ de pression axial de palier à longueur finie e=0.8. 68
Figure.V.10: Champ de pression radial de palier à longueur finie e=0.8. 68
Figure.V.11: Déformation élastique sur chaque élement radial de palier à longueur finie faiblement charger (D/L=1et e=0,2) 70
Figure.V.13 : Déformation élastique axial du palier à longueur finie faiblement charger (D/L=1et e=0,2). 72
Figure.V.14: Déformation élastique radia élement du palier à longueur finie fortement.....73
Figure.V.15 : Déformation élastique radial sur chaque élement du palier à longueur finie fortement(D/L=1et e=0,8).....73
Figure.V.16: Déformation élastique axial du palier à longueur finie fortement charger (D/L=1et e=0,8) 74
Figure.V.17: schéma de déformation élastique du palier à longueur finie faiblement charger(e=0.2).....75
Figure.V.18: schéma de déformation élastique du palier à longueur finie fortement charger(e=0.8). 75
Figure.V.19: Champ de pression axial de palier à long e=0,2. 77
Figure.V.20: Champ de pression radial de palier à long e=0,2. 77
Figure.V.21: Déformation élastique radial sur chaque élement du palier à long fortement 79
Figure.V.22 : Déformation élastique radial du palier à long fortement 80
FigureV.23: Déformation élastique axial du palier à long fortement charger 80
Figure .V.24: schéma de déformation élastique du palier à long fortement charger(e=0.2). 81

Chapitre IV

Tableau .IV.1 : Tableau de propriété de palier.....46

Tableau .VI.2 : Tableau de géomètre des paliers. 47

Chapitre V

Tableau 1.V.1 : Tableau de champ du pression applique sur le palier court 59

Tableau 2.V.2 : Tableau de déformation du palier court faiblement/fortement charge 61

Tableau 3 .V.3: Tableau de champ de pression applique sur un palier à longueur finie (e=0.2)....65

Tableau 4 .V.4: Tableau de champ de pression applique sur un palier à longueur finie (e=0.8). .67

Tableau 5 .V.5 : Tableau de déformation de palier à longueur finie faiblement charge e=0.2.....69

Tableau 6 **.V.6 :** Tableau de déformation de palier à longueur finie e=0.8. 71

Tableau 7 .V.7: Tableau de champ de pression applique sur un palier à long(e=0.2). 75

Tableau 8 V.8: Tableau de deplacement applique sur un palier à long (e=0.2).....78

Introduction générale :

L'application des machines tournantes en génie mécanique est très vaste(Les moteur électrique ou a combustion interne, les turbines et la plupart des machines génératrices ou réceptrice…). Ces derniers se composent de deux parties le premiere mobile s'appelle le rotor et la deuxième fixe s'appelle le stator.

Le rotor et le stator sont relier par des éléments spéciales facilitant le mouvement relative et sert principalement à réduire le frottement appelés les paliers.

Ce son des organes des machines utilisés pour guider les arbres en rotation.

On distingue deux grandes familles des paliers, les paliers lisses et les paliers à roulements. Dans les premiers types, l'arbre prend appui sur un coussinet et est séparé de celui-ci par un film lubrifiant ; dans les seconds, des corps roulants (billes ou rouleaux) séparent la bague en rotation de l'alésage extérieur.

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

Le premier chapitre présente une étude bibliographique, l'évolution de la tribologie et les types de palier et le lubrification.

Dans le deuxième chapitre, on a exposé le problème traité, une expliquation de la théorie de la lubrification ainsi que les équations de déformation et les caractéristiques géométriques d'un palier lisse.c

Le troisième chapitre donne une présentation du logiciel qui nous avons utilisé dans ce travail (ANSYS APDL) et aussi un petit exemple pour expliquer la méthode de travail.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons quelques exemples d'utilisation du logiciel l'ANSYS pour trouver le résultat et ainsi fait une comparaison entre les trois paliers avec changement de la longueur.

Le dernier chapitre est consacré a la présentation des tableaux de pression hydrodynamique ainsi que courbes illustrât les déformations et les déplacements sur un palier lisse et aussi on fait des comparaisons entre les trois types de palier.

I.1.Introduction :

La **tribologie** est un nom du grec ancien τρίβος « frottement » et λόγος, « science, étude ».

C' est la science qui étudie les phénomènes susceptibles de se produire entre deux systèmes matériels en contact, immobiles ou domaines du frottement, de l'usure, de l'étude des interfaces et de la lubrification .

Ce terme désigne aussi la discipline psycho-physiologique qui étudie comment les êtres vivants perçoivent les frottements dont ils sont le siège et les vibrations qui en résultent. [1]

I.2 Historique :

Les premiers utilisateurs de la technique de paliers lisses sont les égyptiens et les sumériens ; ils se trouvent affrontés au problème de transport des grandes pierres pour construire les pyramides. **[2]**

Il en existe de nombreux exemples **:**

- de simples paliers pour faire du feu et pour effectuer des forages à l'aide de mouvements de rotation
- des tours de potier avec du bois et des paliers en pierre
- des coussinets avec des passants en cuir pour des véhicules à rouleaux et à roues
- l'utilisation de lubrifiants comme l'huile, la graisse et l'eau
- la construction de traîneaux pour transporter des pierres lourdes

Les Sumériens utilisaient déjà il y a près de 3 000 ans des passants en cuir et des fourches comme paliers pour les axes fixes de leurs chariots. Des trouvailles prouvent que de tels points de frottement étaient lubrifiés pour diminuer le frottement et en même temps l'usure.

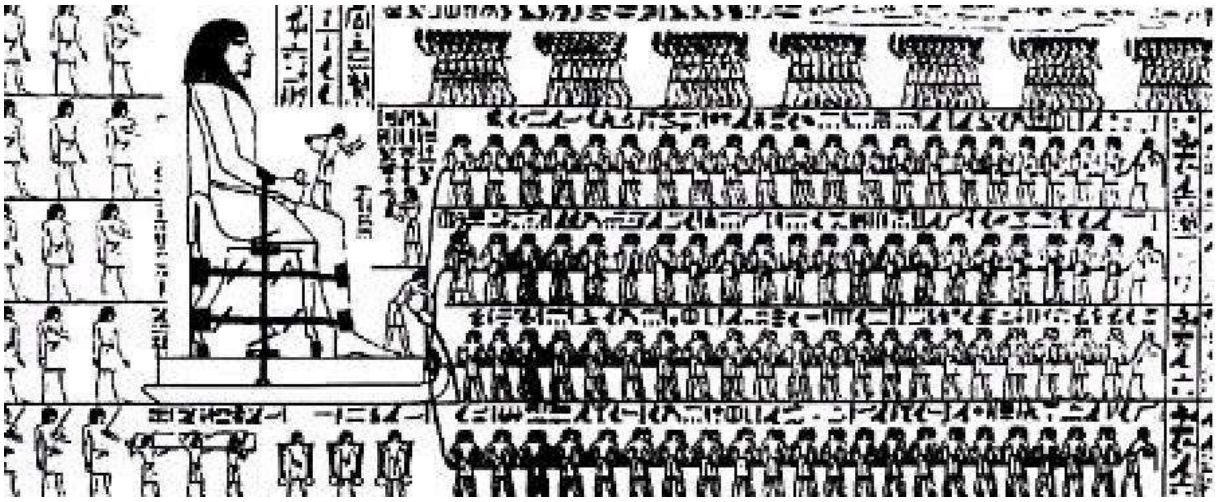


Figure I.1 : Transport d'une statue, tombe de Tchuti Hetep, El- Bersheh, Egypte, 1880 avant J-C [5]

2000 av .J.-C Tout marchent mieux quand c'est lubrifié. Les Égyptiens en étaient déjà conscients.

Le support du trône du Pharaon était mouillé avec de l'huile d'olive. La diminution du frottement permit d'épargner 50 % du personnel.

Dans les époques suivantes, on recourt comme auparavant surtout aux huiles végétales et animales en tant que lubrifiant et agent anti-usure. Mais on peut également supposer que le bitume (pétrole émergeant du sol) était utilisé, comme déjà dans l'Antiquité.

330 av .J.-C.l'ingénieur grec Diades développa peut-être un des premiers paliers à roulement qui servirent de paliers pour les béliers des navires de guerre.

Les Romains 50 av .J.-C. jusqu'à 50 ap .J.-C.: les restes d'un plateau tournant provenant d'un navire de l'empereur Caligula, trouvés vers 1930 au fond du lac Nemi, prouvent que ces paliers rudimentaires étaient déjà utilisés dans l'Antiquité.

Ce plateau peut être considéré comme un des premiers exemples de paliers de poussée, c'est-à-dire un palier destiné à absorber des charges directes et qui tourne sur son axe propre. **[2]**

« Les sciences mécaniques sont les plus nobles et les plus utiles d'entre toutes, car par leur biais tous les corps animés exécutent l'opération pour laquelle ils ont été conçus ».

Une étude scientifique du sujet commença seulement dans l'histoire plus récente, à commencer par Léonard de Vinci qui se consacra au frottement autour de 1500 en étudiant le coefficient de frottement (coefficient d'adhérence) sur un plan incliné. De Vinci calcula la valeur du coefficient de frottement par f = ¼ et il formula les lois du frottement sec.

De Vinci a analysé le frottement sur un plan horizontal et incliné et l'usure selon Léonard de Vinci.

En 1490, il remplaça le raccordement mobile entre deux pièces d'un palier à roulement presque exclusivement par un frottement de roulement plus faible. Il utilisa alors des billes.

Il en déduisit que le frottement est moins fort si les billes ne se touchent pas.

Il développa alors des éléments de séparation permettant aux billes de se déplacer librement. **[2]**

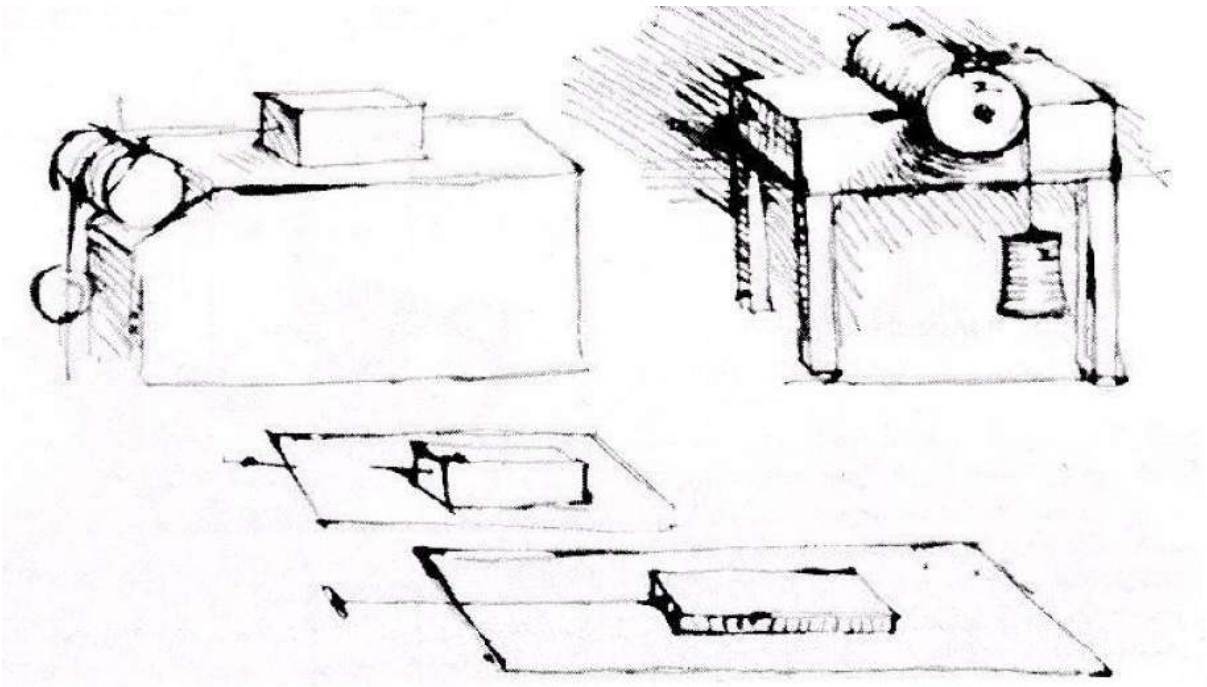


Figure I.2 : Dessins du domaine de la tribologie illustrant les expériences de Leonardo da Vinci sur le frottement.[2]

Du 15éme jusqu'au 16éme siècle la Renaissance est considérée comme le véritable début de la tribologie. Les découvertes fondamentales concernant le frottement et l'usure ne menèrent cependant à aucun nouveau développement dans le domaine des lubrifiants.

1663-1705Guillaume Amontons était un physicien français et gouverneur de Lille.

Il mena des recherches dans le domaine du frottement mixte et il constata que la force de frottement dépend de la force normale et que la rugosité de surface doit être considérée comme source de frottement.

Amontons attribua le frottement à des causes mécano-géométriques dans le sens d'un « engrenage » d'inégalités. Cette théorie d'engrenage énonce : le procédé d'accouplement mécanique des éminences freine le mouvement relatif. Il en résulte une force de frottement dans le sens opposé au sens du mouvement. Amontons détermina le coefficient de frottement par f = 1/3.

Les deux lois d'Amontons constituent la base de la compréhension empirique de la tribologie (loi du frottement). Il les a redécouvertes en 1699, il les présenta à l'Académie Royale à Paris. C'est en fait Léonard de Vinci (1452-1519) qui les avait découvertes environ deux cents ans auparavant.

Selon ces lois, la force de frottement est proportionnelle à la force normale et indépendante de la surface de contact apparente. En outre, il faut prendre en compte que la force de frottement ne dépend pas seulement de l'adhérence, mais également de l'abrasion. L'influence de l'abrasion est notamment très forte si le partenaire de contact consiste en un matériau plus dur ou si des résidus d'abrasion sous forme de particules de métal dures et oxydées se trouvent au point d'assemblage.

John Theophilius Desaguliers était un philosophe naturaliste né en France.

Desaguliers développa un modèle pour expliquer le frottement et il attribua le frottement à l'influence de la cohérence ou de l'adhérence.

Desaguliers (1683-1744) présenta un nouvel aspect : il constata que les forces de frottement sont plus élevées lors de surfaces plus polies et il montra aussi que deux corps en plomb bien polis et pressés fortement l'un contre l'autre peuvent uniquement être séparés par une force d'une intensité surprenante : il reconnut ainsi la signification de l'adhérence ou de la Cohérence pour le processus du frottement, mais il n'arriva pas encore à concilier son idée avec les lois quantitatives du frottement.

Newton définit la viscosité la théorie de l'adhérence ou bien la supposition d'une cause moléculaire-mécanique pour le frottement apparut lorsque NEWTON (1687) définit le Paramètre de matériau de la viscosité dynamique. Cette définition est fondée sur l'idée d'une cause moléculaire-mécanique du frottement.

1707-1783Euler étudia le frottement sur un plan incliné et il constata que le frottement d'adhérence est environ deux fois plus élevé que le frottement de glissement. En outre, il introduisit le coefficient de frottement « μ ». (Aujourd'hui, le coefficient de frottement est désigné par « f »)

1736-1806Coulomb développa davantage les idées fondamentales d'Amontons concernant la rugosité de surface et le frottement mixte et il examina le rapport entre la force horizontale nécessaire et le pourcentage en poids.

Selon le modèle de Coulomb, le coefficient de frottement d'une telle surface ne dépend pas de la charge, c'est-à-dire que la force de frottement est proportionnelle au poids. De plus, le frottement est indépendant de la surface car il n'est qu'une fonction de l'angle d'inclinaison moyen des rugosités. Plus la surface est lisse, plus le coefficient de frottement devait être petit. Cette conséquence correspondait aux idées de l'époque et contribua à la reconnaissance du modèle de Coulomb. Le modèle de Coulomb contient désormais une grave erreur : il ne comporte pas de composants dissipatifs. L'énergie qui doit être apportée pour glisser les plans inclinés vers le haut doit resurgir quand les plans inclinés glissent vers le bas de l'autre côté. Le frottement de glissement selon Coulomb ne présente donc pas un processus absorbant de l'énergie.

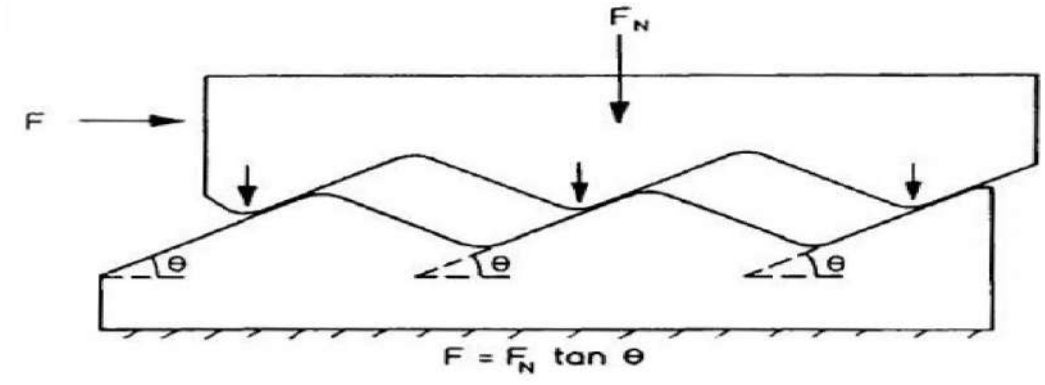


Figure I.3 : Le modèle de la rugosité du frottement de Coulomb. La force normale FN est distribuée sur les élévations du même angle d'inclinaison. [2]

Premier brevet connu d'un roulement rigide à billes par Philip Vaughan, Angleterre.
Philip Vaughan (1824 à Kidwelly) né à Carmarthen était fondeur. Vers 1791, il inventa le roulement à billes et il le breveta en 1794.

18éme siècle le mécanisme du palier à rouleau, ou palier à roulement, fut réinventé au 18ème siècle en Angleterre, lorsqu'un axe pour les calèches fut équipé d'une couronne de roulement dans les encoches des parties de rainure semi-circulaires qui étaient réparties sur cet axe.

On dut attendre jusqu'à 1750-1850 la révolution industrielle pour réaliser des progrès dans le développement des lubrifiants. Ils résultèrent des connaissances acquises de la mécanique des fluides et de l'écoulement visqueux ainsi que de la demande croissante de lubrifiants, en volume et en qualité, induite par le développement industriel et de la rapide supplantation des huiles végétales et animales par les huiles minérales. Ces dernières furent obtenues par distillation et raffinage à partir de pétrole, schiste et charbon.

Roulement à rouleaux coniques breveté par M. Cardin et, France en **1802**
Ce palier est très résistant, dans le sens radial comme dans le sens axial. Il est généralement monté par paires. Deux paliers sont posés l'un contre l'autre car le roulement se compose de deux éléments séparés : la bague intérieure avec les corps de roulement, et la bague extérieure comme coussinet.
Les corps de roulement sur la bague intérieure ont la forme d'un tronc de cône et ils sont légèrement inclinés vers l'axe de l'arbre. Le jeu est réglable. Les axes coniques de la bague intérieure, de la bague extérieure et des rouleaux coniques se rencontrent à un point de l'axe de rotation. Ce n'est qu'ainsi que les rouleaux coniques peuvent rouler sans glissement.

Les composants lubrifiants firent leur percée au 19ème siècle lors de l'industrialisation. À cette époque, il y eut une forte demande de paliers à fabrication industrielle en tant qu'éléments de machines. Les paliers à roulement se composent principalement de deux bagues mobiles qui se déplacent l'une vers l'autre : la bague intérieure et la bague extérieure, séparées par les corps de roulement. Dans la plupart des cas, les corps de roulement sont guidés par une cage qui les maintient à une distance égale l'un de l'autre et qui évite qu'ils se touchent.

La période entre 1850 et 1925 est considérée comme celle du « progrès technique ». Les chemins de fer figurent au centre des événements sociaux ; de la lubrification solide (précurseur des graisses), on passe aux lubrifiants liquides pour la lubrification des paliers et des surfaces de glissement. Des découvertes importantes conduisent à l'établissement des fondements de la tribologie. On avait dès lors à disposition, en quantité presque illimitée, un lubrifiant avantageux répondant à des exigences élevées : le lubrifiant à base d'huiles minérales, dont la vaste gamme sur le plan qualitatif pouvait être mise en œuvre dans presque tous les domaines de la technique.

La véritable époque de la tribologie débute après la Première Guerre mondiale en 1925. Contraintes, vitesse et températures élevées furent les signes d'une charge croissante du couple de frottement. La limite des anciennes propriétés physiques des lubrifiants a du être adaptée à des conditions plus sévères.

Même si les premiers pas du développement technologique et de l'ajout aux lubrifiants remontent au 19ème siècle, les concepts modernes de cet ajout virent seulement le jour dans les années 30 du siècle passé. Les correcteurs d'index de viscosité apparurent, ainsi que les correcteurs de point d'écoulement, antioxydants, inhibiteurs de corrosion, etc., toute une gamme de dispositifs de protection. Parallèlement, le développement des huiles de synthèse fit son apparition, développement induit par les contraintes extrêmes dues aux températures élevées et maximales. Malgré leur grande importance, la part des lubrifiants de synthèse ne constitue qu'environ 5 % des lubrifiants conventionnels. Après la Seconde Guerre mondiale, on commença à se confronter au lubrifiant solide, le bisulfure de molybdène (MoS2), un lubrifiant exceptionnel pour des conditions exceptionnelles : exactement ce qu'il fallait pour l'application dans la recherche spatiale.

Le terme tribologie fut mentionné pour la première fois en 1966 dans le contexte du rapport Joost, une étude sur les pannes d'usure commissionnée par le gouvernement anglais. Depuis, il est utilisé dans le contexte du frottement, de l'usure et de la lubrification.

Les exigences se rapportant aux lubrifiants ont augmenté de façon drastique au cours des dernières décennies : des lubrifiants de synthèse ont été utilisés de plus en plus pour garantir une lubrification sûre. Ils sont surtout produits à base de pétrole, mais par le biais d'une synthèse chimique. Les lubrifiants de synthèse se caractérisent par diverses qualités : stabilité thermique élevée, coefficient de frottement bas, bonne mouillabilité du métal, faible tendance à l'évaporation, miscibilité avec de l'eau, et ils sont difficilement inflammables.

Les graisses lubrifiantes sont de la même famille que les huiles lubrifiantes.

La graisse lubrifiante est utilisée des nombreux endroits à la place de l'huile, car celle-ci coulerait. Les graisses lubrifiantes sont les huiles lubrifiantes épaissies. Les savons en lithium, en calcium ou en aluminium, ou des matières inorganiques comme la bentonite, servent par exemple d'épaississants.

Le domaine d'application des lubrifiants est extrêmement important car « rien ne fonctionne sans lubrification ».

I.3. Les paliers lisses :

I.3.1 introduction :

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

On peut classer les paliers selon deux catégories :

- lisses où les arbres qui reposent sur des coussinets sont soumis au frottement de glissement entre les surfaces en contact (**figure** I.5).
- à roulement où le contact s'effectue par l'intermédiaire de billes ou de rouleaux contenus dans des cages (figure I.4). [8]



Figure I.4 : les roulements.



Figure I.5 : les paliers lisses.

I.3.2.Classement des paliers lisses :

En peut classer les paliers selon les déférents types, on a trouvé :

a) Selon la forme géométrique :

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

C'est le palier le plus simple et fréquemment utilisés, il correspondant à la meilleur solution technologique existant actuellement .il y'a trois type des coussinets circulaire présenté sur la figure I.6 :



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

b) Figure I.6 : paliers circulaire.

2. Palier à arc partiel :

Les paliers lisses cylindriques ou à arc partiel faiblement chargés a vitesse élevée présentent de grands risques d'instabilités. L'idée d'améliorer la stabilité du Newkrik et Grobel (1934) est de vérifier expérimentalement que l'existence d'une discontinuité dans la géométrie à la surface du coussinet pouvait améliorer la stabilité du palier Figure (I.6)

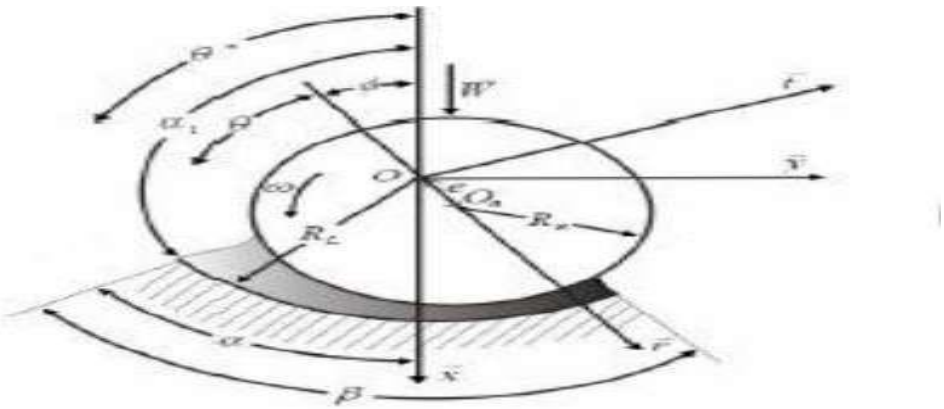


Figure I.7: Palier a l'arc partiel. [8]

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.

