الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie des Procédés



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Mécanique

Option : Conception mécanique

THEME

Etude de déformation d'une structure axisymétrique soumise à un chargement non axisymétrique

Application au palier hydrodynamique

Proposé et dirigé par,

Mr. Boukhelef Djilali

Préparé et présenté par,

ZENATI Khaled

MENACER Hamza

Année Universitaire 2014-2015

REMERCIEMENTS

Ce travail réalisé à l'université de Yahia Fares de Médéa sous la direction du Mr. BOUKHELEF. Djilali.

Nos remerciements s'adressent en particulier :

- Au Mr BOUKHELEF Djilali l'encadreur de ce travail pour le choix de ce sujet et c'est un plaisir de faire ce projet de fin d'étude, et pour la corrigé de ce travail et pour toute l'aide qu'il nous a apportée tout au long de ce travail.

- A tout les enseignent pour ses magnifiques qualités humaines et son hospitalité.

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

Nous remercions également tout le personnel du département de génie mécanique.

Dédicaces

*Je **dédie** ce modeste travail à La mémoire de ma belle Mère :*

Mon cher père et ma tante qui m'ont soutenue pendant mes années d'études passées avec succès et encouragé depuis que j'ai connu ce monde.

Mes chers frères, sœurs et mes amis.

La famille Zenati , Ben yessad ,Frah, Bouhoun et Hadj Med en générale

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

Mes collègues du groupe de promo conception mécanique.



Zenati khalil

Dédicaces

Je ***tiens de dédie ce modeste travail à :***

Mes Chers parents *qui m'ont éclairé mon chemin, m'ont encouragé et m'ont soutenu depuis que j'ai connu ce monde, que Dieu le Tout Puissant les bénisse.*

Mes *chers Grands-parents qui représente à mes yeux le noble symbole de la patience et de persévérance, que Dieu les préserves et les bénisse.*

Mes sœurs.

La famille : Menacer en générale.

Mes amis :yahiya, Kader, Reda Rabhi, Khalil, Omar et Dr.Amrar

Ceux qui étaient auprès de moi durant cette période où j'avais besoin de leurs soutiens.

Ceux qui m'ont connu de proche ou de loin.

Mes collègues de groupe de promo génie mécanique productique.

Menacer Hamza



Sommaire

Introduction générale…….....1

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1.Introduction……..…..4

I.2.Historique ……..…5

I.3. Théorie de la lubrification hydrodynamique (expérience de newton).....8

I.4. Lubrification. .. . . ……..9

I.4.1.a. Définition ……....9

I.4.1.b. Types de lubrification…….…..…9

I.4.1.c .Fonction de lubrifiant…….10

I.4.2. Les lubrifiant…….10

I.4.3. Les bases lubrifiantes……..10

I.4.4. Caractéristiques d'un lubrifiant ……11

I.4.4.a. Viscosité……..…11

I.9.4.b. Tenue viscosité-température (indices de viscosité)…….12

I.4.4.c. Tenue viscosité-pression……...12

I.4.4.d. Viscosité et gradient de cisaillement……...12

I.4.4.e. Stabilité au cisaillement…….13

I.4.4.f. Pompabilité à de basses températures (Pompabilité limite)……13

I.4.4.g. Point d'écoulement …….13

I.4.4.h. Perte par évaporation……13

I.5.Les paliers lisses ……14

I.5.1.Introduction ……..…14

I.5.2. Les paliers lisses cylindriques hydrodynamiques ……..15

I.5.2.a- Caractéristiques Géométriques ……...15

I.5.2.b- Géométrie et position des rainures d'alimentation……..16

I.5.2.c- Les matériaux ……..17

I.5.3. Etablissement du film ……...…19

Chapitre II : Présentation analytique.