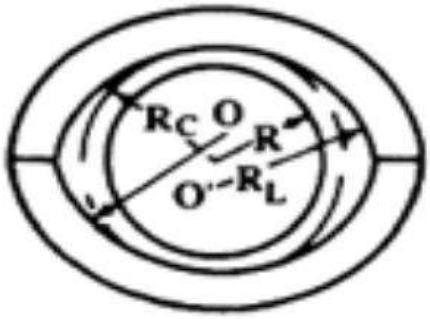


Figure I.8 : Palier elliptique. [8]

4. A patins oscillants:

Un palier a patins oscillants est composé de patins, identique ou non, individuellement articules autour de pivots, situés généralement sur un cercle appelé « cercle des pivots ».

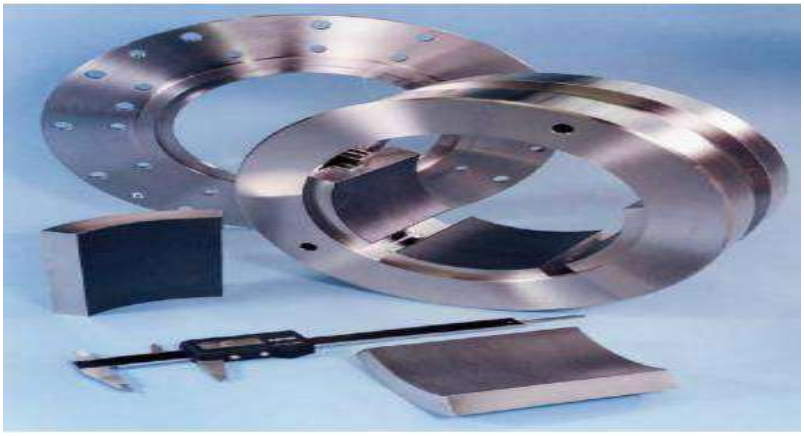


Figure I.9: Photographie d'un palier à3 patins.

5. A lobe :

C'est un Palier multilobés dont les centres de courbure des lobes sont situés sur le centre géométrique du palier, le palier est dit pré-chargé géométriquement.

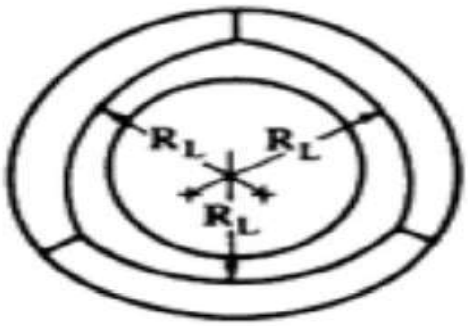


Figure I.10: Palier à trois lobes. [8]

b) Selon le type de lubrification : [8]

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.

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 .

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

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.

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. La figure ce dessous représente les défirent régime :

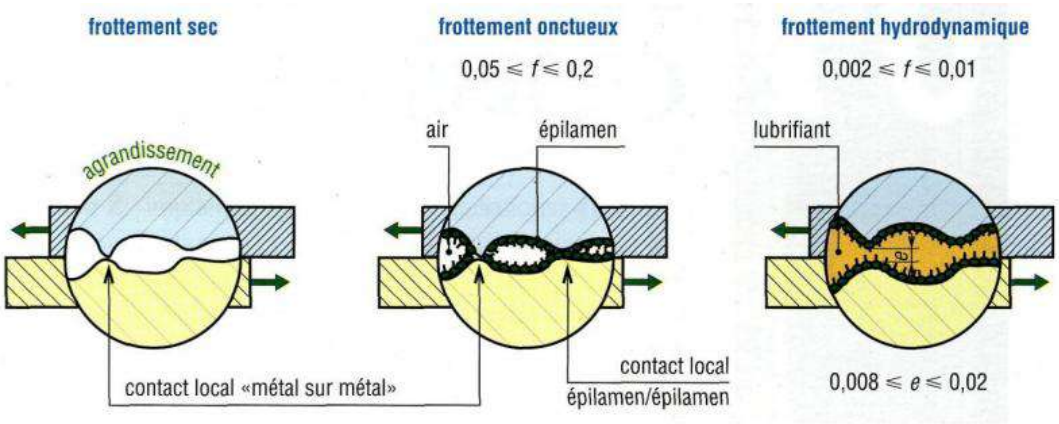


Figure I.11 : les déférents types des régimes.

c) selon le diamètre : [8]

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 $L/D \leq 0.5$. 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 $L/D \geq 1.5$. 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.

I.3.3. les paliers lisses cylindriques hydrodynamique :

Un palier lisse hydrodynamique (HD) est constitué de deux éléments, l'arbre de rayon Ra qui tourne dans un coussinet de rayon intérieur Rc et de longueur L qui comportant une rainure permettant l'arrivée d'un fluide visqueux qui sépare totalement les surfaces (fig. I.11). Lorsque l'arbre tourne ce filme d'huile 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]

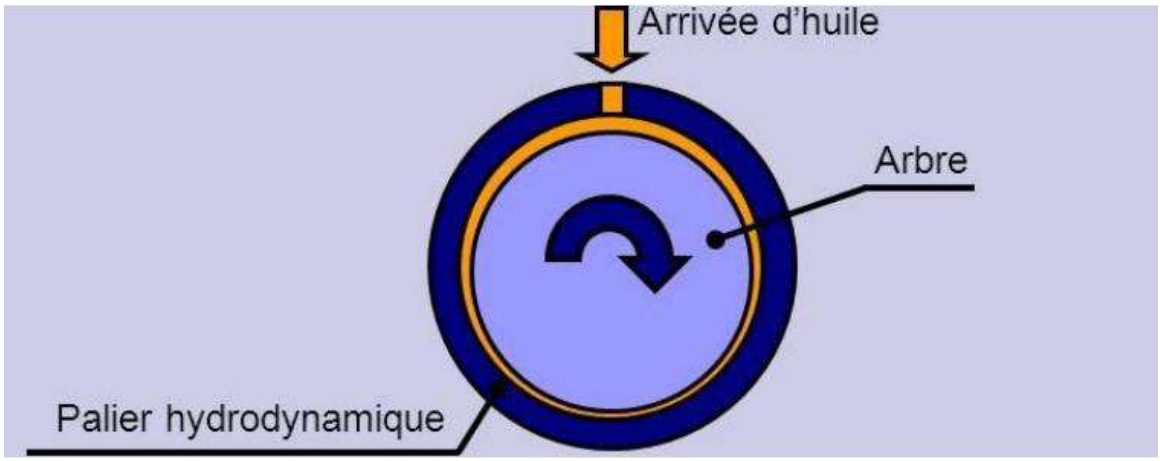


Figure I.12: Schéma d'un palier hydrodynamique.

I.3.4. Principe de fonctionnement du palier : [10]

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.

La figure si dessus (Fig. I.13) 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 O1O2 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 O1occupe 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.

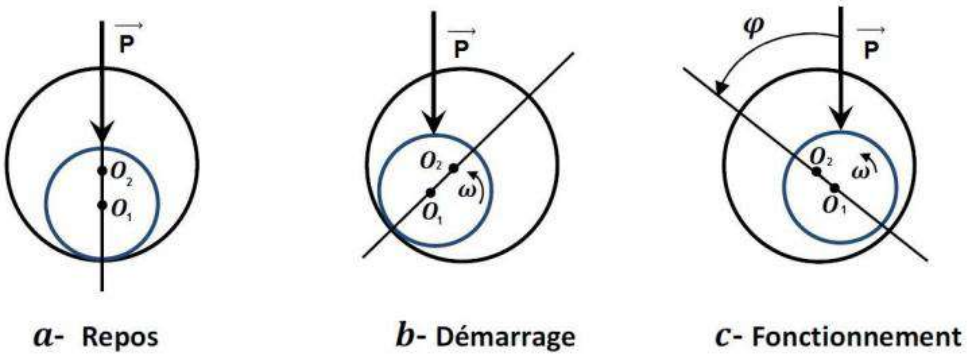


Figure I.13: Schématisation de fonctionnement d'un palier lisse. [10]

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.14). 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. [8]

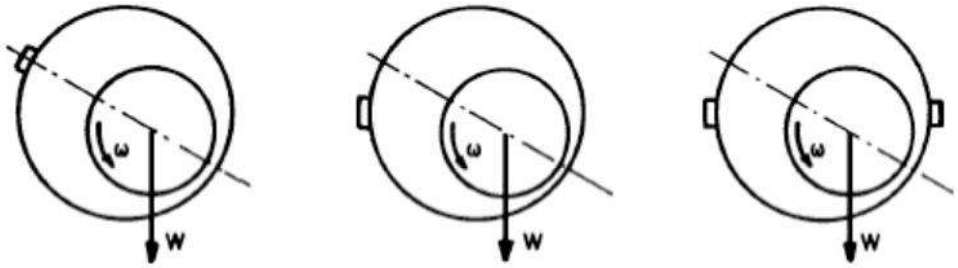


Figure I.14: Position des rainures axiale. [8]

B) Rainure circonférentielle :

La rainure circonférentielle, généralement placée dans la section médiane du palier (Fig. I.15), 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.15). Aussi des rainures circonférentielles d'amplitudes limitées ou même des trous sont utilisés sur certains paliers de bielles de moteurs thermiques.



Figure I.15: Palier à rainure circonférentielle. [8]

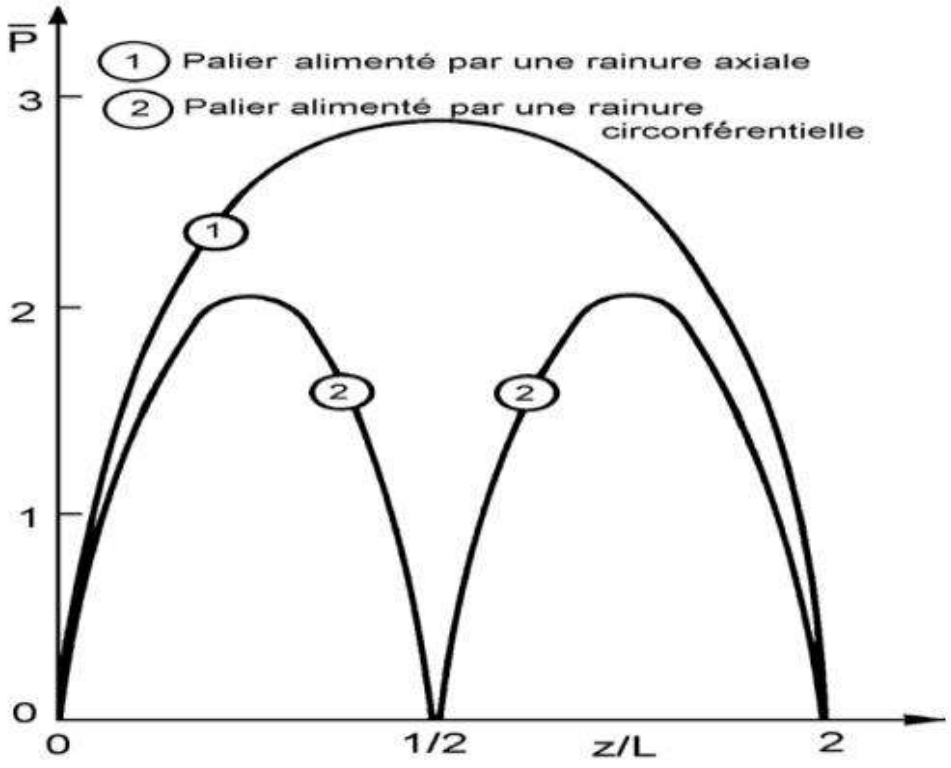


Figure I.16: Variation de la pression en fonction de la coordonnée axiale z[8]

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 :

Lubrification ou graissage est l'ensemble des techniques permettant de réduire le frottement entre deux pièces en contact et en mouvement

Les lubrifiants contient trois principales familles : les lubrifiants solides (graphite), les lubrifiants liquides (l'huile) et les lubrifiants pâteux (pâtes lubrifiantes). [11]

I.4.1. Composition des huiles de lubrifiantes : [5]

Les huiles lubrifiantes actuellement utilisées sont généralement constituées d'un fluide de base appelé « base de lubrifiant » qui peut être synthétique ou d'origine minérale, auquel sont ajoutés de nombreux additifs dont la nature varie avec la destination du produit.

Un lubrifiant est constitué de 70 à 90 % d'huile de base. Il s'agit du composant essentiel d'un lubrifiant. On distingue trois types des huiles :

a) Les huiles à base minérale :

Sont produites à partir de pétrole brut(le produit d'un mélange complexe de molécules qui forment des chaînes et des noyaux de formes et de tailles différentes). [12] plus stable et qui

ne s'oxyde pas à l'air, son pouvoir mouillant et lubrifiant est amélioré par l'incorporation d'une petite quantité de soufre (1 à 3 %) ou de graphite. [12]

b) Les huiles à base semi-synthétique : combinent des huiles de base à la fois minérales et synthétiques. [12]

c) Les huiles à base synthétique : les huiles synthétiques reposent entièrement sur une composition chimique. [12] utilisation de ce dernier pour leur stabilité thermique et meilleure comportement (viscosité / température). [12]

d) 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. [8]

I.4.2 .caractéristiques principales des lubrifiants liquides :

Maintenir les surfaces de séparation indépendamment de la charge, la température et la vitesse, et pour réduire le frottement et l'usure.

Agir en tant que fluide de refroidissement et d'éliminer le frottement généré par des sources de chaleur externes.

Restance constante pour assurer un comportement cohérent tout au long de l'espérance de vie.

La protection des surfaces de produits agressifs formés pendant le fonctionnement du moteur.

Nettoyé et garder la poussière afin d'éviter les résidus et les déchets qui peuvent se produire lorsque le moteur est en marche.

a. Les propriétés des lubrifiants : [3]

1. La viscosité

La viscosité décrit les caractéristiques d'écoulement de fluide .La viscosité d'huile lubrifiante diminue avec l'augmentation de la température, et doit donc être mesurée à une certaine température.

La viscosité du Lubrifiant détermine l'épaisseur de la couche d'huile entre les surfaces métalliques qui se déplacent les uns contre les autres.

L'unité de mesure couramment utilisé pour la viscosité est centistoke (CST).

a. L'indice de viscosité

L'indice de viscosité est une recette utilisé pour faire référence à des changements dans la viscosité du lubrifiant en fonction de la température.

L'indice Plus de viscosité, une faible viscosité varie avec la température.

- Le meilleur démarrage du moteur à basse température (inférieure à friction interne);
- La stabilité de la plus grande lubrification du film à haute température.

b.Classification viscosimétriques :

Il existe de nombreux systèmes de classification se basent généralement viscosimètre avec un certain nombre, plage de viscosité plus ou moins limitée.

Le but de cette classification à fournir, avec un indice de viscosité élevé, une référence rapide à choisir le plus approprié pour une application particulière de lubrifiant.

Grades ISO VG normalement utilisées pour la classification des huiles industrielle. Chaque grade indique une différence de viscosité cinétique mesurée a 40 ℃.

Les grades utilisés SAE dans l'industrie pétrolière pour les moteurs et les équipements de pêche.

1. Le point d'écoulement :

Point d'écoulement se réfère à la plus basse température qui dure lubrifiant à l'écoulement. Sous ce point, l'huile a tendance à épaissir et arrêter librement le flux.

2. Le point d'éclaire :

Le point d'éclair est la température la plus basse à laquelle le mélange d'huile se transforme en vapeur dans l'air pour l'allumage. Mesurée par chauffage progressif du mélange d'air et d'huile de vapeur d'eau dans le laboratoire standard de pot jusqu'à ce que le mélange enflamme.

I.4.3.Fluide newtonien : [8]

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 :

- 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.4.4.Fluide non- newtonien : [8]

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 :

I. 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. [8]

II. 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. [8]

III. Lubrification hydrodynamique :

Au-delà du point C, et le coefficient de frottement selon la loi diffère équivalentes, au moins jusqu'à ce que l'écoulement de fluide dans le panneau est encore laminaire. Parabole d'axe dans une position horizontale, ce qui signifie que, quand il est bien établi système hydrodynamique, et de modification de la racine carrée Z. coefficient de frottement et donc, peut atteindre des valeurs très élevées, et peut-être beaucoup plus grand que le coefficient d'adhérence.

IV. Lubrification élastohydrodynamique (EHD) :[8]

Sous charge, la zone de contact augmente et devient elliptique. En ramenant à un plan l'une des deux surfaces, le contact est équivalent à un contact tonneau-plan, qui aura la même zone elliptique et le même champ de pression que le contact réel. Le tonneau a deux rayons de courbure principaux que nous noterons Rx dans le sens du roulement et Ry dans le sens perpendiculaire au roulement.

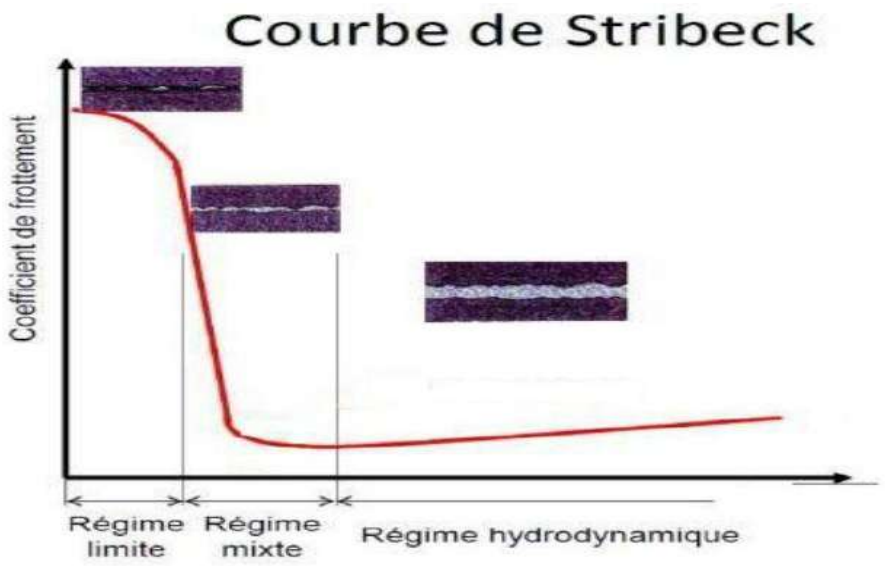


Figure I.17 : courbe de Steinbeck. [8]

I.6.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes du développement de la tribologie et la lubrification des paliers. Ainsi, le principe de fonctionnement des paliers hydrodynamiques de lubrification régulière.

II.1.Introduction :

Pour étudier la déformation d'un palier circulaire sous l'effet de champ de pression hydrodynamique :

Nous devons bien connaitre les équations de base qui régissent le problème de lubrification.

Dans ce chapitre ,on a représente les caractéristiques géométriques d'un palier lisse et l'équation de base de lubrification hydrodynamique, ainsi que les différents types des équations et des conditions (conditions aux limites, l'équation de Reynolds) ,ainsi les déformations mécanique et les formulations par élément finis.

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

Un palier lisse hydrodynamique est compose de trois éléments :

- un arbre de rayon R_a.
- un coussinet de rayon R_C et de longueur L.
- un film d'huile entre les deux derniers.

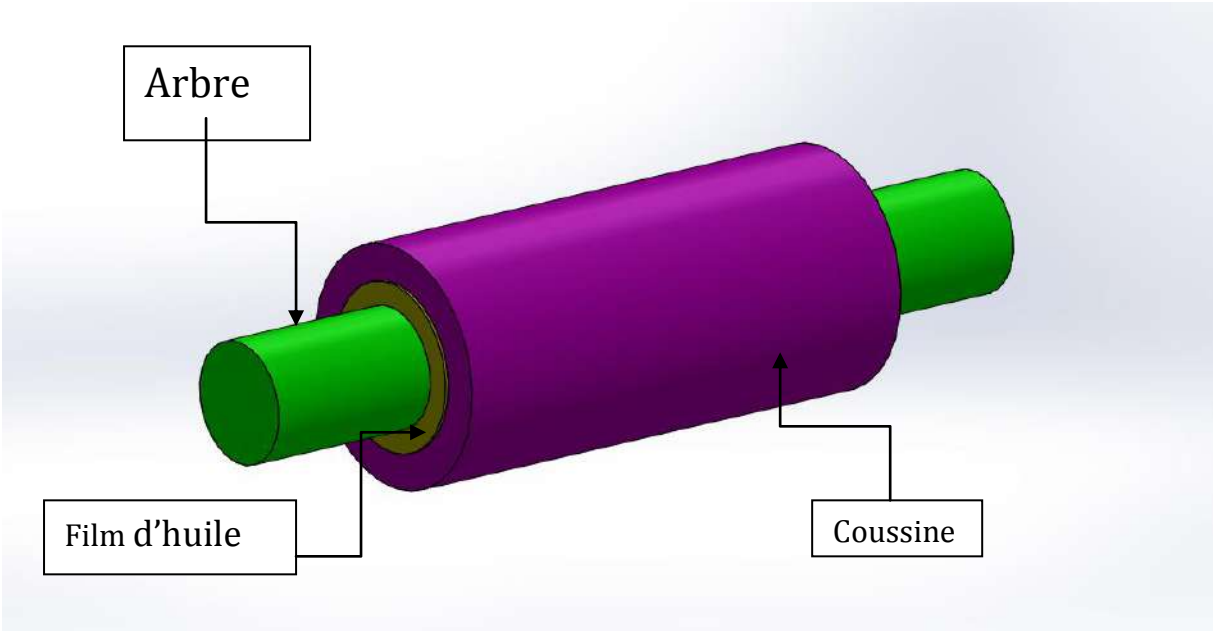


Figure 1 II.1 : schéma d'un palier lisse hydrodynamique.