II .1.Introduction…….21

II.2.l'équation de Reynolds……21

II.3.Déformations mécaniques…….23

II.4. Déformations (élastiques) dues au champ de pression……24

II.5. Calcul de déformations ……...25

Chapitre III : Présentation de la méthode de calcul

III.1.Introduction……...28

III .2. La simulation numérique en conception mécanique ……..…28

III .3. La gamme ANSYS ……..……28

III .3. a. ANSYS DesignSpace …….…….29

III .3.a.1. Les principales fonctionnalités d'ANSYS DesignSpace…….….30

III .3. b. ANSYS Professional…….…...33

III .3. b. 1. Les principales fonctionnalités d'ANSYS Professional …….…..….34

III .3. b. 2. Versions d'ANSYS Professional ……..….34

III .3. c. ANSYS Structural et Mechanical ……...…….34

III.4.Environnements logiciels ……...……..35

III.5.Préparation de l'analyse 35

III.5.1.Exécution de la dynamique explicite……..35

III.5.2.Spécification des matériaux utilisés……...…….36

III.5.3.Conception du modèle ……37

III .5.4.Maillage ……38

III.5.4.Conditions initiales ……39

III.5.5.a. Paramètres d'analyse ……...39

III.5.5.b. Support fixe ……..…41

III.5.5.c. Pression……....41

III.5.6. Application de la solution ……..…42

Chapitre IV : Résultat et discussion.

1. IV.1.Introduction ……..……45
2. IV.2.propriétés de matériaux (cuivre)…….....45
3. IV.3. Première partie……..……46
4. IV.3.a. les exemples des calcules ……..……46
5. IV.3.a.1. exemple N°1…….……...46
6. IV.3.a.3.exemple N°03…….…….….46
7. IV.4.deuxième partie ……..47
8. IV.4.a.1.exemple N°4…….……....47
9. IV.4.a.2.exemple N°5…….…….....47
10. IV.4.a.3.exemple N°6…….…….....48
11. Maillage exemple1…….……....50
12. Dynamique explicite exemple1…….…..…51
13. Déplacement directionnel exemple 1…….……..…52
14. Déplacement totale exemple 1…….……..53

15. Maillage exemple2…….54

16. Dynamique explicite exemple2 …...55

17. Déplacement directionnel exemple 2…….……56

18. Déplacement totale exemple 2…….……..57

19. Maillage exemple3…….58

20. Dynamique explicite exemple3…….…59

21. Déplacement directionnel exemple 3…….……60

22. Déplacement totale exemple 3…….……..61

23. IV.5.a.1.Discussion des résultats ……..……...62

24. IV.5.a.2.pression axisymétrique……..…62

25.

Maillage, exemple 4/p15_02……..……...……..…...63

26. Courbe de pression, exemple4/p15_02 ……..64

Dynamique explicite, exemple 4/p15_02……...…….65

27. Déplacement directionnel, exemple 4/p15_02…….…….….66

28. Maillage, exemple 4/p15_08……..…….……67

29. Courbe de pression, exemple 4/ p15_08……..…68

30. Dynamique explicite, exemple 4/p15_08…….……..69

31. Déplacement directionnel, exemple4/p15_08…….……70

32. Maillage, exemple 5/p10_02……..……71

33. Courbe de pression, exemple p10_02……..…….....….72

34. Dynamique explicite, exemple 5/p10_02……...……73

35. Déplacement directionnel, exemple 5/p10_02……..…74

36. Maillage, exemple 5/p10_08…….…….75

37. Courbe de pression, exemple5/p10_08…….……76

38. Dynamique explicite, exemple 5/p10_08…….…….77

39. Déplacement directionnel, exemple 5/p10_08…….…….78

40. Maillage, exemple 6/p05_02…….……79

41. Courbe de pression, exemple5/p10_08……..……..…..80

42. Dynamique explicite , exemple 6/p05_02…….....81

43. Déplacement directionnel, exemple 6/p05_02……..…….……82

44. Maillage, exemple 6/p05_08…….83

45. Courbe de pression, exemple 6/p05_08…….……84

46. Dynamique explicite, exemple 6/p05_08……..……85

47. Déplacement directionnel, exemple 6/p05_08……..…….86

48. IV.5.a.3.pression non axisymétrique …….……87

49. IV.5.a.4.Conclusion ….....88

50. Conclusion générale ……..……89

Chapitre I :