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

- Le jeu radial J= R_C - Ra.
- L'excentricité e constituant la distance O_1O_2en fonctionnement normal.
- L'excentricité relative définie par :

$\varepsilon = e/c$……II.1

C'est l'excentricité maximale donnée :

$c = (D - d)/2$……...II.2

La hauteur minimale du film lubrifiant :

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

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

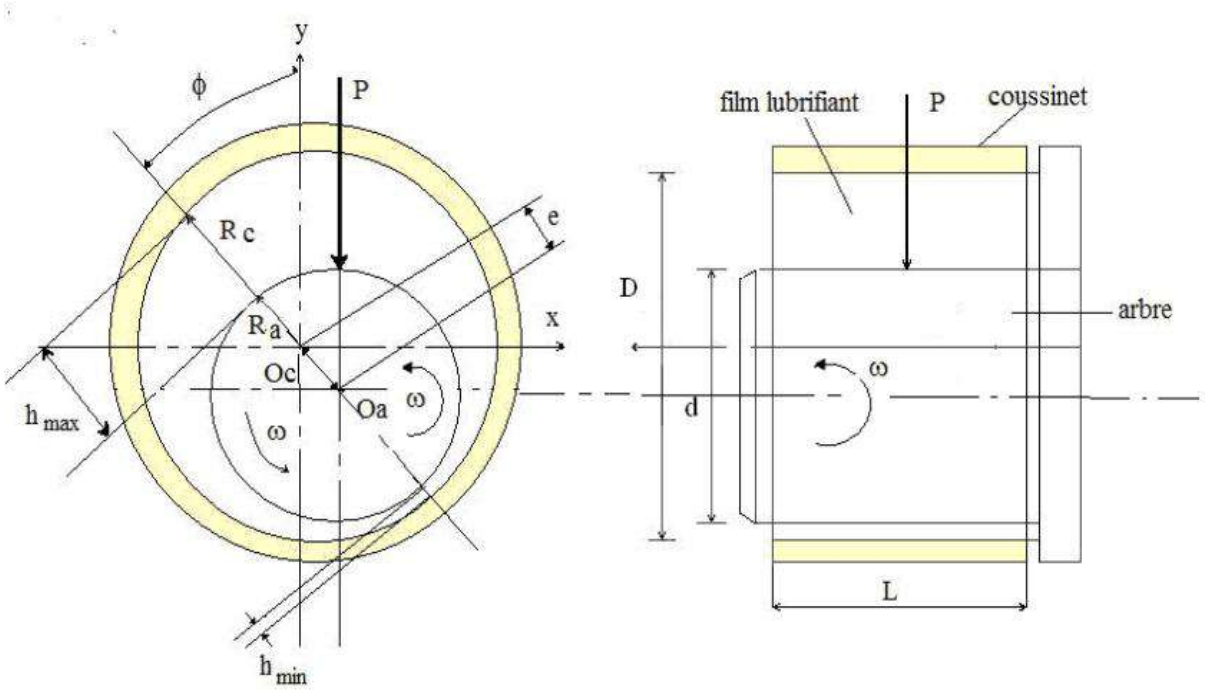


Figure II.2: Géométrie d'un palier lisse circulaire.[8]

II.3.Equation de Reynolds : [15]

O. Reynolds Compte tenu de ces hypothèses, les équations de Navier Stokes réduisent l'intégration, en supposant l'absence de glissement entre le liquide et les surfaces Contact, O. Reynolds obtient le champ de vitesse dans le liquide. Ces expressions diffinées Dans l'équation de continuité, et intégré en donnant l'épaisseur du film:

$$\frac{d}{dx}\left(h^3\frac{dp}{dx}\right)+\frac{d}{dz}\left(h^3\frac{dp}{dz}\right)=6\mu\left\{(U_0+U_1)\frac{dh}{dx}+2V_1\right\} \quad \text{……II.4}$$

Cette équation a été connue sous le nom de l'équation de Reynolds est l'équation de base de la lubrification hydrodynamique. Et il a proposé une solution dans le cas d'atterrissage Sans une longue frontière avec la série d'extensions. Cependant, l'intégration très laborieuse est acceptable dans le cas de roulements sont 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 dela 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. [8]

II.4.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 θs inconnue, la pression et le gradient de pression s'annulent: $P(\theta = 0, Z) = 0$

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

$$\frac{\partial P}{\partial \theta}(\theta = \theta s, Z) = \frac{\partial P}{\partial Z}(\theta = \theta s, Z) = 0 \; ; \quad \text{II.5}$$

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. [8]

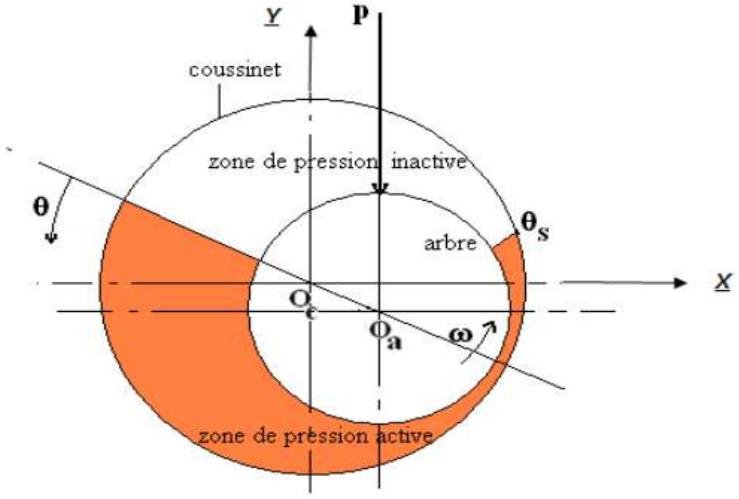


Figure II.3 : Condition aux limites de Reynolds. [14]

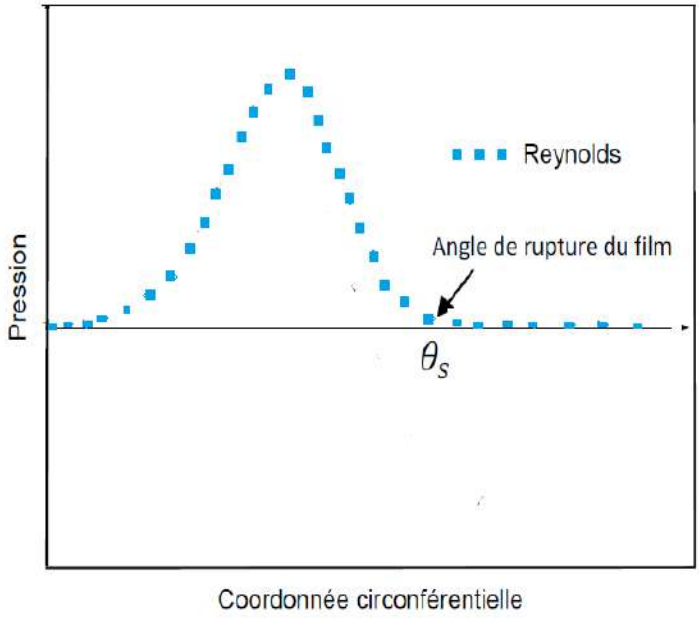


Figure II.4. Conditions aux limites de rupture du film. [16]

II.5.Conclusion

Les problèmes théoriques de la lubrification hydrodynamique sont basés sur la résolution de l'équation de Reynolds.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.

III.1.introduction :

L'utilisation de l'étude numérique dans notre travail, due à l'importance utiliser l'étude et économie, on peut obtenir des résultats rapide d'un problème technologique, par la simulation d'un cas réel.

III.2.Présentation de logiciel :

III.2.1. Définition de logiciel : [9]

ANSYS, abrègement de Swanson ANalysis SYstème est programmé basé sur la méthode des éléments finis qui est inventé par la Dr John Swanson. Est un éditeur de logiciel spécialise en simulation numérique

L'entreprise a son siège à canonsburg en pensylvanie aux Etat Unis la société possèdes nombreuses filiales à travers du monde.

Depuis 1970 la société SASI fondée par Sawson Acronyme commence publiée les versions de logiciel jusqu'à cinquième édition et après la vente de la société en1994 change son nom à ANSYS Inc. [9]

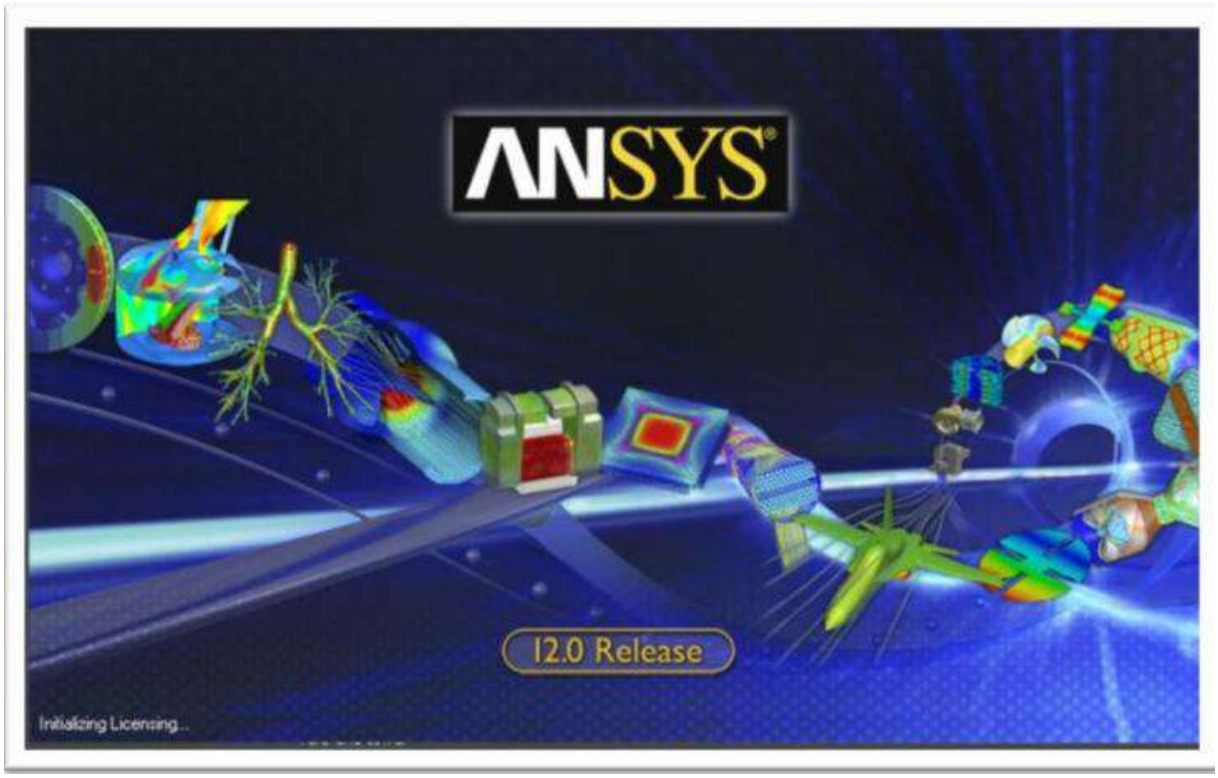


Figure III.1 : photographe représente le symbole de logiciel ANSYS.

III.2.2.Aspect technique :

III.2.2.1.principaux produit : [8]

❖ **ANSYS Structural :** Ce produit permet d'effectue des simulations mécanique 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 déformation).

❖ **ANSYS Mechanical :** Ce produit diffuse des même capacité 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 Eléctromagnetics 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 :

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

❖ **ANSYS Classic :**

Au fil du temps, c'est la première solution logicielle Mis au point par le fabricant. Son but est de modéliser des éléments de construction ingénierie simple est limitée et facilement en utilisant les processus de base. À Dans ce contexte, l'utilisateur peut modéliser des éléments intégrés directement Pas plus en utilisant le langage de script APDL (conception paramétrique ANSYS Langue). Utilisateurs qualifiés cible ANSYS classique Le domaine de la simulation numérique.

❖ ANSYS Workbench :

Cette plate-forme offre une approche différente Construction du modèle en réutilisant le code ANSYS d'origine. elle Convient particulièrement pour le traitement des cas complexes d'ingénierie (souvent Corps) parties, et incertain dans ce domaine des utilisateurs d'ordinateurs. Dans cet Environnement et les utilisateurs qui travaillent principalement sur l'ingénierie et Le même modèle. Plate-forme est une demande de transfert de la contribution responsable code utilisateur ANSYS avant le lancement de cette décision. modèle Elément Déchets générés tout le système de traitement en saisissant le code ANSYS.

III.3 .méthode de calcul :

Pour résoudre le problème de ce projet nous utilisons ANSYS Mecanical APDL (classique). On a fais un petit exemple pour représente les étapes les plus importantes a suivre.

Au début, ouvrir logiciel de l'ANSYS APDL (la version ANSYS12.1 a été utilisée pour ce projet) montrez-nous une fenêtre (fig.III.2) contient plusieurs barre :

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

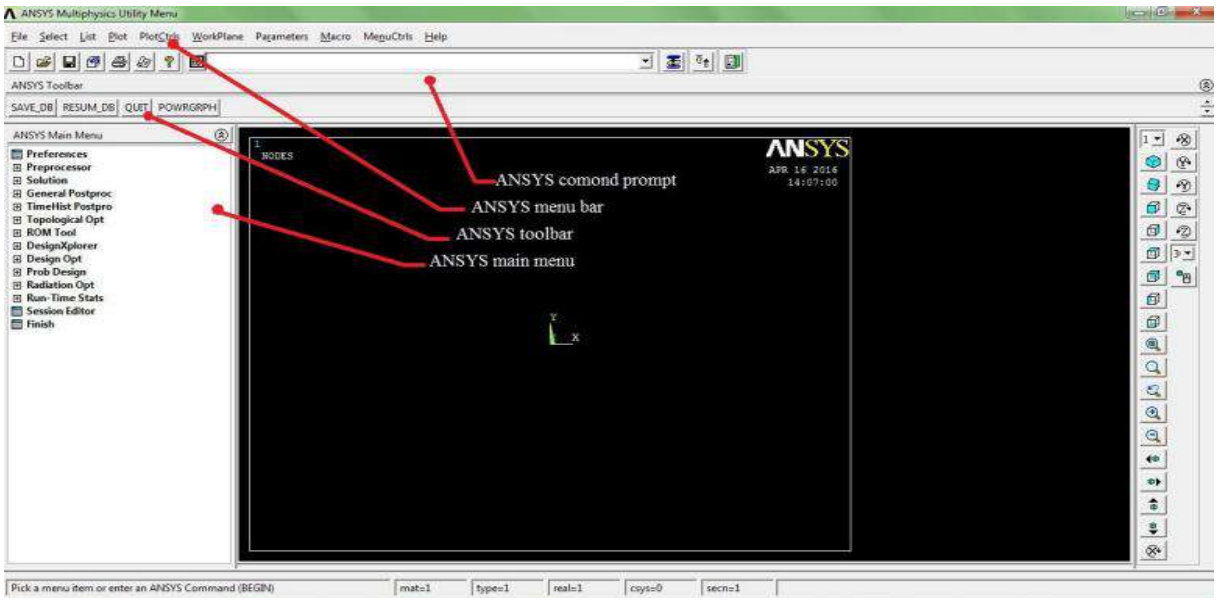


Figure III.2 : le premier page de l'ANSYS APDL.

Dans le menu bar clique **file> clear and start new** pour supprime tous qui est avant. (Figure III.3)

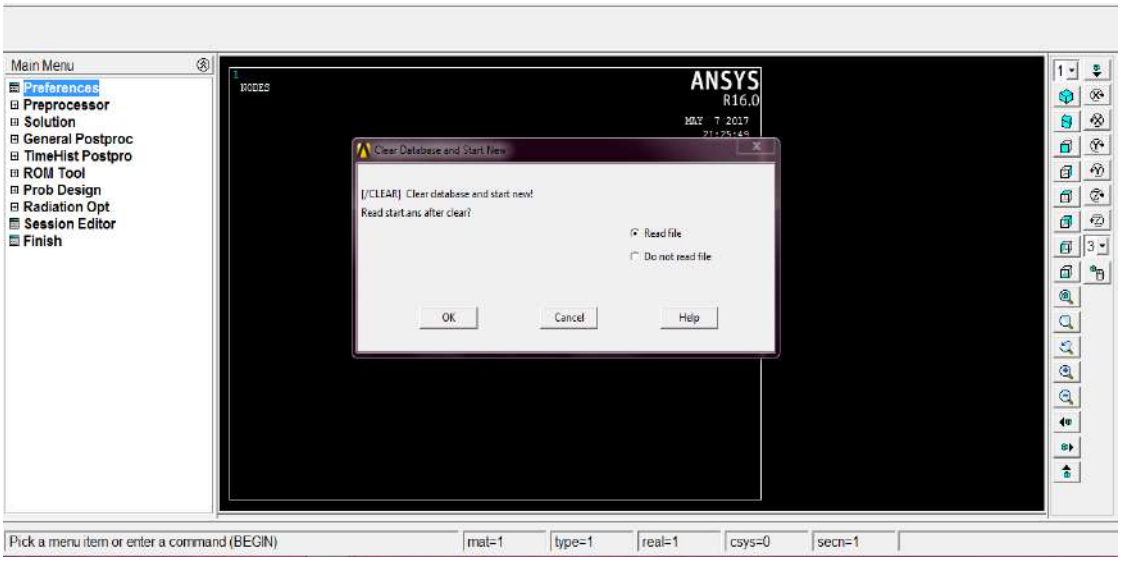


Figure III.3 : fichier Start new**.**

Après on clique une 2éme fois sur **file> change title** pour enregistre le travail. **(**Figure III.4)

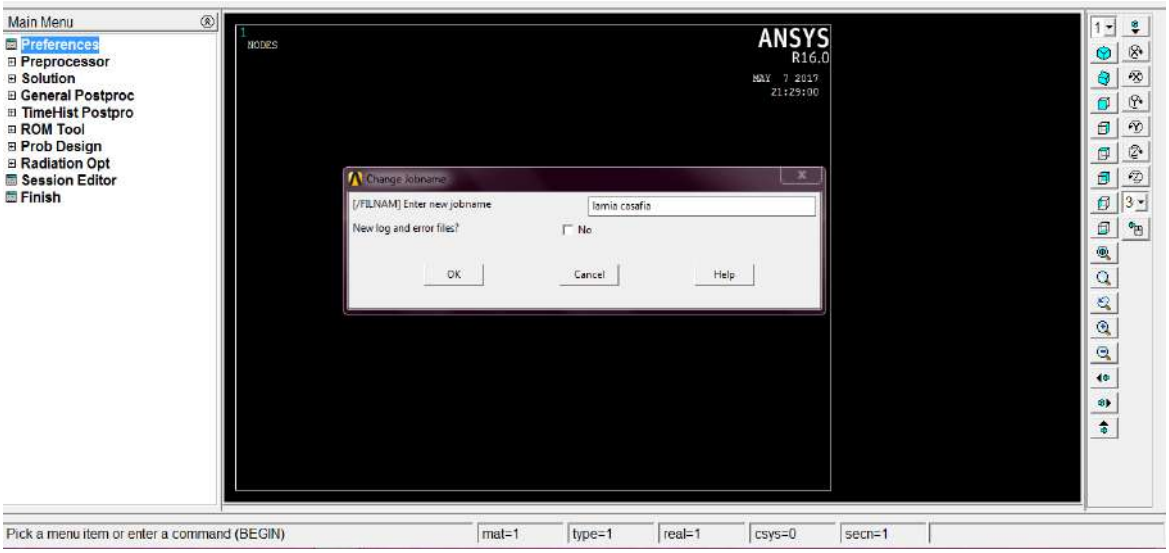


Figure III.4 : change le titre.

Le projet contient l'étude de structure d'un palier donc nous clique sur préférences et choisir structural et presse ok (Figure III.5).

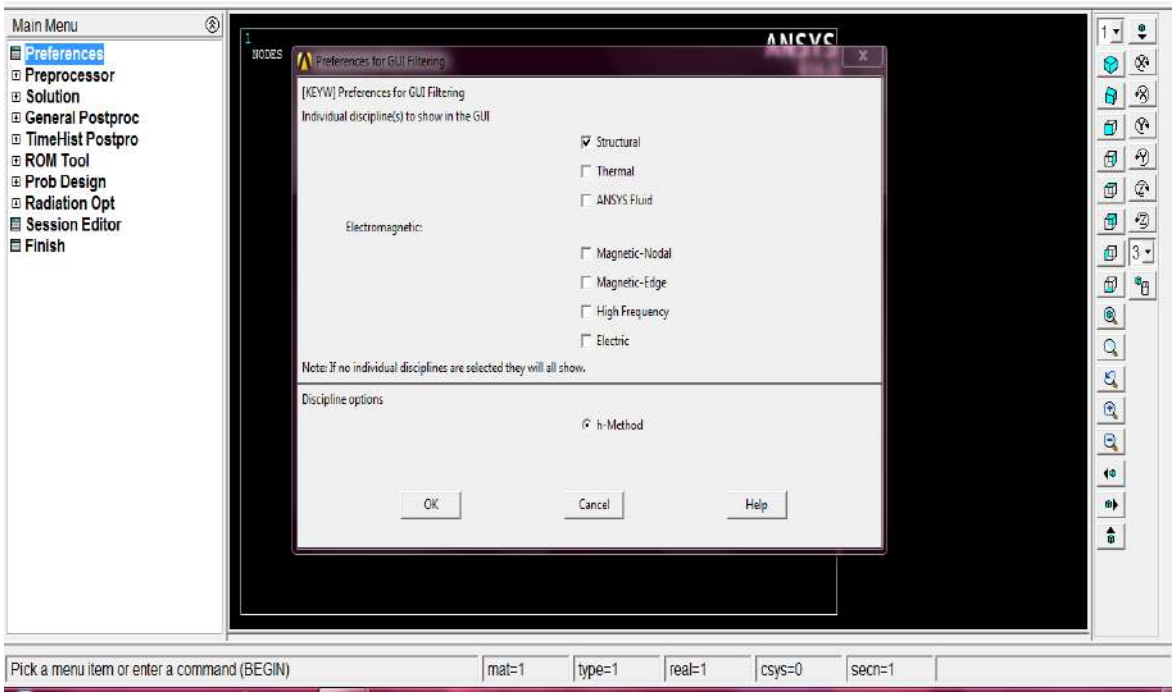


Figure III.5 : définie le type de solution.

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 **préprocesseur**, clique sur **Element Type> Add/Edit/Delete>Add**. La fenêtre suivante apparaît alors (Figure III.6) :

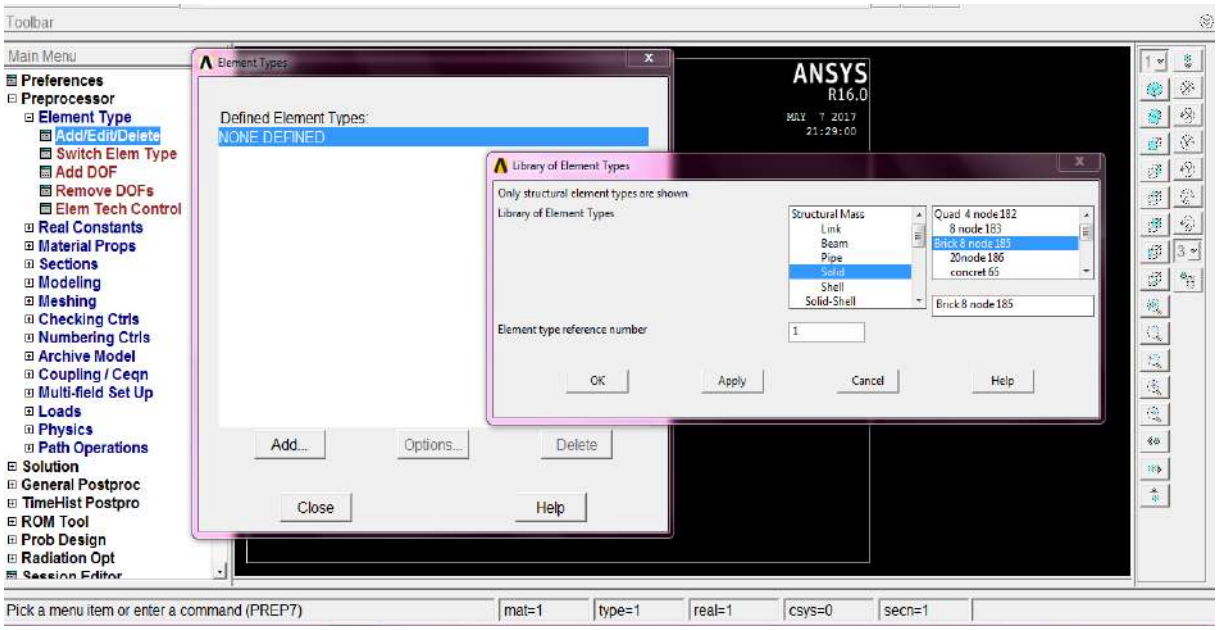


Figure III.6: Définie le type de l'élément.

Par exemple, je vais utiliser la **solide> Brick 8node 185** 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.7) :

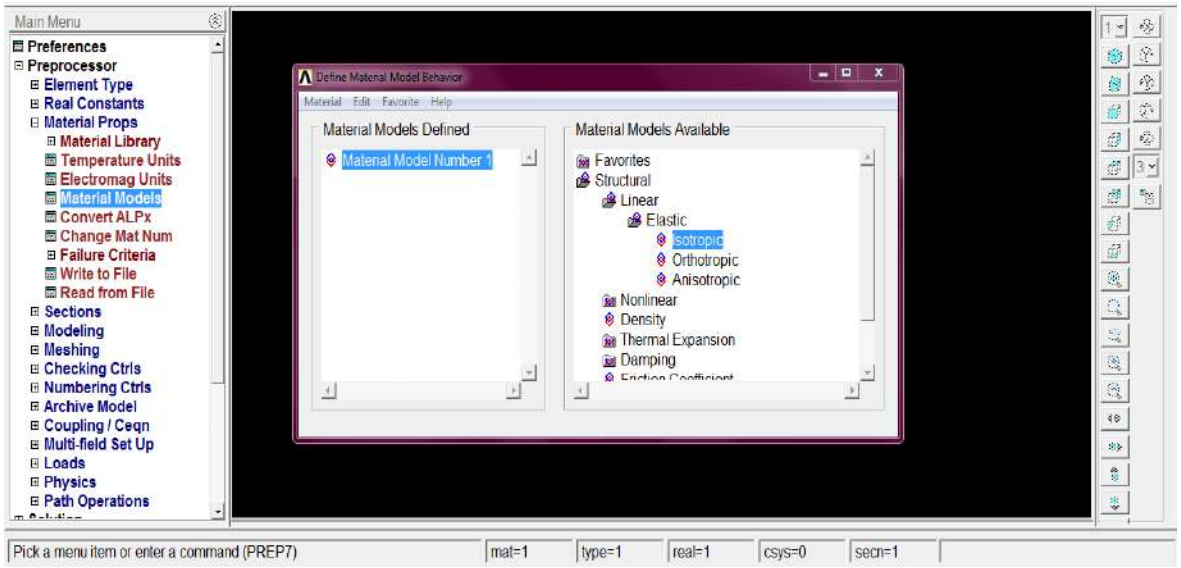


Figure III.7 : Définie les propriétés de élément.

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). (Figure III.8) :

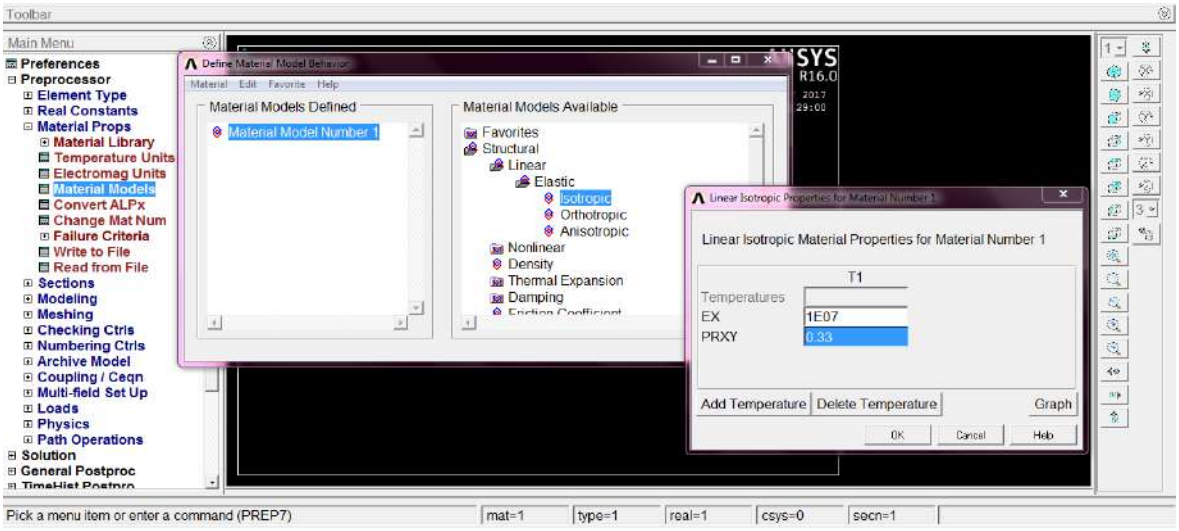


Figure III.8 : Entre le module de Young et coefficient de poissant**.**

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 une bague.

Donc, en a clique sur **volume> Cylinder> Hollow cylinder**, après nous entrons les coordonnées et on clique OK (figure III.9)

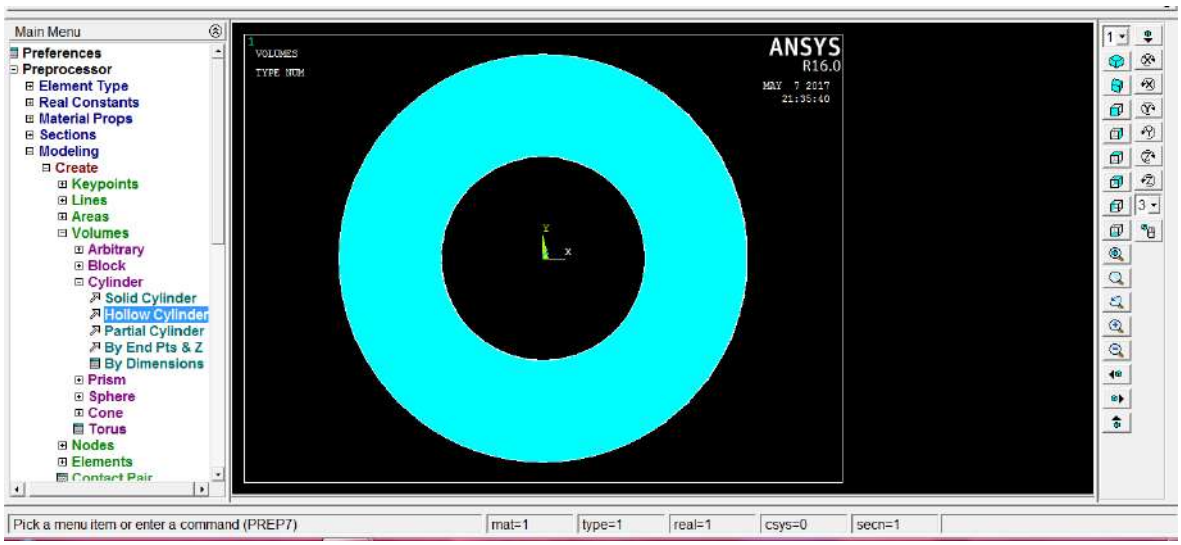


Figure III.9 : Géométrie dessiné par l'ANSYS APDL.

4. Le maillage :

Pour discrétiser l'élément et étudier par la méthode des éléments finies il faut clique sur **preprocessor> Meshing> Mesh Tool**, les deux fenêtres suivante s'apparaîssent (Figure III.10) alors :

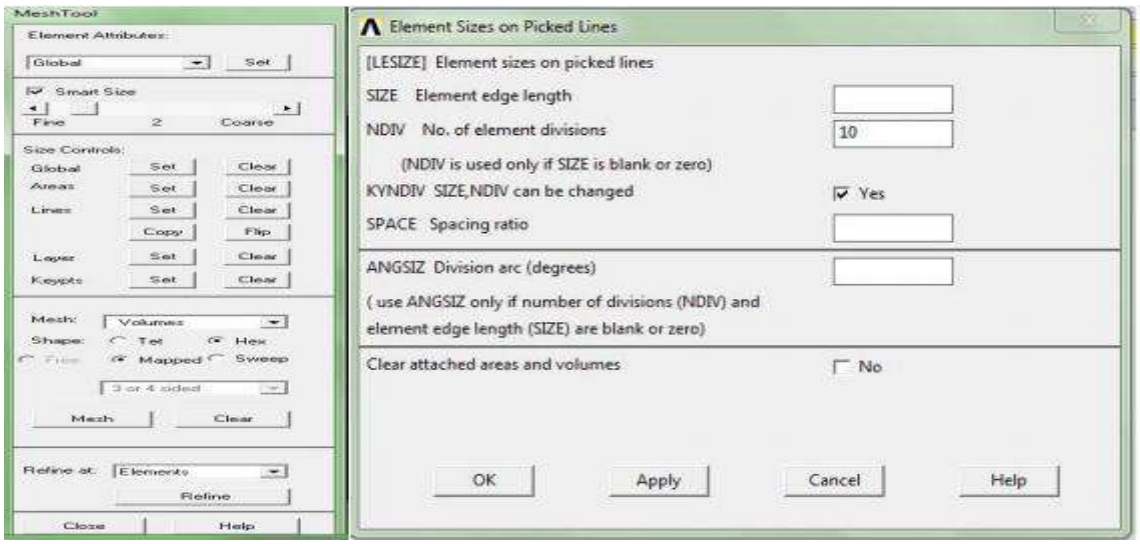


Figure III.10 : les opérations de maillage.

En peut choisie le maillage ce que nous voulons (Figure III.11).

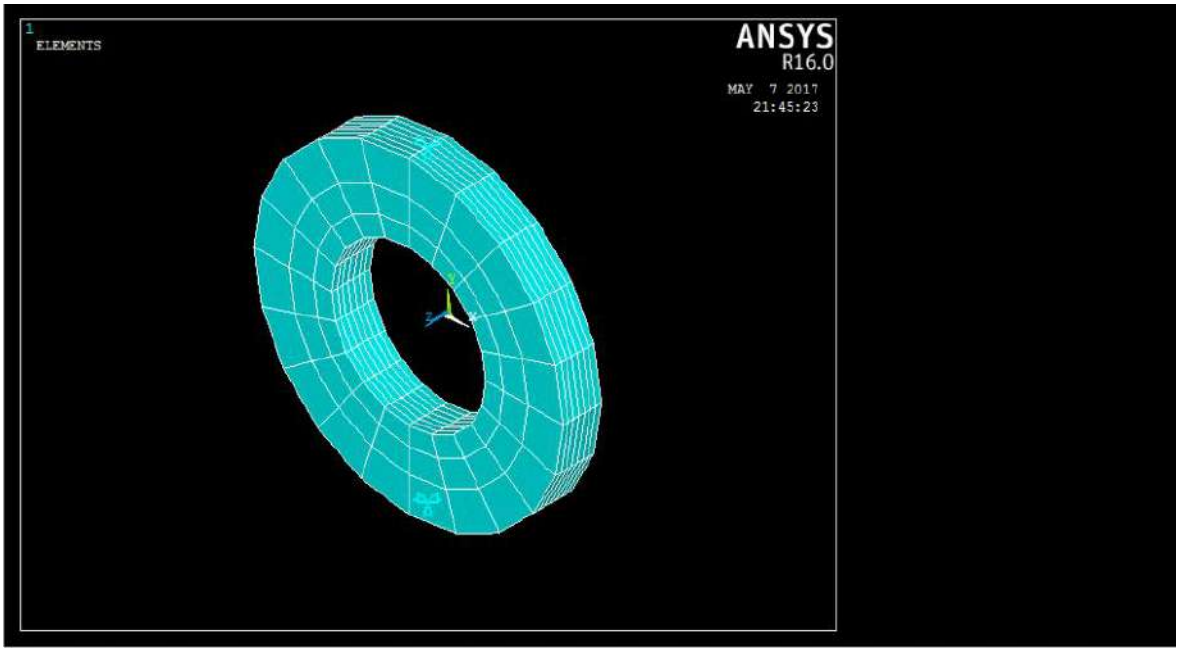


Figure III.11 : Maillage brick d'élément de 3D.

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 exploiteur des résultats des calcul .

Alors nous allons clique sur Solution après **choisie Solve> Current LS**, Après attendre le programme un peut de temps pour calculer. (Figure III.12).

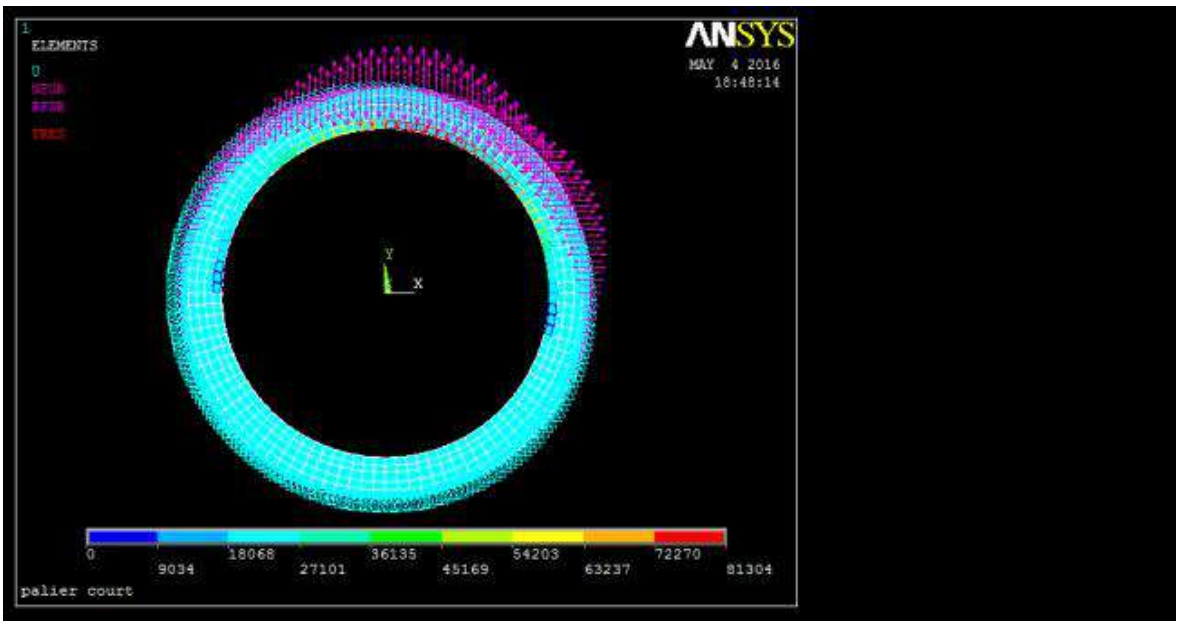


Figure III.12 : Solution sur l'ANSYS APDL.[8]

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté le logiciel ANSYS APDL et les étapes suivies pour résoudre le problème.

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, par l'utilisation de logiciel ANSYS APDL nous allons étudier les déformation élastiques sous l'effet d'une pression hydrodynamique sur un palier court, un palier infiniment long et un palier de longueur finie. Dans les trois cas ,on compare toujours le cas d'un palier peu chargé .

IV.2. Propriétés de matériaux : Le matériau constituant le coussinet est généralement l e cuivre. Mais dans ce cas on choisit l'acier.

Le tableau ci-dessous représente les caractéristiques physique et mécanique du palier en **Acier** :

Tableau .IV.1 : Tableau de propriété de palier

Acier	**Valeur**	**Unité**
Module de Young	$1,^{e+7}$	Pa
Coefficient du poisso	0,33	Sans unité
Viscosité	0.02	Pa.s
Vitesse de rotation	1000	tr/min
Jeu radial	0.0001	m
Excentricité	2e005	m

.

On utilisons ces valeurs pour tous les exemples pour faciliter la comparaison .Mais avant tout nous représente un exemple de calcul de déformation d'un palier hydrodynamique soumis à un chargement axisymétrique.

IV.3. Déformation radial :

Dans cet exemple en exploiter les déformations radiales à partir d'un pa lier court, à longueur finie et palier infiniment long.

Cette partie contient trois cas, chaque cas comporter deux exemples ,

Figure IV.1 :

Les Déformation radiales

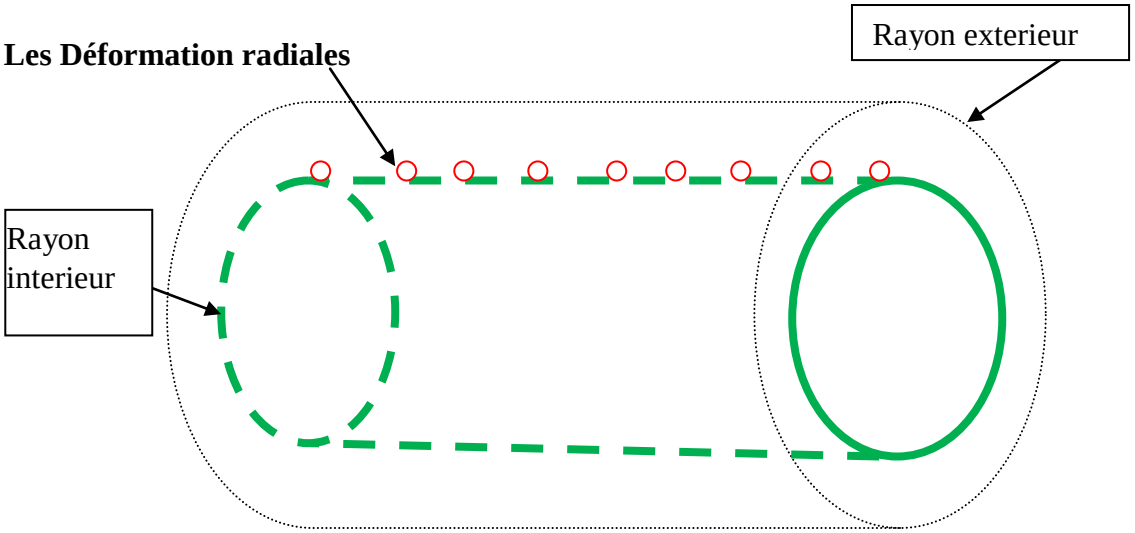


Figure IV.1 : La position de Déformation étudié.

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

b.palier de longueur finie: **L/D=1.**

c.palier infiniment long : **L/D=1,5.**

Tableau du donné :

Tableau VI.2 : Tableau de géomètre des paliers.

	Plier 1	**Plier 2**	**Plier 3**	**Unite**
Longueur	0.05	0.1	0.15	[m]
Rayon intérieur	0.1	0.1	0.1	[m]
Rayon extérieur	0.2	0.2	0.2	[m]

Le désin de la structure le logiciel ANSYS APDL est donné par la figure suivante :

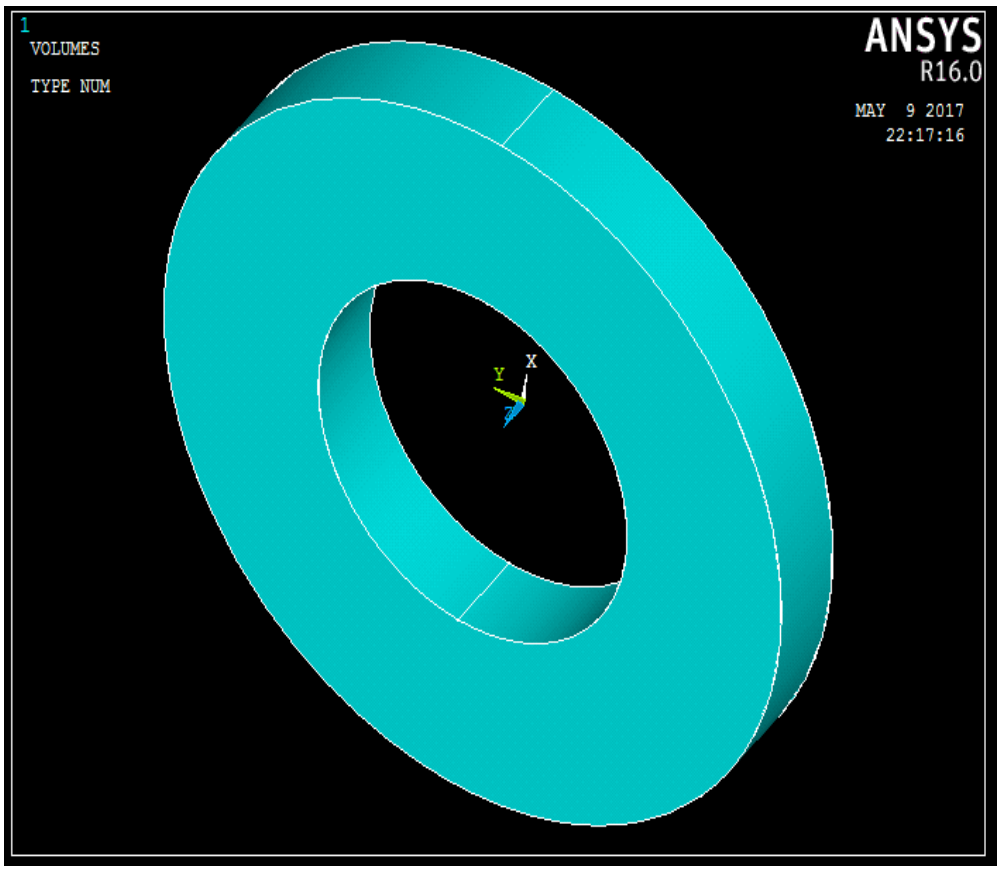


Figure IV.2: La géométrie d'un palier court 1.

.

A) Maillage :

Le maillage adopte pour cette structure se fait de la manière suivante:

Suivant le rayon R(sur l'epaisseur) : **3 éléments**.

Suivant l'angle θ direction (circonférentielle) : **20 éléments.**

Suivant la longueur direction axiale : **7éléments**

Le maillage est dans la figure ci-dessous :

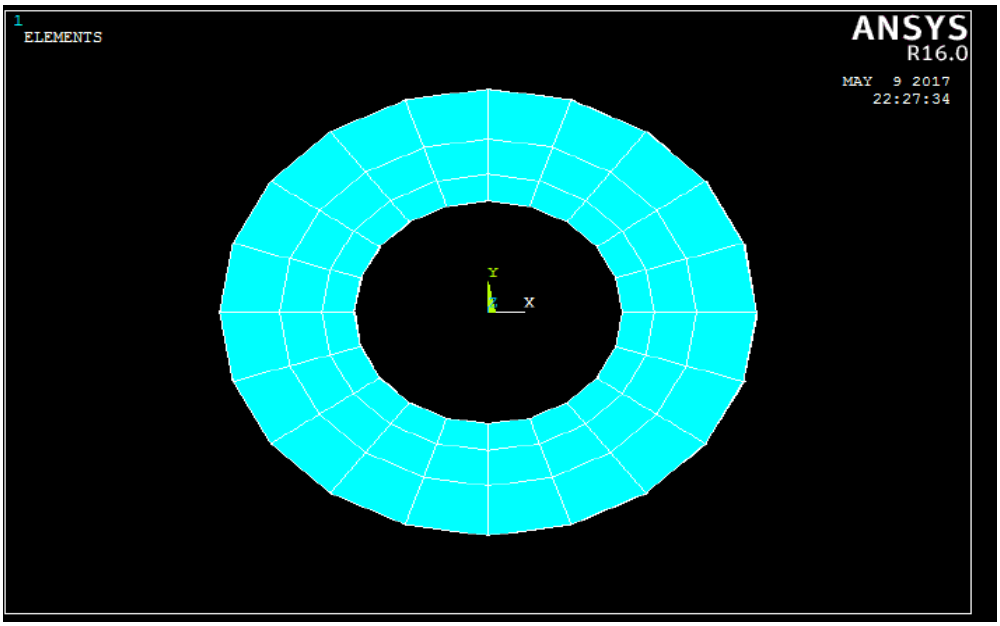


Figure IV.3: Le maillage.

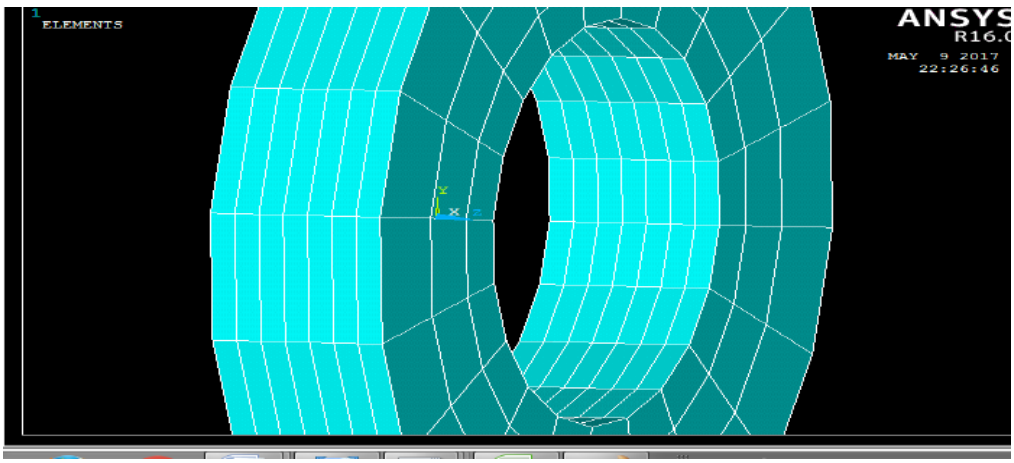


Figure IV.4: Maillage de palier1.

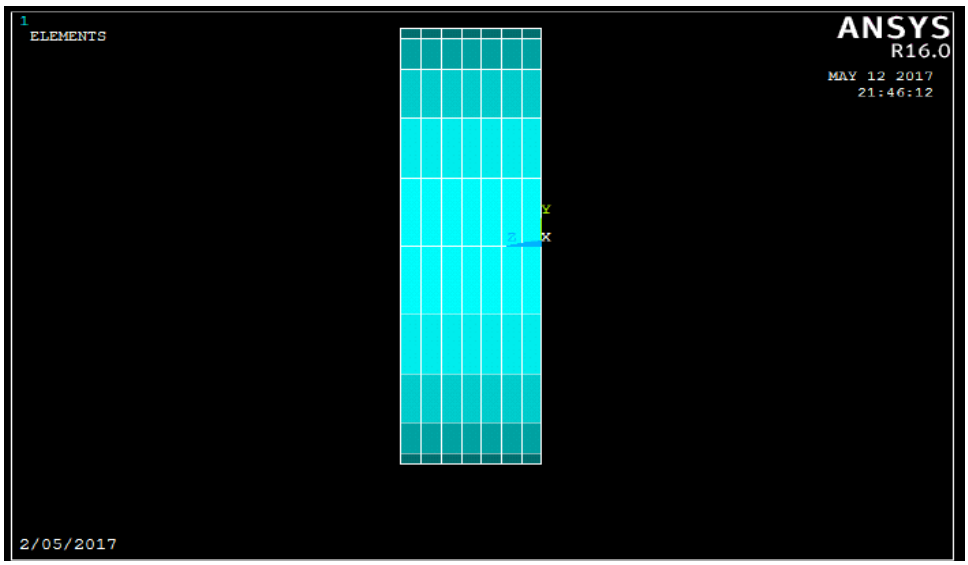


Figure IV.5: Maillage de palier2.

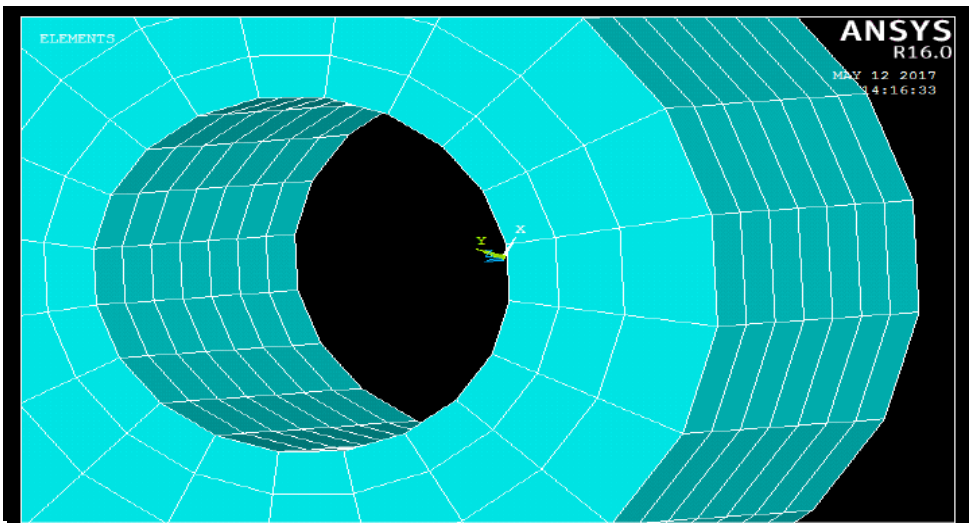


Figure IV.6: Maillage de palier3.