Les Figures:

- Figure (1.1) : Les différents régimes de lubrification……..…7
- Figure (1.2) : Expérience de Newton……8
- Figure (1.3) : Nomenclature d'un palier lisse cylindrique……..…15
- Figure (1.4) : Géométrie d'un palier lisse circulaire……..…..16
- Figure (1.5) : Différents formes de coussinet……...…18
- Figure (1.6) : Formation du coin d'huile ……..…19

Les Tableaux:

- Tableau (1.1) :Viscositie dynamique et cinématiques……..…11

Chapitre II:

Les Figures:

- Figure (2.1) : L'épaisseur du film d'huile en fonction de la distance circonférentielle……...…..…21
- Figure (2.2): Palier dévolopée……...…..22
- Figure (2.3): Géométrie et système pour un contact lubrifie……...…....22
- Figure (2.4): Défaut global. ……...……24

Chapitre III:

Les Figures:

- Figure (3.1) : License ANSYS simulation……..…..29
- Figure (3.2) : Schéma qui représente le maillage……....32
- Figure (3.3) : Page acceuil de l'outil Workbench……...36
- Figure (3.4) : Les boite de dialogue pour déclaration des matériaux…….....37
- Figure (3.5) : Schéma modèle……....38
- Figure (3.6) : Le maillage de modèle……..39
- Figure (3.7) : Schéma de paramètres d'analyse……..40
- Figure (3.8) : Tableau détaillé de paramètre d'analyse……...41
- Figure (3.9) : Schéma de support fixe……42

- Figure (3.10) : Tableau détaillé de support fixe……41
- Figure (3.11) : Champ de pression réel…….……42
- Figure (3.12) : Spécification les résultats……..…43

Chapitre VI:

Les Figures:

- Figure (4.1) : maillage d'exemple 01…….….50
- Figure (4.2) : support fixe et pression d'exemple 01……..….51
- Figure (4. 3) : déplacement directionnel d'exemple 01……...52
- Figure (4.4) : déplacement total d'exemple 01……..….53

- Figure (4.5) : maillage d'exemple 02……...…54
- Figure (4.6) : support fixe et pression d'exemple 02……55
- Figure (4. 7) : déplacement directionnel d'exemple 02……56
- Figure (4.8) : déplacement total d'exemple 02……57

- Figure (4.9) : maillage d'exemple 03……..….58
- Figure (4.10) : support fixe et pression d'exemple 03…….....59
- Figure (4. 11) : déplacement directionnel d'exemple 03……..…60
- Figure (4.12) : déplacement total d'exemple3…….....61

- Figure (4.13) : maillage d'exemple 4/P15_02……..…63
- Figure (4.14) : support fixe et pression d'exemple 4/P15_02…….....65
- Figure (4. 15) : déplacement directionnel d'exemple 4/P15_02……..66

- Figure (4.16) : maillage d'exemple 4/P15_08……...67
- Figure (4.17) : support fixe et pression d'exemple 4/P15_08……...69
- Figure (4. 18) : déplacement directionnel d'exemple 4/P15_08……...70

- Figure (4.19) : maillage d'exemple 5/P10_02……...71
- Figure (4.20) : support fixe et pression d'exemple 5/P10_02. ……..…73

- Figure (4. 21) : déplacement directionnel d'exemple5/P10_02. ……..…..74

- Figure (4.22) : maillage d'exemple 5/P10_08……..75
- Figure (4.23) : support fixe et pression d'exemple 5/P10_08. ……....77
- Figure (4. 24) : déplacement directionnel d'exemple5/P10_08. ……..…..78

- Figure (4.25) : maillage d'exemple 6/P05_02……..……79
- Figure (4.26) : support fixe et pression d'exemple 6/P05_02. ……....81
- Figure (4. 27) : déplacement directionnel d'exemple6/P05_02. ……..…82