En premier lieu, nous allons tout d'abord choisir l'élément type de structure **(brick 8node 45)** puis on fait l'élaboration du maillage. Dans notre cas on considère que le palier est encastré dans une loge pour cela les condition aux limite adoptées consssiste a fixer les neouds externes de la structure.

après on choisit l'axe de la symétrie (z). voir la figure ci-dessous :

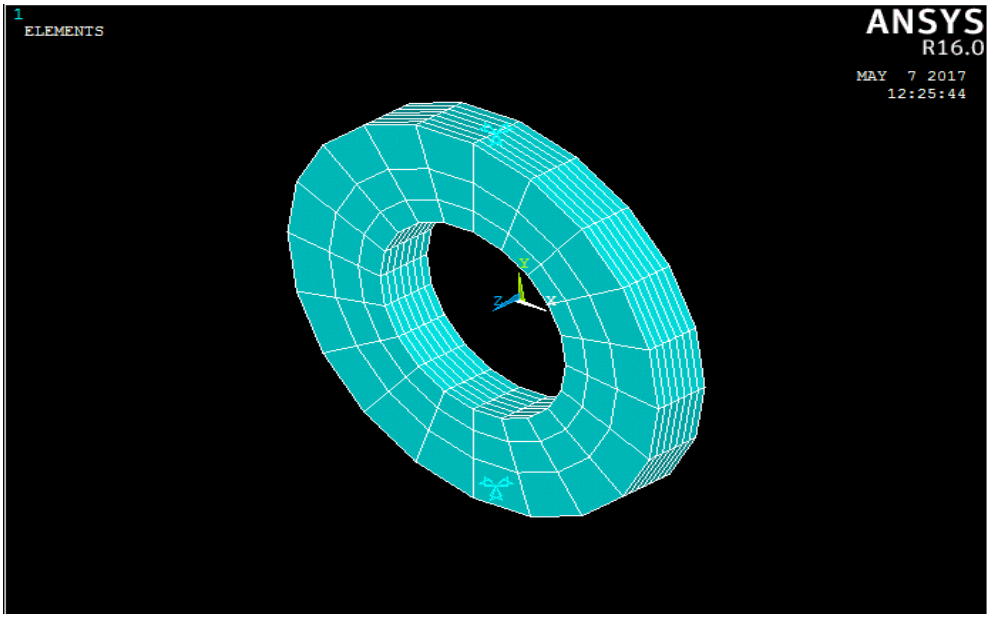


Figure IV.7 : La révolution de la structure de 3D de palier 1.

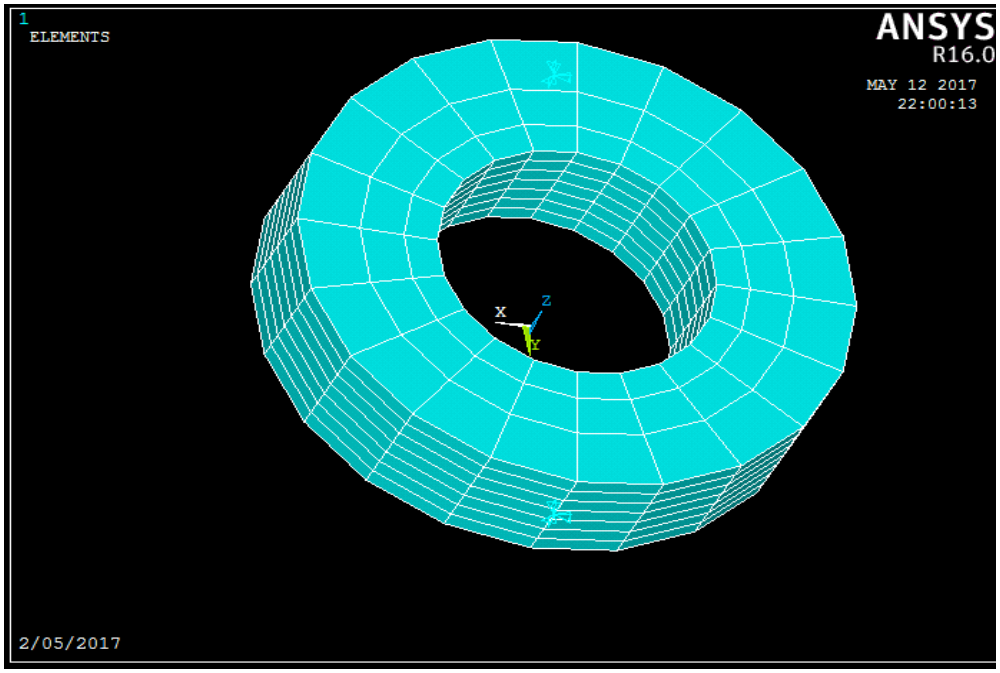


Figure IV.8 : La révolution de la structure de 3D de palier2.

.

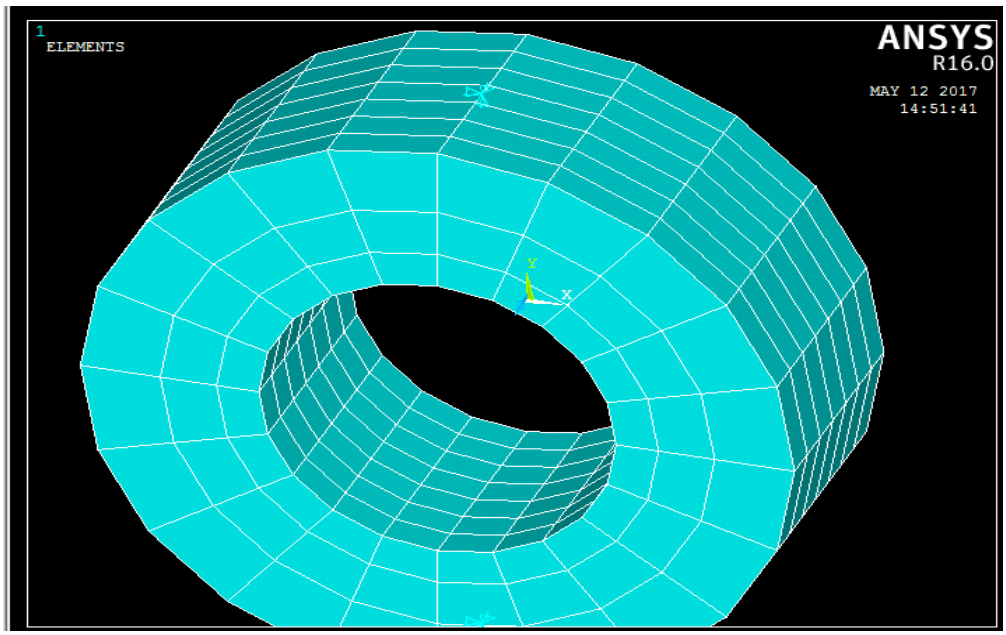


Figure IV.9 : La révolution de la structure de 3D de palier 3.

B) Application

Le champ de pression hydrodynamique applique sur lespalierset nous indroduisant les conditions aux limite dans les trois exemples à la section médéan de la structure de la structure.

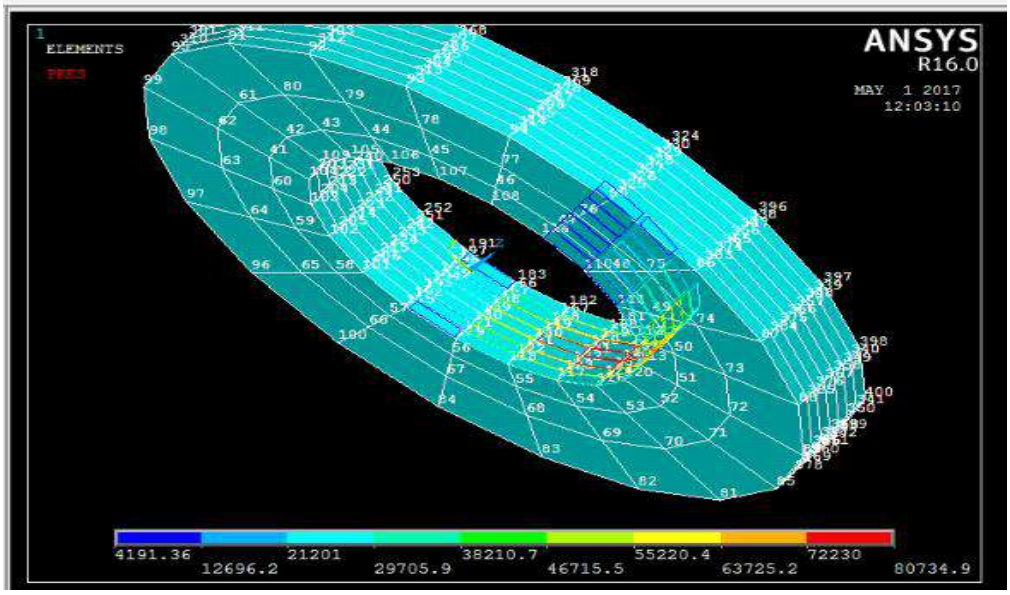


Figure V.10 : Le champ de pression appliquée sur les palier court1.

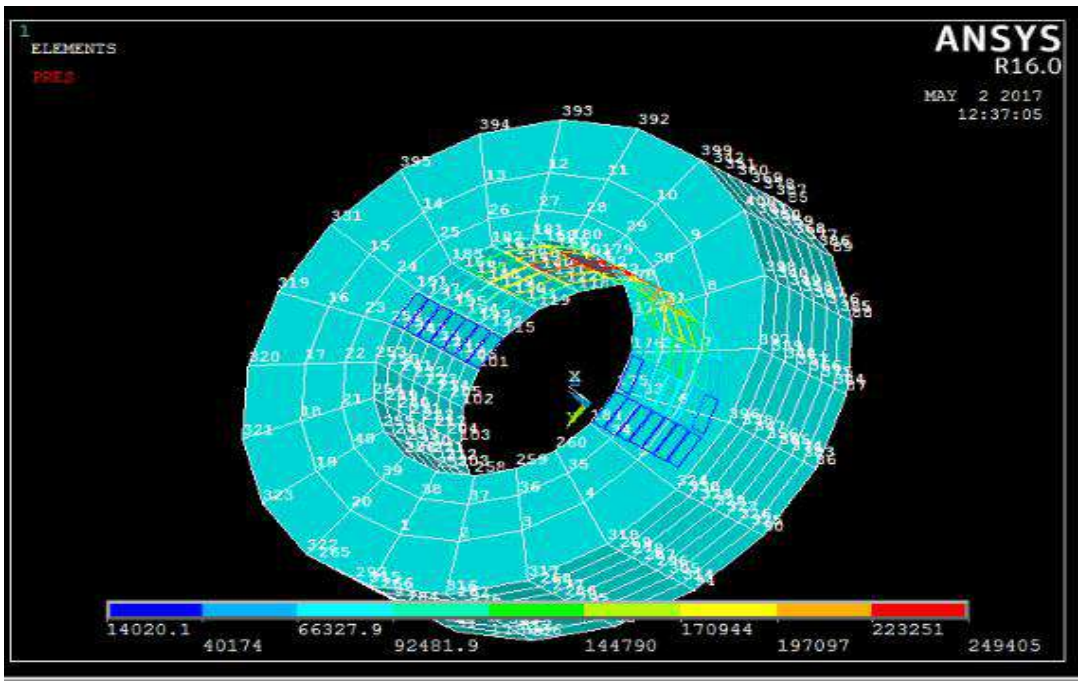


Figure IV.11 : Le champ de pression appliquée sur les palier court2.

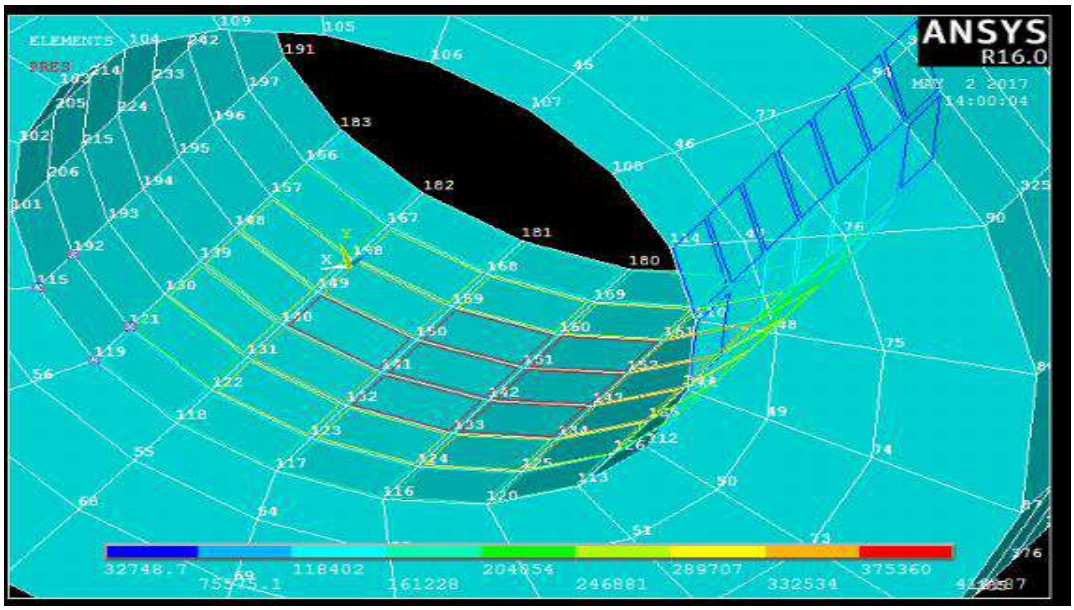


Figure IV.12 : Le champ de pression appliquée sur les palier court3.

C)Solution et résultat:

Le 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 :

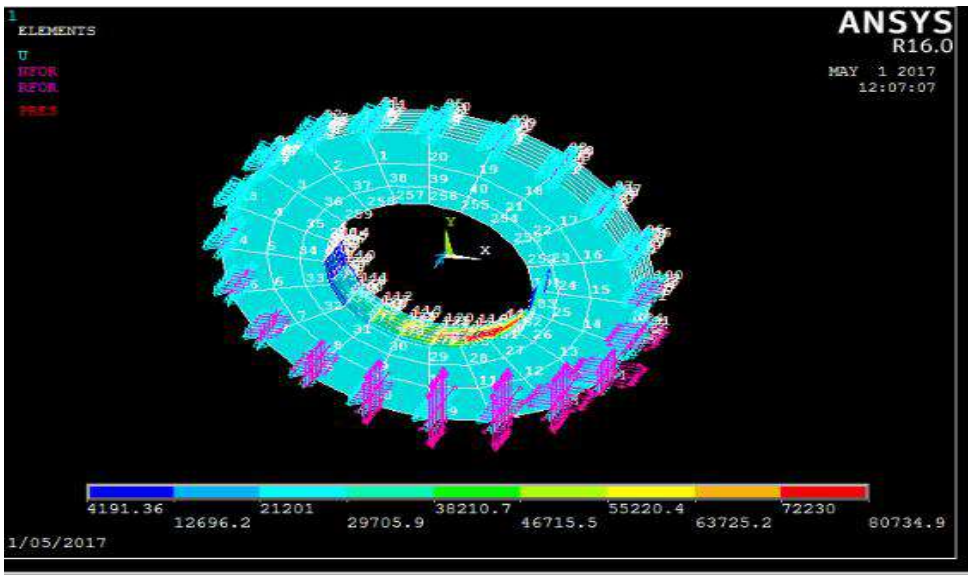


Figure IV.13: Schéma de solution sur ANSYS APDL 1.

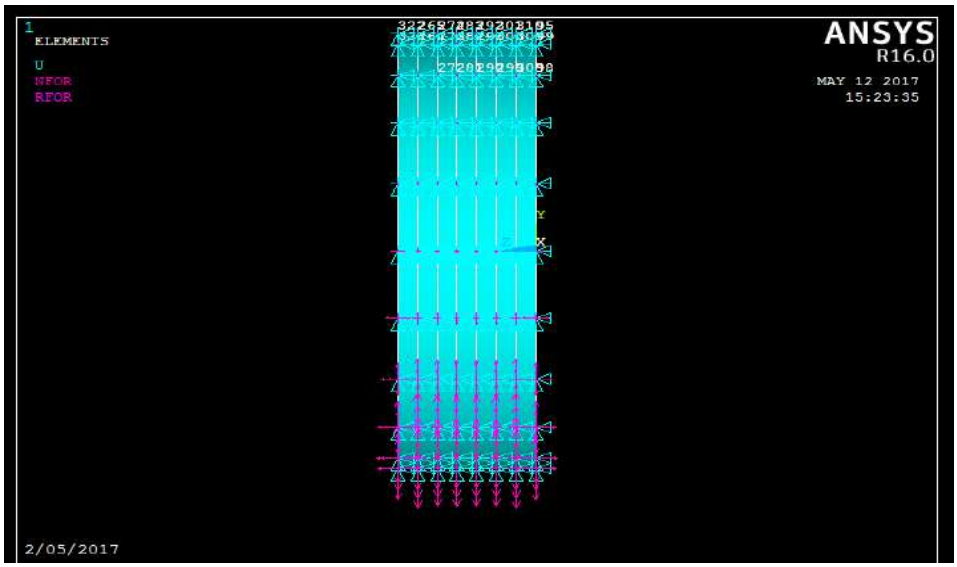


Figure IV.14: Schéma de solution sur ANSYS APDL2.

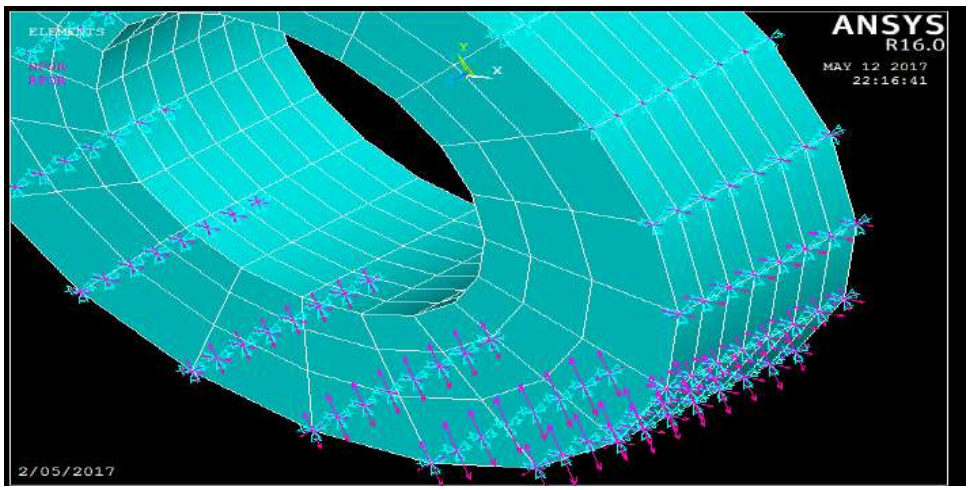


Figure IV.15: Schéma de solution sur ANSYS APDL3.

pour obtenir ces résultats on clique sur **General post-proc** nos listes de resultats on choisir **« Vecteur-sum »** :

PRNSOL Command

File

```
   101  0.10405E-04-0.41020E-04 0.65695E-05 0.42826E-04
   102  0.31651E-05-0.18620E-04 0.38736E-05 0.19280E-04
   103  0.16288E-05-0.74462E-05 0.99055E-06 0.76864E-05
   104  0.12492E-05-0.23150E-05 0.51139E-06 0.26798E-05
   105 -0.19026E-06-0.10132E-05 0.31919E-06 0.10791E-05
   106 -0.62042E-06-0.31976E-05 0.49096E-06 0.32940E-05
   107 -0.10709E-05-0.81906E-05 0.16437E-05 0.84223E-05
   108 -0.27694E-05-0.10450E-04 0.29919E-05 0.10895E-04
   109  0.52201E-06-0.85968E-06 0.19907E-06 0.10253E-05
   110 -0.48556E-04-0.68772E-04-0.11143E-05 0.84193E-04
   111 -0.69442E-04-0.12312E-03-0.57745E-05 0.14147E-03

***** 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
   112 -0.66194E-04-0.19367E-03-0.10434E-04 0.20493E-03
   113 -0.30170E-04-0.26686E-03-0.15629E-04 0.26902E-03
   114 -0.10708E-04-0.35540E-04 0.23342E-05 0.40268E-04
   115  0.60665E-04-0.75626E-04 0.22289E-05 0.96977E-04
   116  0.11842E-03-0.34051E-03-0.25332E-04 0.36140E-03
```

Figure IV.16 : Liste de résultat de déformation 1.

PRNSOL Command

File

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

  NODE      UX          UY          UZ          USUM
   112 -0.21059E-03-0.56637E-03-0.65558E-04 0.60780E-03
   113 -0.10322E-03-0.76338E-03-0.93270E-04 0.77595E-03
   114 -0.64300E-04-0.11271E-03 0.11156E-04 0.13024E-03
   115  0.27238E-03-0.20726E-03-0.11733E-04 0.34247E-03
   116  0.31992E-03-0.93827E-03-0.13713E-03 0.10008E-02
   117  0.51084E-03-0.83461E-03-0.13821E-03 0.98825E-03
   118  0.57519E-03-0.62108E-03-0.11441E-03 0.85421E-03
   119  0.47621E-03-0.38144E-03-0.66430E-04 0.61375E-03
   120  0.88690E-04-0.90542E-03-0.11902E-03 0.91750E-03
   121  0.54754E-03-0.42995E-03-0.42083E-04 0.69744E-03
   122  0.65596E-03-0.70100E-03-0.74626E-04 0.96294E-03
   123  0.58207E-03-0.94324E-03-0.90817E-04 0.11121E-02
   124  0.36453E-03-0.10636E-02-0.89884E-04 0.11279E-02
   125  0.98909E-04-0.10293E-02-0.77480E-04 0.10369E-02
   126 -0.12331E-03-0.86862E-03-0.60018E-04 0.87938E-03
   127 -0.24830E-03-0.64284E-03-0.41566E-04 0.69038E-03
   128 -0.26348E-03-0.41559E-03-0.23362E-04 0.49263E-03
   129 -0.19256E-03-0.23510E-03-0.48249E-05 0.30393E-03
   130  0.63787E-03-0.47848E-03-0.23939E-04 0.79774E-03
   131  0.75986E-03-0.79350E-03-0.42996E-04 0.10995E-02
   132  0.67121E-03-0.10762E-02-0.52783E-04 0.12694E-02
   133  0.41675E-03-0.12183E-02-0.52440E-04 0.12887E-02
```

Figure IV.17 : Liste de résultat de déformation 2.

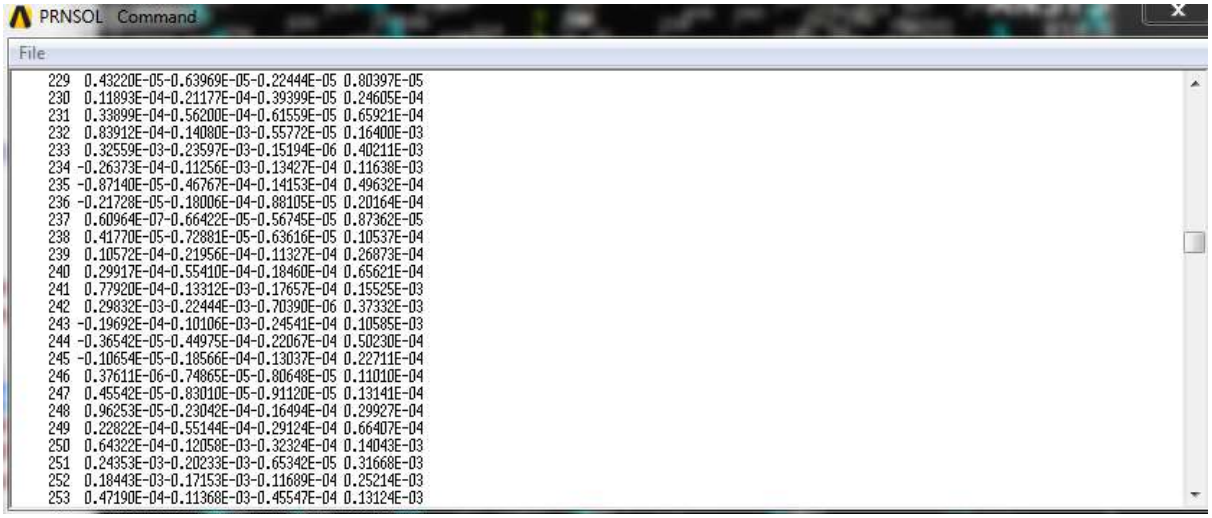


Figure IV. 18 : Liste de résultat de déformation 3.

IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a represente les étapes suivis sur ANSYS APDL (La géométrie , maillage, structure et la solution et la déformation), que dans les paliers hydrodynamique les sont plus importante dans la zone la plus chargée.

V.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 peu charger et fortement chargé.

V.2.Application :

Pour obtenir les résultats des déformations élastiques sur les paliers de rapport longueur/diamètre=(0.05/0.1/ 0.15) nous allons tout d'abord fixer les surfaces extérieurs du palier (on considere un palier encastré dans un structure rigide).

Ensuite nous allons appliquer un champ de pression hydrodynamique suivant l'angle et Ri=cts.

Remarque :on Prend les valeurs du Tableau suivant par symétrie**.**

1-Palier court L/D=0,5 :

Le champ de pression sur cette application :

Palier court faiblement charger ou l'excentricité est petite (e=0.2)

Nous allons voir le champ de pression à chaque palier ,voir le tableau de déplacement ci-dessous :

Tableau .V.1 : Tableau de champ du pression applique sur le palier court.

	champ		**de**	**pression**	**(MPa)**
Angle ɵ	1	2	3	4	5
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
18	0,00E+00	4,19E+03	7,29E+03	9,19E+03	9,83E+03
36	0,00E+00	9,74E+03	1,67E+04	2,09E+04	2,23E+04
54	0,00E+00	1,59E+04	2,72E+04	3,40E+04	3,63E+04
72	0,00E+00	2,24E+04	3,82E+04	4,77E+04	5,08E+04
90	0,00E+00	2,86E+04	4,88E+04	6,09E+04	6,49E+00
108	0,00E+00	3,37E+04	5,73E+04	7,14E+04	7,60E+04
126	0,00E+00	3,59E+04	6,10E+04	7,58E+04	8,07E+04
144	0,00E+00	3,32E+04	5,64E+04	7,02E+04	7,47E+04
162	0,00E+00	2,47E+04	4,20E+04	5,22E+04	5,56E+04
180	0,00E+00	1,16E+04	2,01E+04	2,52E+04	2,69E+04

198	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
216	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
234	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
252	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
270	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
288	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
306	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
324	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
342	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

La représentation graphique de chaque champ de pression de ce tableau 1 est comme suite:

Champ de pression e=0.2

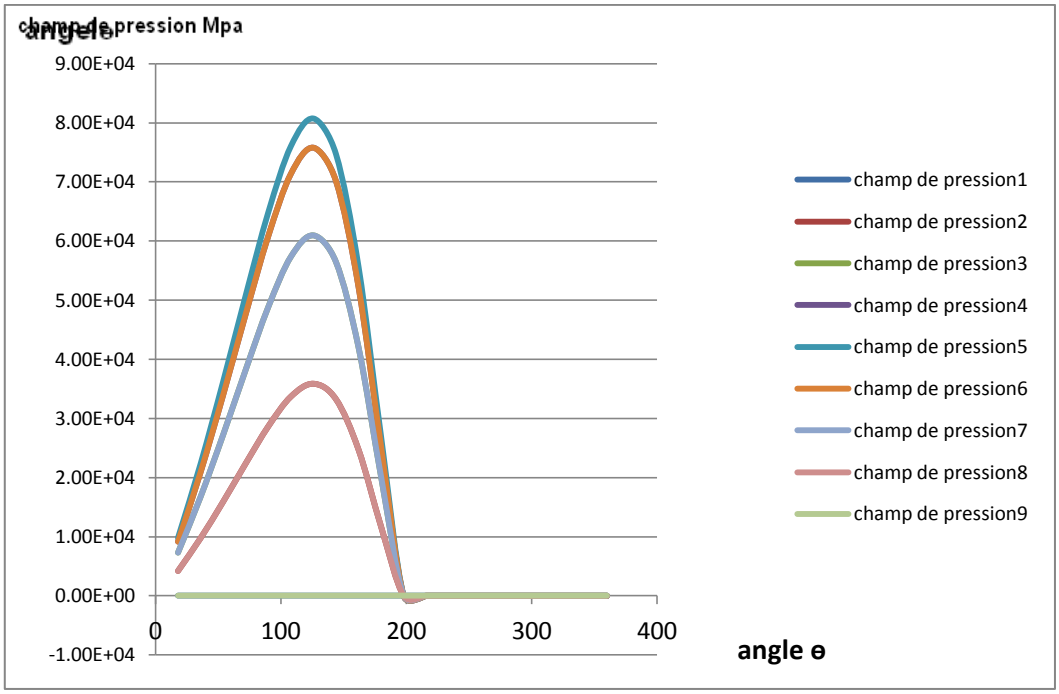


Figure V.1 : Champ de pression axial
d'un palier court faiblement chargé (L/D=0.5 et e= 0.2).

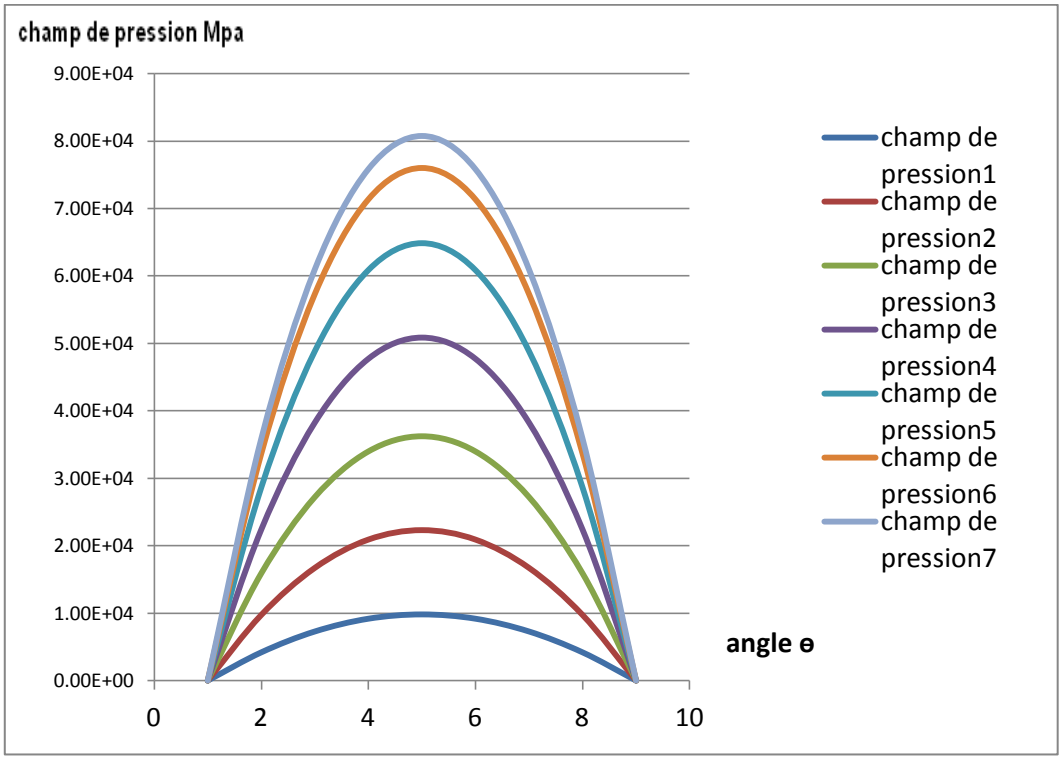


Figure.V.2 : Champ de pression radial d'un palier court faiblement chargé (L/D =0.5 et e= 0.2) .

a)- Discussion des résultats :

Les graphes de Figure (1 ; 2) représentent le champ de pression pour les paliers L/D=0,5 respectivement dans cas d'excentricité égale 0.2 pour une direction circonférentielle et axiale.

On remarque que dans la direction axiale et radiale, la pression maximale du palier et milieu Max =8.00 E+04MPa.

Dans la liste des résultats 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 milieu du palier on a considéré la surface extérieure comme support fixe,la déformation de résultat est symétrique par rapport à le linge de champ de pression.

Les résultats de déplacement (f(x,y,z)=USUM) sur le tableau ci-dessous :

l'angle θ Ri=cts D=0.5L (D donc dans cette exemple est 0.05m), pour obtenir juste la déformation radiale et axiale du palier court faiblement/fortement chargé :

Tableau.V.2 : Tableau de déformation du palier court faiblement/fortement charge .

	Déplacement	f(x,y,z)	pour	E=0.2µm
angle(θ)	1	2	3	4
0	7,69E-06	7,45E-06	7,38E-06	7,36E-06
18	1,93E-05	1,85E-05	1,81E-05	1,79E-05
36	4,28E-05	4,27E-05	4,27E-05	4,28E-05
54	9,70E-05	1,00E-04	1,04E-04	1,07E-04
72	2,04E-04	2,13E-04	2,26E-04	2,34E-04
90	3,04E-04	3,17E-04	3,38E-04	3,51E-04
108	3,59E-04	3,74E-04	3,99E-04	4,15E-04
126	3,61E-04	3,77E-04	4,03E-04	4,18E-04
144	3,26E-04	3,40E-04	3,63E-04	3,77E-04
162	2,69E-04	2,81E-04	3,00E-04	3,11E-04
180	2,05E-04	2,14E-04	2,28E-04	2,37E-04
198	1,41E-04	1,48E-04	1,57E-04	1,63E-04
216	8,42E-05	8,77E-05	9,26E-05	9,56E-05
234	4,03E-05	4,13E-05	4,25E-05	4,32E-05
252	1,89E-05	1,87E-05	1,86E-05	1,86E-05
270	8,42E-06	8,08E-06	7,92E-06	7,84E-06
288	3,29E-06	3,20E-06	3,18E-06	3,17E-06
306	1,08E-06	1,05E-06	1,07E-06	1,08E-06
324	1,03E-06	1,02E-06	1,04E-06	1,06E-06
342	2,68E-06	2,63E-06	2,63E-06	2,63E-06
360	7,69E-06	7,45E-06	7,38E-06	7,36E-06

On a tracé les résultats de la déformation f(x,y,z) dans le graphe:

La **figureV. 3** représente la déformation élastique radial du palier court faiblement chargé :

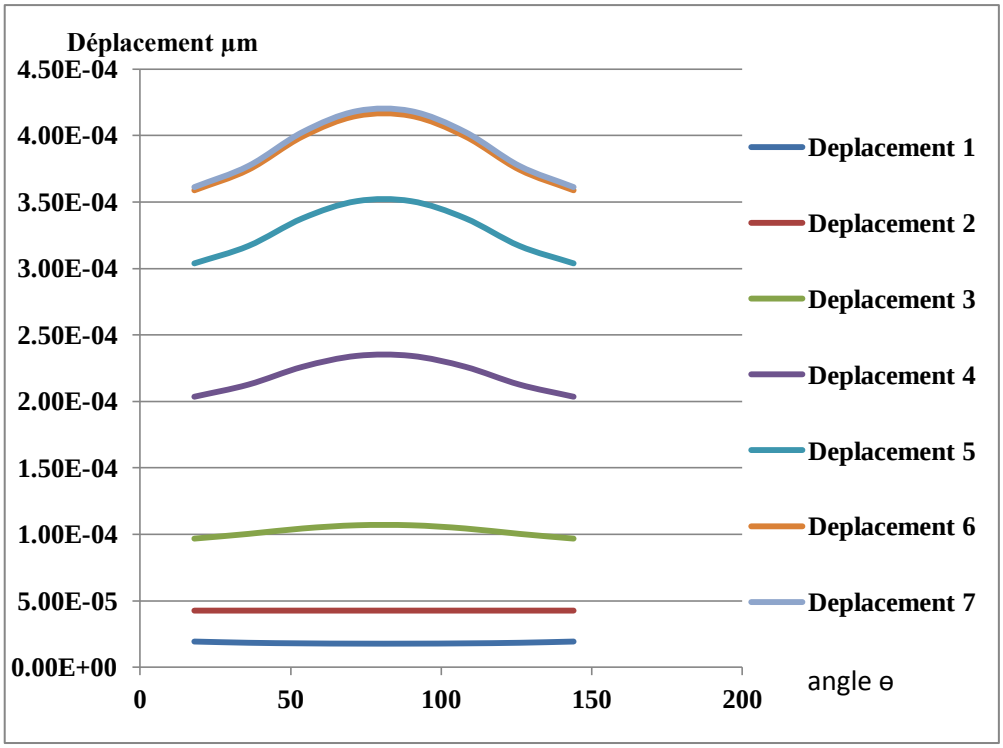


Figure V.3 : Déformation élastique radial sur chaque éléments du palier court faiblement chargé (D/L=0,5 et e=0,2).

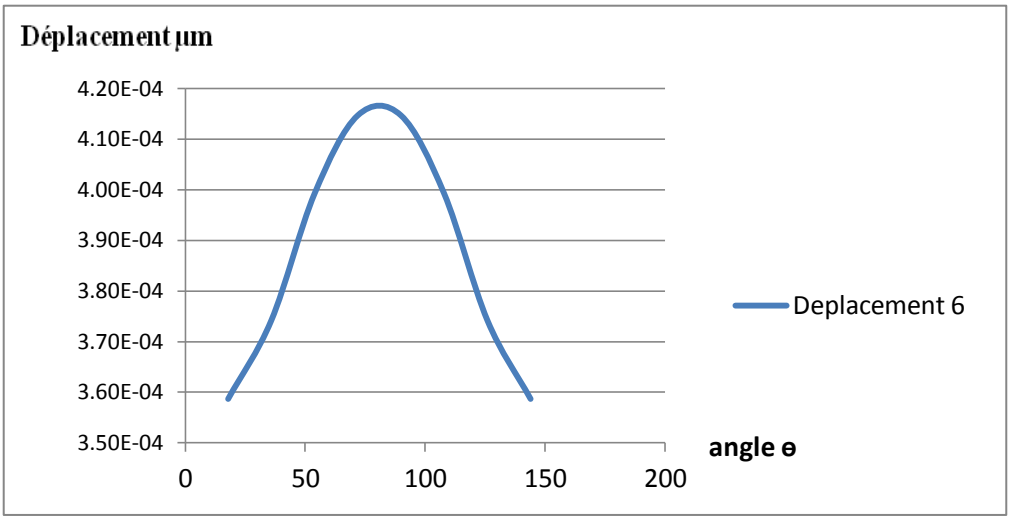


Figure .V.4 : Déformation élastique radial sur millieux du palier court faiblement chargé .

La **figure 5** représente la déformation élastique axial du palier court faiblement charger :

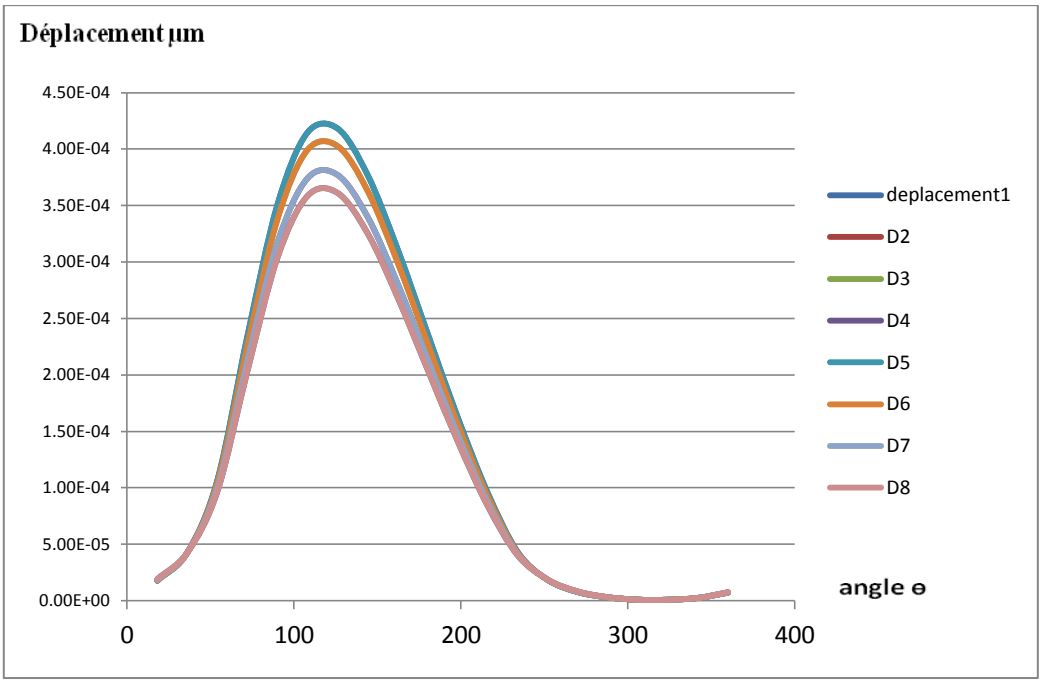


Figure V.5 : Déformation élastique axial de palier court faiblement chargé (D/L=0,5 et e=0,2).

b-Discussion des résultats :

les graphe **Figure** (3,4,5)representent déplacement nadaux pour le cas d' extricité=0.2 on remarque que les déplacements nodaux sont réparties en 2D suivant les direction cirecanférentielle et le direction axiale (4,00E -04<max >4,50E-04).

les déformations sont beaucaup plus importantes au millieu du palier **(figue.V.4),**et dans les régions de léppaisseur minimale du palier fluide.

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

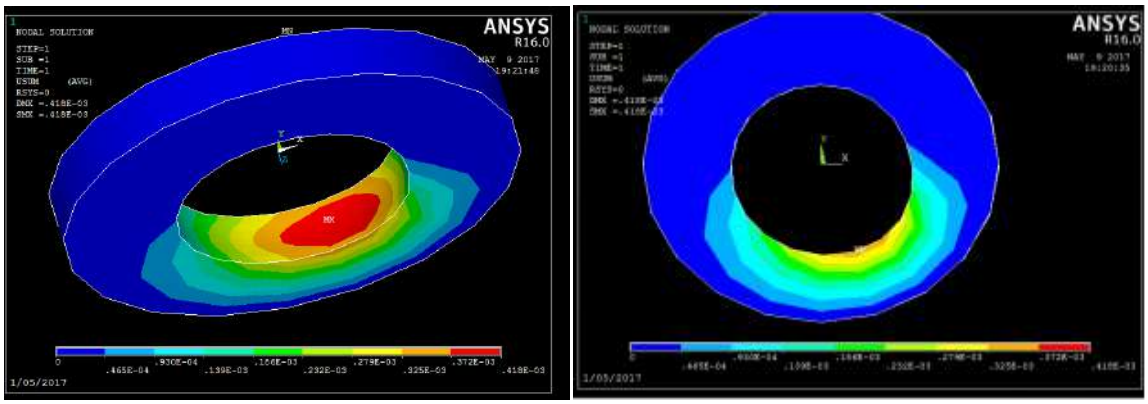


Figure V.6: schéma de déformation élastique du palier à court faiblement chargé(e=0.2).

c-Discussion des résultats :

Dans le graphe de **figure.V.6,** on constateque la déformation augmente rapidement en fonction de θ entre 0° et 90° (position de déformation maximale du palier court faiblement chargé f(x,y,z)= 4 ,00E-04µm),et dans l'intervalle 72°<θ<126° la déformation décroissante et tend vers zéro (f(x,y,z)→0) en se rapprochant de 360°.

2-Palier longueur finie L/D=1 :

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

a- Palier à longueur finie faiblement chargé ou l'excentricité est petite (e=0.2).

b- Palier à longueur finie fortement chargé avec une excentricité plus grande (e=0.8).

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

Tableau.V.3: Tableau de champ de pression applique sur un palier à longueur finie (e=0.2).

	champ	**de**	**pression**	**(MPa)**	**E=0.2**
Angel ɵ	1	2	3	4	5
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
18	0,00E+00	1,70E+04	2,94E+04	3,68E+04	3,93E+04
36	0,00E+00	3,62E+04	6,17E+04	7,68E+04	8,18E+04
54	0,00E+00	5,63E+04	9,55E+04	1,18E+05	1,26E+05
72	0,00E+00	7,66E+04	1,29E+05	1,60E+05	1,70E+05
90	0,00E+00	9,52E+04	1,60E+05	1,97E+05	2,10E+05
108	0,00E+00	1,09E+05	1,83E+05	2,25E+05	2,39E+05
126	0,00E+00	1,14E+05	1,91E+05	2,35E+05	2,49E+05
144	0,00E+00	1,06E+05	1,77E+05	2,18E+05	2,32E+05
162	0,00E+00	8,27E+04	1,39E+05	1,72E+05	1,82E+05
180	0,00E+00	4,79E+04	8,27E+04	1,04E+05	1,11E+05
198	0,00E+00	1,40E+04	2,77E+04	3,69E+04	4,01E+04
216	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
234	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
252	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