- Figure (4.28) : maillage d'exemple 6/P05_08…….…….83
- Figure (4.29) : support fixe et pression d'exemple 6/P05_08. ……....85
- Figure (4. 30) : déplacement directionnel d'exemple6/P05_08. …….……86

Les Courbes:

- Courbe de pression p15_02……..……64

- Courbe de pression p15_08……..……68
- Courbe de pression p10_02……..……72
- Courbe de pression p10_08……..……76
- Courbe de pression p05_02……..……80
- Courbe de pression p05_08……..……84

IV.1.Introduction :

Dans ce travail nous allons étudier deux types de pression. Pression axisymétrique et pression non axe symétrique .La premier partie est pour choisir le maillage et voir la possibilité de validation avec une méthode analytique. Dons la deuxième partie on prend le champ de pression sur un palier ou niveau du palan médian pour plusieurs longueur et excentricité.

IV.2.propriétés de matériaux (cuivre) :

A	B	C
Alliage cuivre	Valeur	unité
Module de Young	01,1e $^{+11}$	Pa
Coefficient du poisson	00,34	//////////////////
Densité	8300	kg m ^-3
Module de compressibililité	01,1458e $^{+11}$	pa
Module de cisaillement	04,1045e $^{+11}$	pa

Tableau : (a.1)

IV.3. Première partie
IV.3.a. les exemples des calcules
IV.3.a.1. exemple N°1:

- **tableau des données :**

viscosité	00,02	//////////////////
Vitesse de rotation	1000	tr /min
Rayon interne	00,0100	m
Rayon externe	00,0115	m
Longueur du palier	00,02	m
longueur / diamètre	1	cm

tableau des données. Exemple N°1 (a.2)

IV.3.a.2.exemple N°02:

- **tableau des données :**

viscosité	00,02	//////////////////
Vitesse de rotation	1000	tr /min
Rayon interne	00,0200	m
Rayon externe	00,0215	m
Longueur du palier	00,1500	m
longueur / diamètre	01,5000	cm

tableau des données. Exemple N°2 (a.3)

IV.3.a.3.exemple N°03:

- **tableau des données :**

viscosité	00,02	//////////////////
Vitesse de rotation	1000	tr /min
Rayon interne	00,1400	m
Rayon externe	00,1430	m
Longueur du palier	00,0700	m
longueur / diamètre	00,5000	cm

tableau des données. Exemple N°3 (a.4)

IV.4.deuxième partie

IV.4.a.1.exemple N°4/p15_02 et p15_08:

- **tableau des données :**

viscosité	00,02	//////////////////
Vitesse de rotation	1000	tr /min
Rayon interne	00,05	m

Rayon externe	00,013	m
Longeur du palier	00,150	m
longeur / diamètre	01,500	cm
Excentricité(A) : (e/c)	00,200	//////////////////
Excentricité (B): (e/c)	00,800	//////////////////

_tableau des données. Exemple N°4/p15_02 et p15_08 _ (a.5)

IV.4.a.2.exemple N°5/ p10_02 et p10_08:

- **tableau des données :**

viscosité	00,02	//////////////////
Vitesse de rotation	1000	tr /min
Rayon interne	00,05	M
Rayon externe	00,013	M
Longueur du palier	00,10	M
longueur / diamètre	01,00	Cm
Excentricité(A) : (e/c)	00,20	//////////////////
Excentricité (B): (e/c)	00,80	//////////////////

_tableau des données. Exemple N°5/p10_02 et p10_08 _ (a.6)

IV.4.a.3.exemple N°6/ p05_02 et p05_08:

- **tableau des données :**

viscosité	00,020	//////////////////
Vitesse de rotation	1000	tr /min
Rayon interne	00,050	M
Rayon externe	00,013	M
Longueur du palier	0,050	M
longueur / diamètre	0,50	cm
Excentricité (A): (e/c)	0,20	//////////////////
Excentricité (B): (e/c)	0,80	//////////////////

_tableau des données. Exemple N°4/p05_02 et p05_08 _(a.7)

Introduction générale

Introduction générale :

Les paliers hydrodynamiques ont pour objectif principal de supporter les charges radiales. Ces organes de support et de guidage en rotation sont de plus en plus utilisés dans les machines tournantes contemporaines. Ils sont constitués de trois parties : le coussinet (géométrie fixe ou à patins oscillants), l'arbre en rotation, et le film lubrifiant qui les sépare.