270	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
288	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
306	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

324	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
342	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
360	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

a.Les paliers faiblement chargé e=0.2 :

La représentation graphique de chaque champ de pression de ce tableau est comme suite Champ de pression e=0.2 :

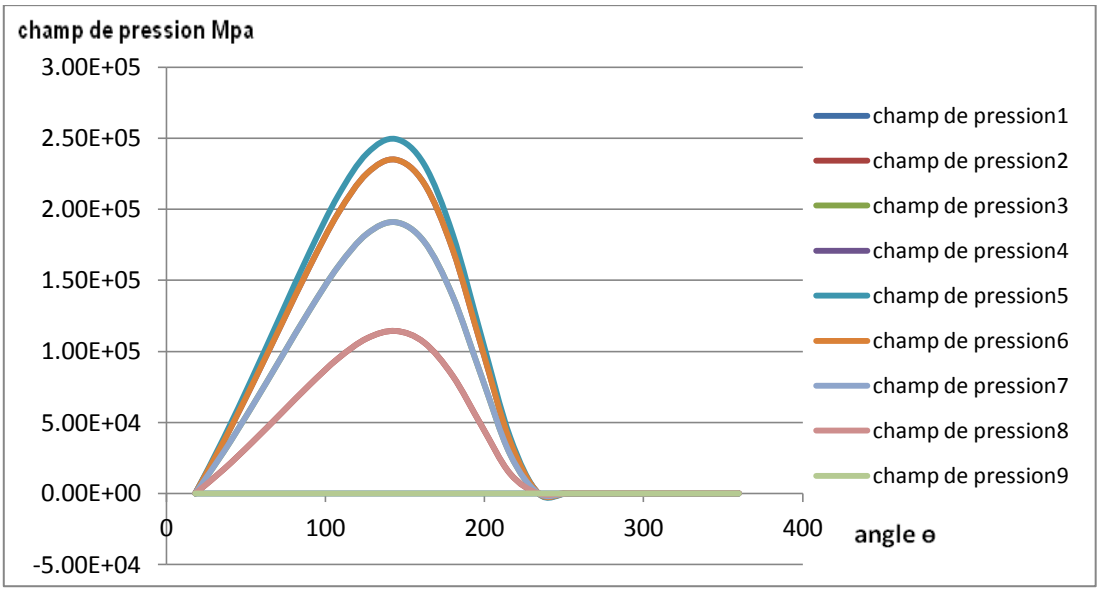


Figure V.7 : Champ de pression axial de palier à longueur finie faiblement chargé e=0.2.

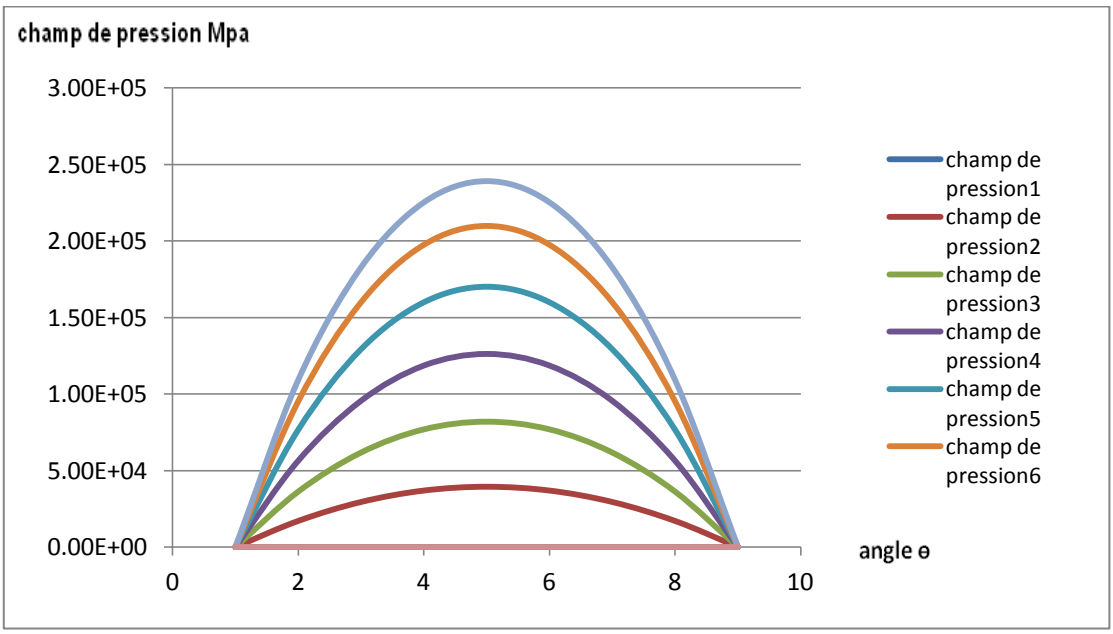


Figure V.8: Champ de pression radial de palier à longueur finie faiblement chargé e=0.2.

b.Les paliers fortement chargé e=0.8:

Tableau.V.4: Tableau de champ de pression applique sur un palier à longueur finie (e=0.8).

	Champ	de	pression	(Mpa)	E=0.8
Angel ɵ	1	2	3	4	5
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
18	0,00E+00	2,92E+04	5,12E+04	6,49E+04	6,94E+04
36	0,00E+00	6,49E+04	1,13E+05	1,42E+05	1,52E+05
54	0,00E+00	1,13E+05	1,95E+05	2,45E+05	2,61E+05
72	0,00E+00	1,87E+05	3,19E+05	3,97E+05	4,23E+05
90	0,00E+00	3,08E+05	5,19E+05	6,41E+05	6,81E+05
108	0,00E+00	5,24E+05	8,68E+05	1,06E+06	1,13E+06
126	0,00E+00	9,33E+05	1,51E+06	1,83E+06	1,93E+06
144	0,00E+00	1,70E+06	2,69E+06	3,20E+06	3,35E+06
162	0,00E+00	2,82E+06	4,33E+06	5,07E+06	5,30E+06
180	0,00E+00	2,59E+06	3,96E+06	4,62E+06	4,81E+06
198	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
216	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
234	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
252	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
270	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
288	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
306	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
324	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
342	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
360	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

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

Champ de pression **e=0.8** :

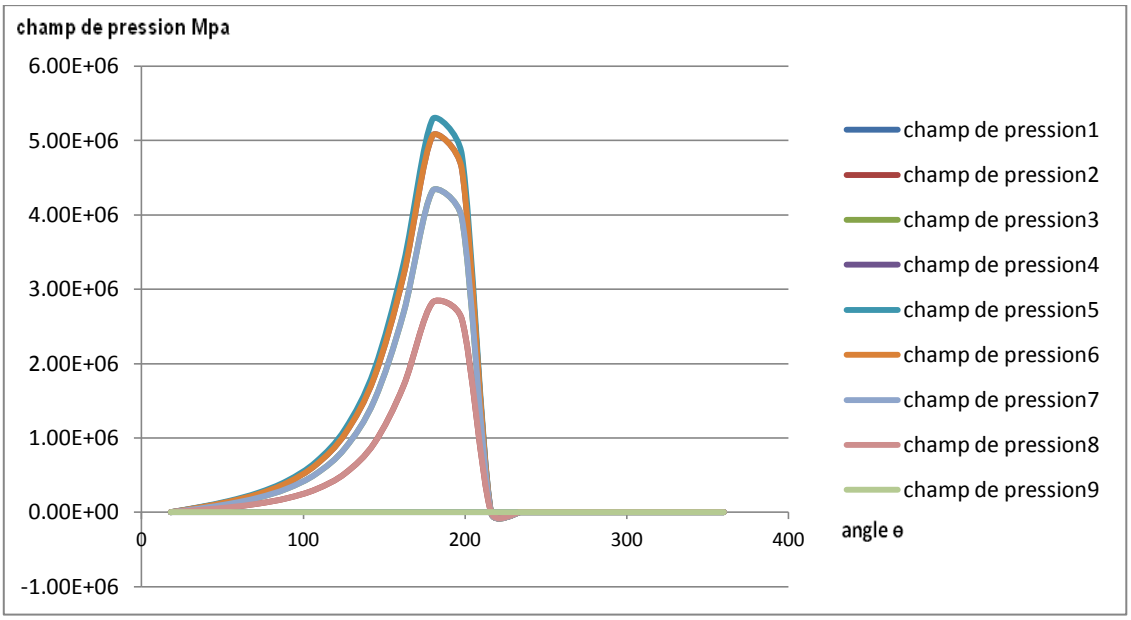


Figure .V.9: Champ de pression axial de palier à longueur finie e=0.8.

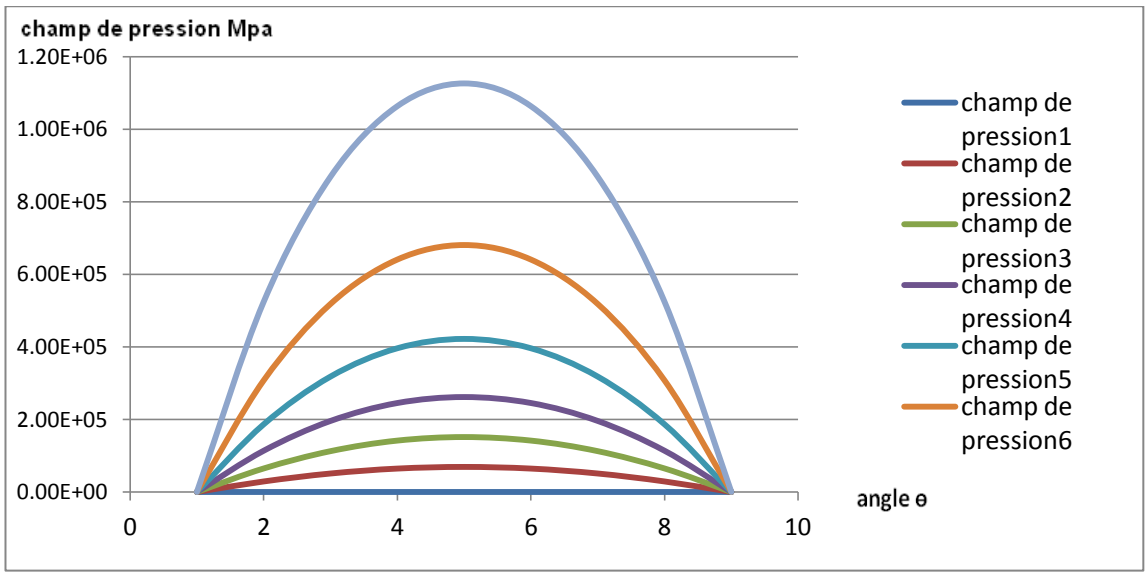


Figure V.10: Champ de pression radial de palier à longueur finie e=0.8.

a-Discussion des résultats :

On remarque que ici que la pression du palier faiblement chargé très petite aux la pression du palier fortement chargé P(e=0.2) max = 2,49 E+05 <P (e=0.8) max=5,30E+06.

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 au milieu du palier on a

considéré la surface extérieure comme support fixe,la déformation de résultat est symétrique par rapport à le linge de champ de pression.

Les résultats de déplacement (f(x,y,z)=USUM) sur le tableau ci-dessous varient suivant :

l'angle θ Ri=cts D=1L (D donc dans cette exemple est 0.1m), pour obtenir juste la déformation du palier à longueur finie faiblement/fortement charger :

c. <u>Les paliers faiblement chargé e=0.2 :</u>

Tableau.V.5 : Tableau de déformation de palier à longueur finie faiblement charge e=0.2.

	Déplacement	**f(x,y,z)**	**Pour**	**E=0.2µm**
Angle ɵ	1	2	3	4
0	4,01E-05	3,61E-05	3,46E-05	3,38E-05
18	8,25E-05	8,08E-05	8,30E-05	8,47E-05
36	1,58E-04	1,75E-04	1,94E-04	2,04E-04
54	3,42E-04	3,94E-04	4,51E-04	4,83E-04
72	6,14E+04	6,97E-04	7,98E-04	8,52E-04
90	8,54E-04	9,63E-04	1,10E-03	1,17E-03
108	9,88E-04	1,11E-03	1,27E-03	1,35E-03
126	1,00E-03	1,13E-03	1,29E-03	1,37E-03
144	9,18E-04	1,04E-03	1,19E-03	1,27E-03
162	7,76E-04	8,79E-04	1,01E-03	1,08E-03
180	6,08E-04	6,90E-04	7,91E-04	8,46E-04
198	4,33E-04	4,93E-04	5,64E-04	6,03E-04
216	2,66E-04	3,04E-04	3,47E-04	3,71E-04
234	1,30E-04	1,45E-04	1,60E-04	1,69E-04
252	6,54E-05	6,56E-05	6,76E-05	6,91E-05
270	3,26E-05	2,96E-05	2,86E-05	2,82E-05
288	1,35E-05	1,20E-05	1,14E-05	1,09E-05
306	4,86E-06	4,37E-06	4,19E-06	3,94E-06
324	5,79E-06	5,22E-06	4,95E-06	4,66E-06
342	1,62E-05	1,43E-05	1,35E-05	1,30E-05
360	4,01E-05	3,61E-05	3,46E-05	3,38E-05

On a tracé les résultat de déformation f(x,y,z) dans le graphe:

La **figure11 ,12,13** représenté la déformation élastique radial et axial du palier à longueur finie faiblement charger.

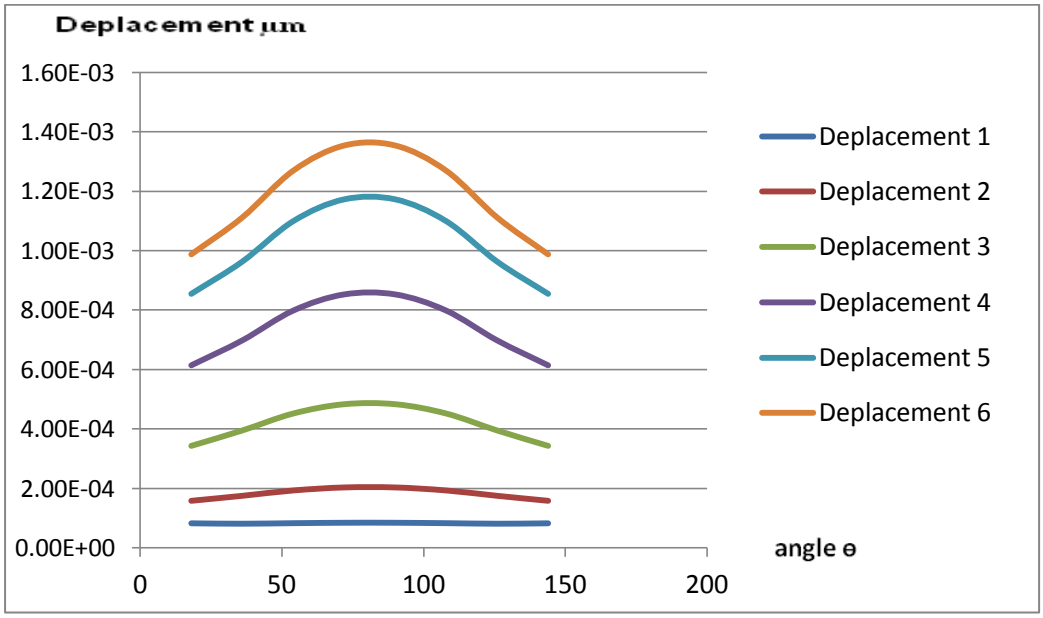


Figure V.11: Déformation élastique sur chaque élement radial de palier à longueur finie faiblement chargé(D/L=1et e=0,2) .

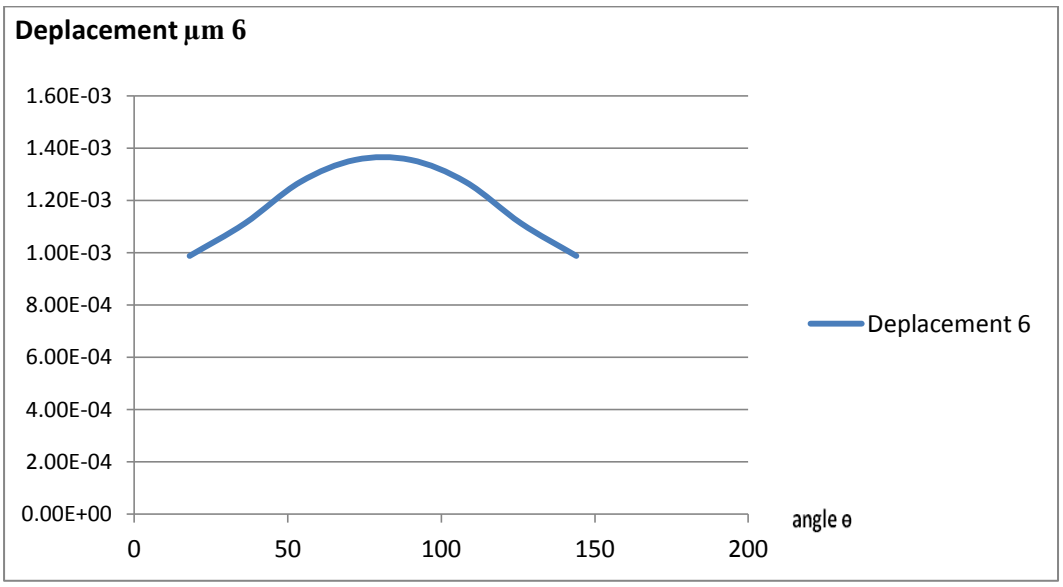


Figure.V.12: Déformation élastique radial sur millieu de palier à longueur finie faiblement chargé (D/L=1et e=0,2)

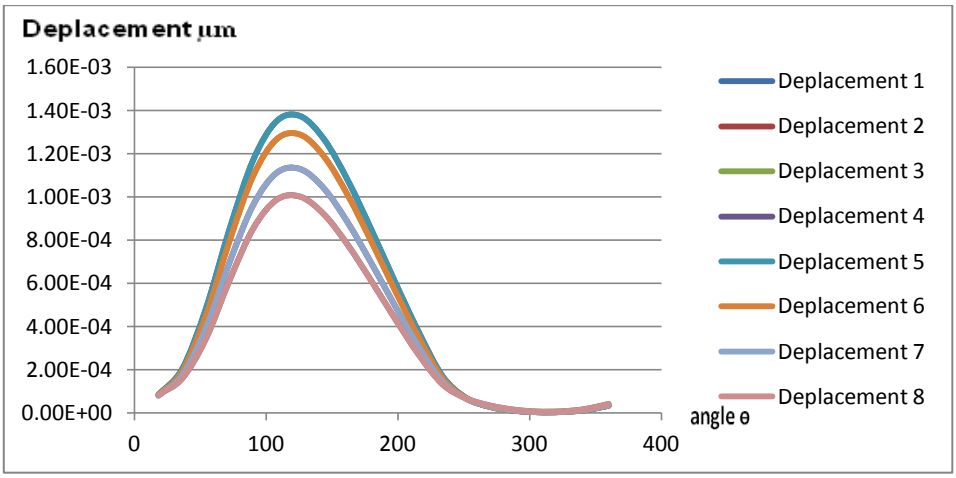


Figure V.13 : Déformation élastique axial du palier à longueur finie faiblement chargé (D/L=1et e=0,2).

d.Les paliers fortement chargé e=0.8 :

Tableau .V.6 : Tableau de déformation de palier à longueur finie e=0.8

	Déplacement	f(x,y,z)	pour	e=0.8µm
Angel ɵ	1	2	3	4
0	2,32E-03	2,22E-03	2,26E-03	2,29E-03
18	1,08E-03	9,62E-04	9,27E-04	9,07E-04
36	3,84E-04	3,32E-04	3,07E-04	2,89E-04
54	1,32E-04	1,17E-04	1,09E-04	1,02E-04
72	5,80E-05	5,11E-05	4,59E-05	4,27E-05
90	3,23E-05	2,99E-05	2,75E-05	2,51E-05
108	6,94E-05	6,07E-05	5,69E-05	5,42E-05
126	1,55E-04	1,49E-04	1,49E-04	1,50E-04
144	2,97E-04	3,09E-04	3,27E-04	3,39E-04
162	5,58E-04	6,14E-04	6,90E-04	7,31E-04
180	9,56E-04	1,07E-03	1,19E-03	1,27E-03
198	1,53E-03	1,74E-03	2,12E-03	2,28E-03
216	2,41E-03	2,76E-03	3,27E-03	3,50E-03
234	4,04E-03	4,62E-03	5,25E-03	5,59E-03
252	7,17E-03	8,16E-03	9,25E-03	9,79E-03
270	1,27E-02	1,41E-02	1,57E-02	1,65E-02

288	1,97E-02	2,15E-02	2,38E-02	2,50E-02
306	2,20E-02	2,41E-02	2,69E-02	2,83E-02
324	1,26E-02	1,40E-02	1,54E-02	1,60E-02
342	4,38E-03	4,92E-03	5,24E-03	5,40E-03
360	2,32E-03	2,22E-03	2,26E-03	2,29E-03

On a tracé les résultat de déformation f(x,y,z) dans le graphe :

La **figure 14,15,16** représente la déformation élastique radial et axial du palier à longueur finie :

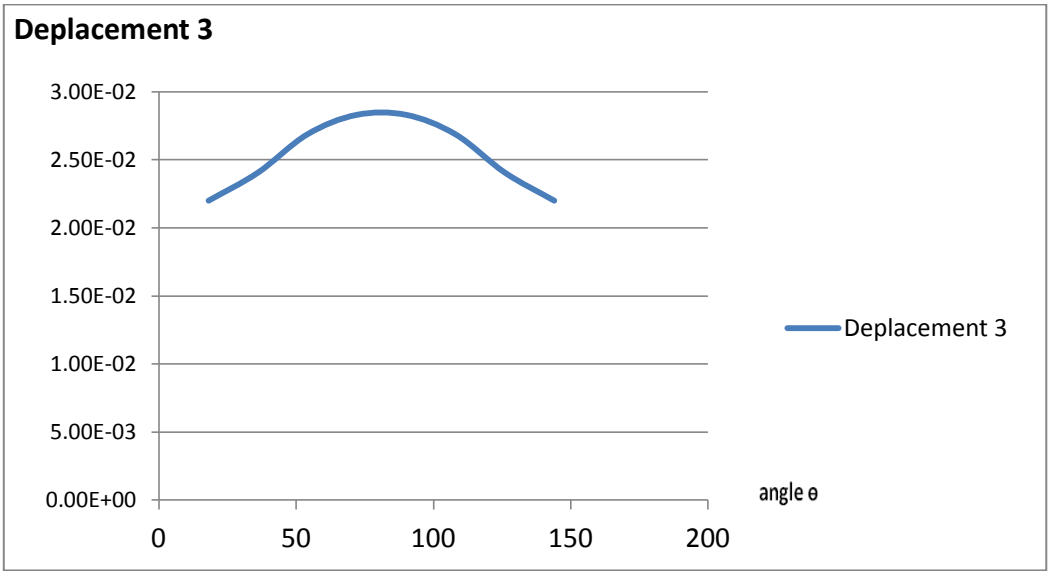


Figure V.14: Déformation élastique radia élement du palier à longueur finie fortement Chargé (D/L=1et e=0,8).

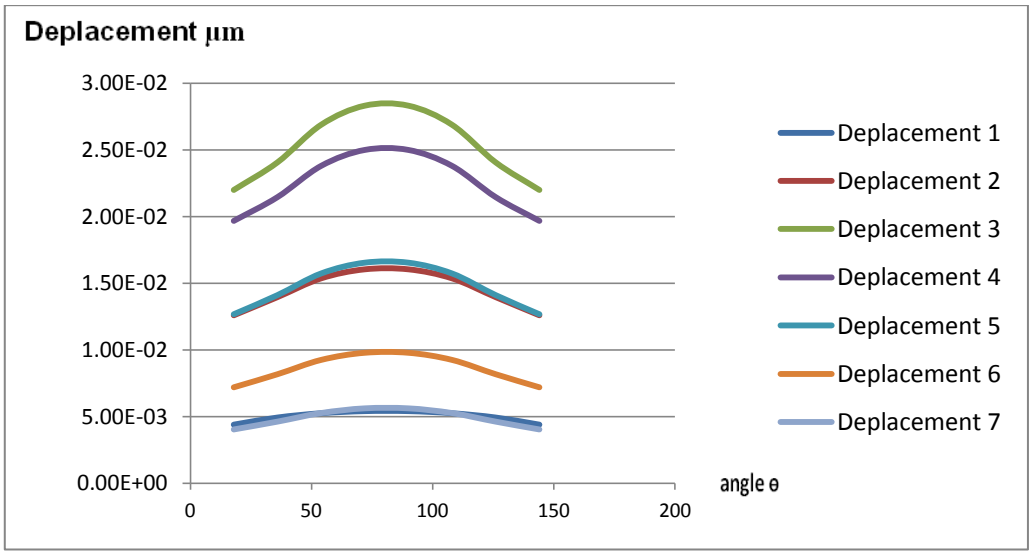


Figure. V.15 : Déformation élastique radial sur chaque élement du palier à longueur finie fortement chargé (D/L=1et e=0,8).

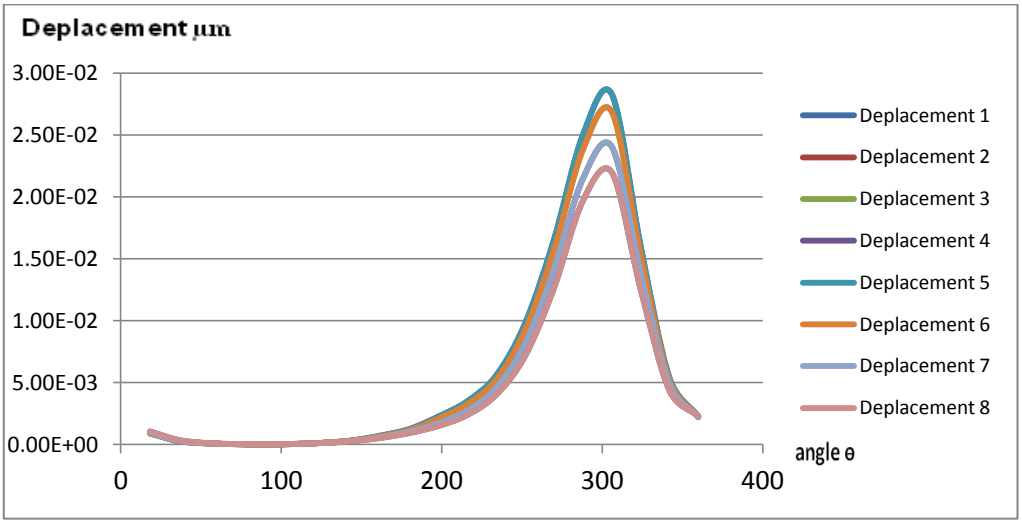


Figure V.16: Déformation élastique axial du palier à longueur finie fortement charger (D/L=1et e=0,8)

a.<u>Discussion des résultats</u> :

les figures(14 ;15 ;16) representent déplacement nadaux pour les cas d'extricité=0.2;0.8.

On remarque que les déplacements nadaus sont réparties en 2D suivant les directions cirecanférentielle et la direction axiale .

les déformations sont beaucaups plus importants du millieu du palier (figure.V.14),et dans les régions de léppaisseur minimale du palier fluide.

Dans le graphe des figures, On constat que la déformation est augmenter lentement

en fonction de θ est entre les points angulaires 0° et 100° et(la déplacement maximal) f(x,y,z)= 1,35E-03µm), et dans l'intervalle 72°<θ<126° la déformation décroissante et vers zéro (f(x,y,z)→0) jusqu' a θ→ 360°.

Le schéma ci-dessous représente les contours de la déformation d'un palier à longueur finie charge(e=0,2 e=0.8) obtenus par le logiciel ANSYS APDL :

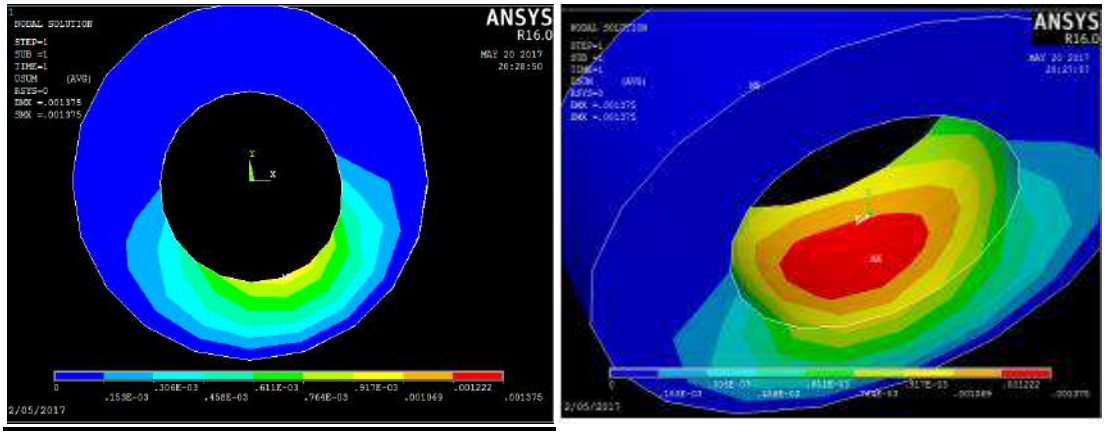


Figure V.17: schéma de déformation élastique du palier à longueur finie faiblement chargé (e=0.2).

b.<u>Discussion des résultats :</u>

Dans le graphe de **figure**.V.17, on constat que la déformation est augmente rapidement en fonction de θ entre 0° et 126° (valeur maximale de déplacement f(x,y,z)= **1,37E-03**) et elle est décroissante rapidement dans l'intervalle 72°<θ<126°.

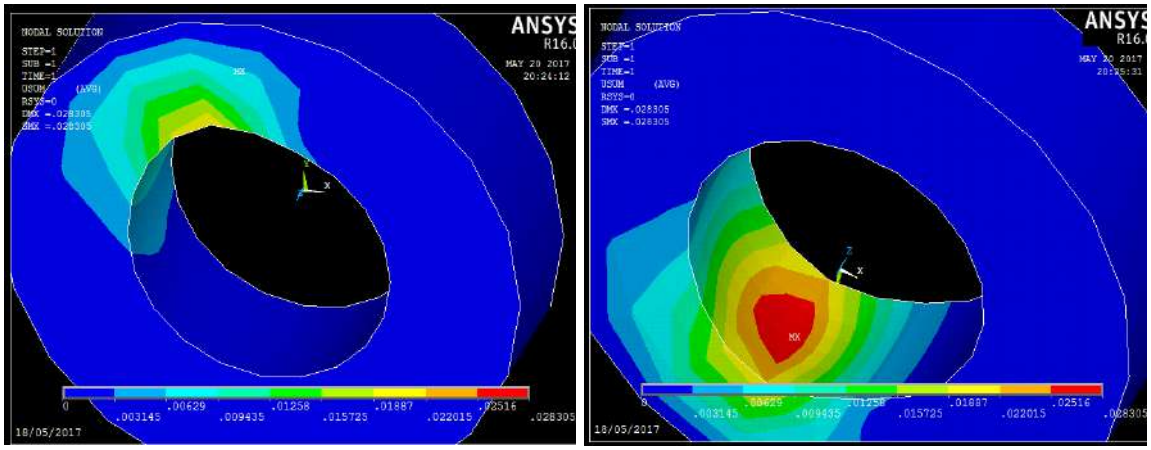


Figure V.18: schéma de déformation élastique du palier à longueur finie fortement chargé (e=0.8).

c.Discussion des résultats :

Dans le graphe de **figure**.V.18, on constat que la déformation est augmente rapidement en fonction de θ entre 0° et 126° (valeur maximale de déplacement f(x,y,z)= 2,83E-02) et elle est décroissante rapidement dans l'intervalle 72°<θ<126°.

3) Palier long L/D=1.5 :

Il de champ de pression sur cette application :

*Palier long faiblement charger ou l'excentricité est petite (e=0.2)

Nous allons voire champ de pression à chaque paliers, voir le tableau de déplacement ci-dessous :

Tableau.V.7: Tableau de champ de pression applique sur un palier à long(e=0.2).

	Champ	**de**	**pression**	**E=0.8µm**	
Angle θ	1	2	3	4	5
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
18	0,00E+00	3,27E+04	5,55E+04	6,87E+04	7,30E+04
36	0,00E+00	6,77E+04	1,13E+05	1,40E+05	1,48E+05
54	0,00E+00	1,03E+05	1,72E+05	2,11E+05	2,24E+05
72	0,00E+00	1,38E+05	2,29E+05	2,79E+05	2,96E+05
90	0,00E+00	1,69E+05	2,78E+05	3,39E+05	3,59E+05
108	0,00E+00	1,92E+05	3,14E+05	3,82E+05	4,04E+05
126	0,00E+00	2,00E+05	3,26E+05	3,96E+05	4,18E+05
144	0,00E+00	1,86E+05	3,04E+05	3,69E+05	3,90E+05
162	0,00E+00	1,48E+05	2,43E+05	2,97E+05	3,14E+05
180	0,00E+00	9,13E+04	1,55E+05	1,91E+05	2,03E+05
198	0,00E+00	3,38E+04	6,27E+04	8,05E+04	8,64E+04
216	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
234	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
252	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
270	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
288	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
306	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
324	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

342	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
360	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

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

Champ de pression e=0.2.

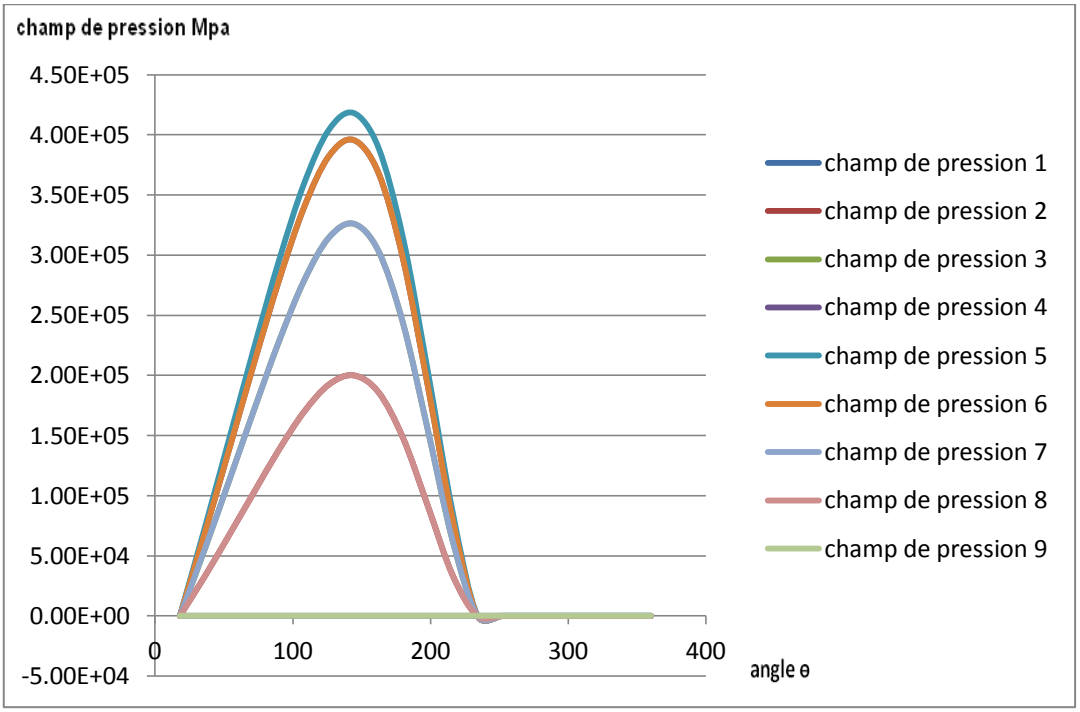


Figure.V.19: Champ de pression axial de palier à long e=0,2.

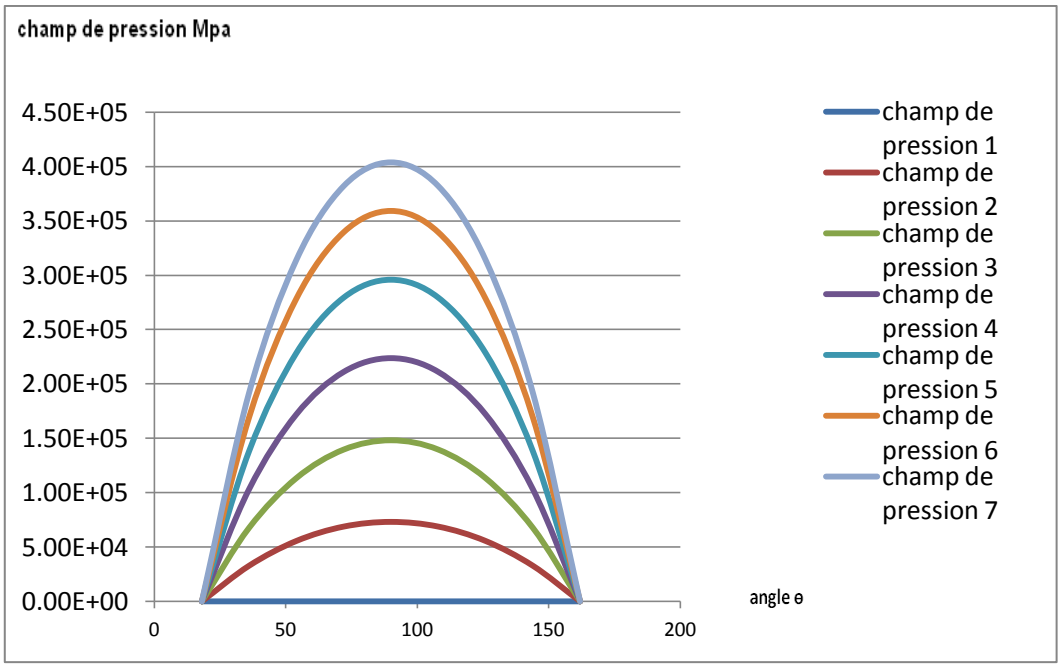


Figure.V.20: Champ de pression radial de palier à long e=0,2.

a-Discussion des résultats :

Les graphes **Figure.V.(19 ; 20)** représentent champ de pression pour du palier L/D=0,15 respectivement dans cas d'excentricité égale 0.2 pour une direction circonférentielle et axiale.

On remarque que la direction axial et radial la pression maximal du palier en milieu max=4.05 E+05Mpa.

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 du palier on a considéré la surface extérieure comme support fixe, la déformation de résultat 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 Ri=cts Z=1.5L (D donc dans cette exemple est 0.15m), pour obtenir juste la déformation du palier à long faiblement/fortement charger :

Il de champ de pression sur cette application :

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

Nous allons voire champ de pression à chaque paliers ,voir le tableau de déplacement ci-dessous :

Tableau V.8: Tableau de deplacement applique sur un palier à long (e=0.2).

	déplacement		**f(x,y,z)**	**E=0.2µm**
Angel ɵ	**1**	**2**	**3**	**4**
18	1,31E-04	1,40E-04	1,55E-04	1,64E-04
36	2,52E-04	3,17E-04	3,73E-04	4,02E-04
54	5,74E-04	7,09E-04	8,47E-04	9,19E-04
72	1,01E-03	1,20E-03	1,41E-03	1,53E-03
90	1,38E-03	1,61E-03	1,89E-03	2,04E-03
108	1,58E-03	1,84E-03	2,16E-03	2,32E-03
126	1,61E-03	1,87E-03	2,20E-03	2,36E-03
144	1,49E-03	1,74E-03	2,04E-03	2,20E-03
162	1,27E-03	1,49E-03	1,76E-03	1,89E-03

180	1,00E-03	1,19E-03	1,40E-03	1,89E-03
198	7,12E-04	8,58E-04	1,02E-03	1,10E-03
216	4,29E-04	5,12E-04	6,15E-04	6,83E-04
234	1,97E-04	2,31E-04	2,73E-04	3,09E-04
252	9,96E-05	1,06E-04	1,16E-04	1,24E-04
270	5,57E-05	5,02E-05	4,96E-05	4,95E-05
288	2,72E-05	2,27E-05	2,02E-05	1,84E-05
306	1,36E-05	1,10E-05	8,74E-06	6,20E-06
324	1,64E-05	1,31E-05	1,05E-05	8,04E-06
342	3,58E-05	2,99E-05	2,69E-05	2,46E-05
360	7,38E-05	6,64E-05	6,56E-05	6,59E-05

On a tracé les résultat de déformation f(x,y,z) dans le graphe :

La **figure 20/21/22** représenté la déformation élastique radial et axial de palier infiniment long .

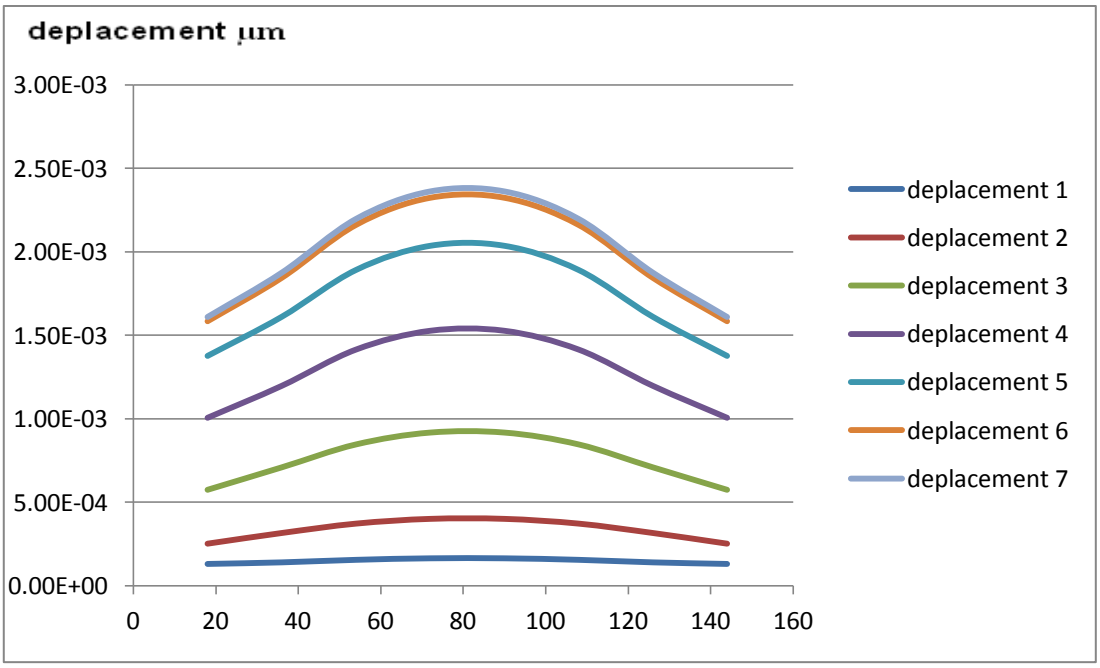


Figure.V.21: Déformation élastique radial sur chaque élement du palier infiniment long faiblement Chargé (D/L=1.5et e=0,2).

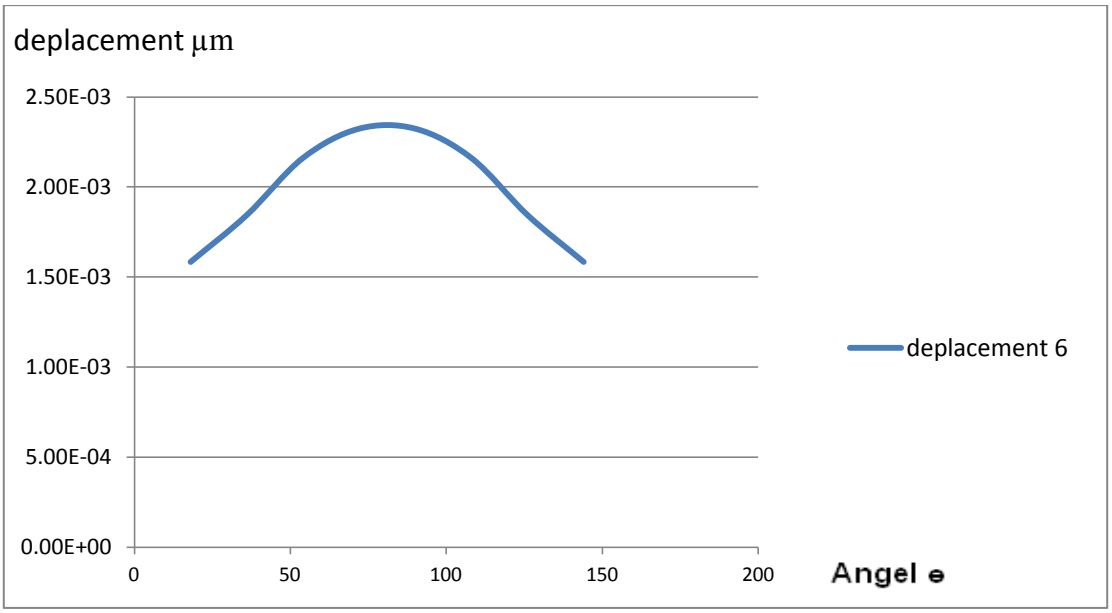


Figure.V.22 : Déformation élastique radial du palier infiniment long faiblement chargé .

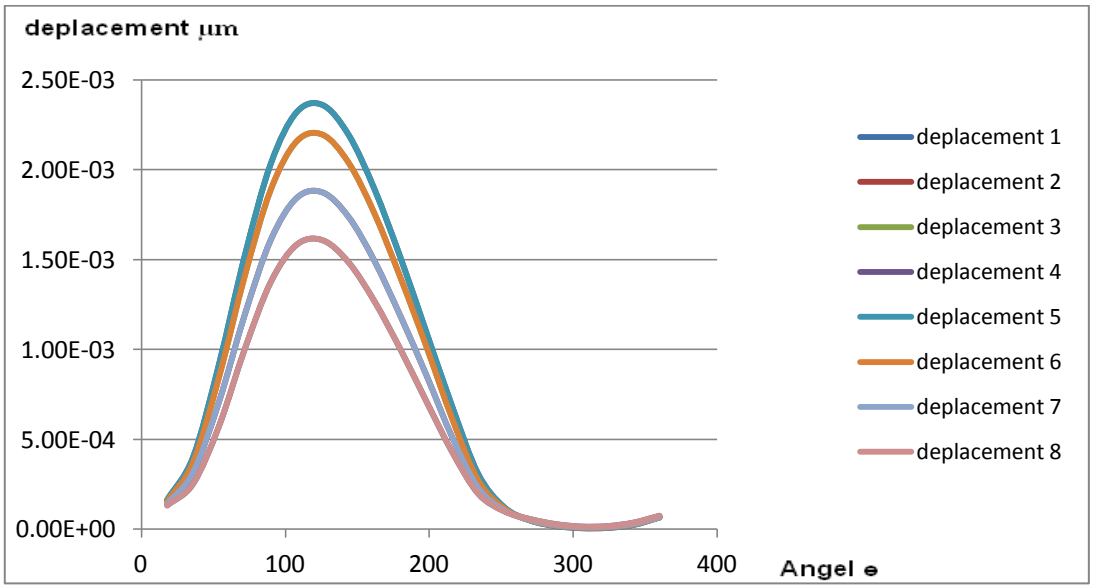


Figure V.23: Déformation élastique axial du palier infiniment long faiblement chargé (D/L=1.5 et e=0,2).

b-Discussion des résultats :

les graphes de figure **V (21;22 ;23)** représentent déplacement nodaux pour les cas d' extricité=0.2.

on remarque que les déplacements nadaux sont répartie en 2D suivant direction cirecanférentielle et le direction axiale (2,00E -03<max >2,50E-03).

les déformations sont beaucaups plus importantes du millieu du palier (figure.V.22), et dans les régions de léppaisseur minimale du palier fluide.

Le schéma ci-dessous représente les contours de la déformation d'un palier infiniment long faiblement charge (e=0,2) obtenus par le logiciel ANSYS APDL :

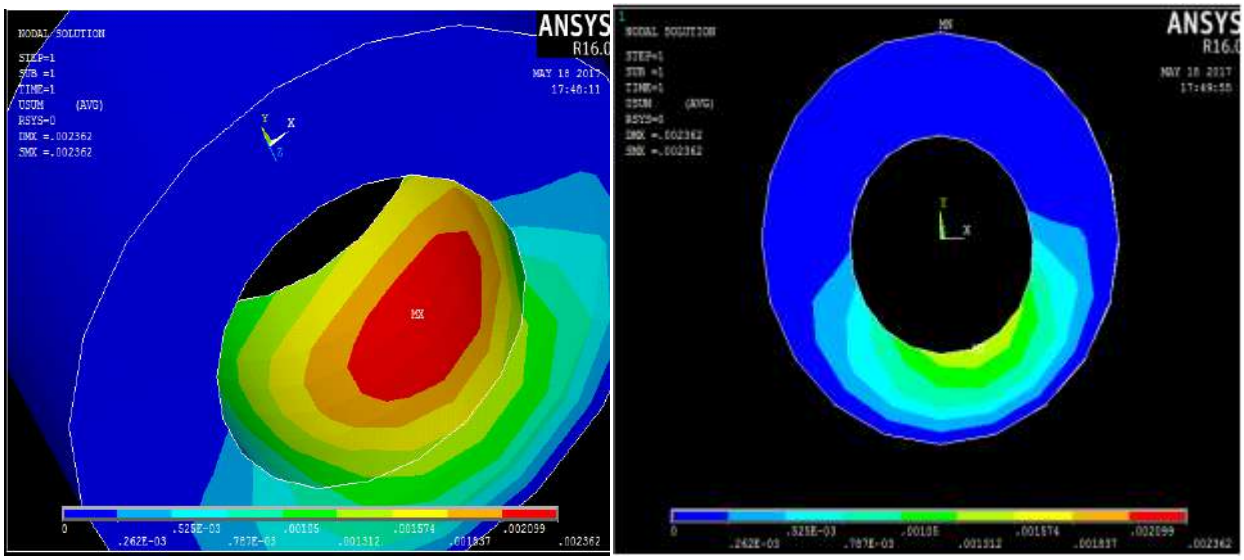


Figure. V.24: schéma de déformation élastique du palier à long fortement charger(e=0.2).

b-Discussion des résultats :

Dans le graphe de **figure.V.24**, on constat que la déformation est augmente rapidement en fonction de θ entre 0° et 126° (valeur maximale de déplacement f(x,y,z)= 2,36E-03) et elle est décroissante rapidement dans l'intervalle 72°<θ<126°.

- **Discussion générale :**

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

Les trois cas de graphes représentent les déplacements nodaux pour les paliers L/D=0.5;1.5 respectivement dans cas d'excentricité égale 0.2 pour une direction circonférentielle et axiale.

Le palier L/D=1 dans deux cas d'excentricité respectivement égale à 0.2 et 0.8 (direction circonférentielle et axiale).

On remarque que les déplacements nodaux sont répartis en 2D suivant les directions circonférentielle et axiale.

Les déformations sont beaucoup plus importantes dans les régions de l'épaisseur minimale du palier fluide.

On remarque que les déformations sont proportionnelles à la longueur du palier L/D= (0.5 ; 1 ; 1.5).

Ce qui indique que le palier long supporte des charges plus importantes.

Les graphes des **Figures V (3; 11 ; 15 ; 21)** représentent les déformations radiales sur chaque élément suivant la direction axiale. On remarque que, pour les trois cas, la déformation augmente en s'approchant du milieu du palier.

V.II Conclusion :

Dans ce chapitre, on conclut que dans les paliers hydrodynamiques, les déformations sont plus importantes dans la zone la plus chargée.

On remarque aussi que les déformations sont plus significatives pour des paliers longs. Ce qui affecte la forme circulaire de palier(circularité).

Pour un champ de pression global, le champ de dèformation est symètrique par rapport au plan médian du palier.

Conclusion générale :

L'objectif principal de notre travail est le calcul de déformation sous l'effet des pressions hydrodynamiques d'un palier circulaire en utilisant le logiciel ANSYS APDL.

Pour cela nous avons utilisé un champ de pression hydrodynamique complet sous la direction axiale du palier.

La détermination des déformations sont d'une grande importance, car l'épaisseur d u film d'huile se trouve modifier et par la suit les caractéristiques du fonctionnement alterne.

On remarque que le champ de pression est plus important en se rapprochant du plan médian du palier et les déformations prennent aussi cette allure.

On constate que le champ de déformation est proportionnel à la longueur du palier et à la capacité de charge de celui-ci.

Pour une meilleure utilisation des paliers lisses hydrodynamiques il faut toujours comparer les déformations maximales avec l'épaisseur minimale du film lubrifiant afin d'éviter tous risque de grippage.

En perspective, une caractérisation du paliers déformés sera très importante pour la prédiction de la stabilité des machine tournantes.

[1] http //fr.wikipidia .orge /wiki/ tribologie. Noel Brunetière « Introduction à la Tribologie » sur université de Poitiers 2015(consulté le 04 juillet 2016).

[2] [Auteur Jean-Michel Martin] chercheurs de Tribologie et dynamique des systèmes publier par Mathilde clénat novembre 2011.

[3] www.lubrification –centralisée .eu /histoire de la tribologie.

[4] Dj.Boukhelef « Etude elastohydrodynamique de comportement en mode dynamique des paliers a très haute vitesses » thèse de doctorat UST ,MB, Oran 2015.

[5] J. Frêne ,D. Nicolas, B. Degueurce ,D.Berthe ,M.Godet ,Lubrification hydrodynamique paliers et butées ,Eyrolles, paris ,1990 [pdf] 22^{éme} congrees français de mecanique.

[6] [PFE] étude de déformation d'une structure axisymétrique soumis a un chargement non axisymétrique Application au palier hydrodynamique [zennati khaled,Menacer hamza] these de master ,université Dr.Yahia Fares ,medea,2015 .

[7] cours de lubrification, Dr.boukhelef, université Dr.Yahia Fares ,medea ,2015.

[8] [PFE] étude de déformation d'un palier circulaire sous l'effet du champ de pression hydrodynamique utilisation de logiciel ANSYS APDL [Bentiba abir] these de master ,université Dr.Yahia Fares ,medea,2016.

[9] wikipidia arrabic www.ansys.com ,2010

المطور الاول جونسونكتور

ANSYS sincالمطورون

الاصدار الاول (1-5)

الاصدار المستقر16.0

[10] Dj.boukhelef, cours de conception mecanique universitée, Dr.Yhia Fares medea, medea, 2015.

[11] http //Joho monsite .orange .Fr/lubrification : les huiles.

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

[12] Tp mattitude.fr/lubrificatin htmail.

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

[15]Fondamontal of fluid filmlubrifiation Hamrock,B. Schmid, Jacobson,B.2nd edition2004 ISBN 082475372.