Le fonctionnement hydrodynamique est la vitesse qui créer un champ de pression dans un film d'huile. Ce régime peut utilement être combiné dans des phases de démarrage ou d'arrêt de rotors lourds. Alors que pour le principe est d'avoir un film d'huile sous pression qui est intercalé entre l'arbre et l'alésage de coussinet qui permet de ne pas avoir de contact entre ces deux surfaces. Pour établir cette pression dans le film d'huile, il nécessaire d'avoir, une convergence de surface, et une vitesse suffisante. La pression dépend également de la viscosité du lubrifiant qui est généralement de l'huile.

L'objectif principal de notre projet et de déterminer les déformations d'un palier circulaire sous l'effet d'un champ de pression hydrodynamique.

Le travail effectué est présenté en quatre chapitres. Le premier est l'étude bibliographique, le second est la présentation analytique, le troisième c'est la présentation de la méthode de calcul et le quatrième chapitre est la partie étude, résultat et discussion.

L'étude bibliographique qui constitue le premier chapitre retrace brièvement les travaux effectués sur les phénomènes de lubrifiant, puis les études sur la lubrification et les paliers lisses. Le deuxième chapitre donne les détails des analyses théoriques comme l'équation de Reynolds et le calcul de déformation. Le troisième chapitre est consacré à l'introduction du logicielle ANSYS et l'explicite dynamique et le dernier chapitre consiste en l'étude des déformations d'un palier lisse sous l'effet de pression hydrodynamique.

Chapitre I

I.1. Introduction :

L'homme a de tout temps été confronté au problème de frottement et a toujours tenté de réduire l'effet de celui-ci par des moyens de lubrification divers. Ainsi, sur des tombes datant de l'Egypte antique, on peut voir des figures montant des hommes verser un liquide lubrifiant sous des concurrents trainant des charges lourdes pour faciliter leurs déplacements.

Cette idée est toujours utilisée de nos jours, mais, avec des techniques et des normes bien définies. Mais avant d'en arriver à ce stade, la lubrification est passée par une longue phase de tâtonnement jusqu'au siècle dernier quand Beauchamp Tower découvre qu'une pression peut être générée dans le film lubrifiant entre deux surfaces en mouvement relatif.

Osborne Reynolds (grande Bretagne) fut fasciné par cet effet et décida d'approcher analytiquement le phénomène, il démontre que le phénomène est régi par une équation aux dérivées partielles qui aujourd'hui est connue sous le nom d'équation de Reynolds.

Depuis la fin du 19éme siècle, un progrès énorme a été fait et beaucoup de problème complexes en lubrification au film d'huile ont été étudies .cette activité dans la théorie de lubrification provient du fait que toute machine ayant des parties mobiles comporte un ou plusieurs paliers.

Le calcul des performances d'un palier par la résolution analytique de l'équation de Reynolds s'avère très difficile à mesure que la complexité du problème s'accroit et l'on est contrait d'utiliser des procédures numériques de résolution.

I.2. Historique :

Une partie importante de la recherche est aujourd'hui concentrée sur l'économie d'énergie, Que ce soit en termes de consommation ou de source d'énergie, l'efficacité est devenue une priorité. Il faut donc réduire toujours plus les frottements et diminuer l'usure afin d'améliorer le rendement des machines et minimiser les pertes d'énergie. Ceci nécessite, pour de nombreux mécanismes, de s'intéresser aux problèmes de lubrification et en particulier à la lubrification hydrodynamique.

Bien qu'ignorés pendant plusieurs décennies par la communauté scientifique, les premiers travaux sur la lubrification hydrodynamique sont ceux que Hirn [1] réalise en 1854, dans lesquels il bouscule la référence établie par les lois de Coulomb.

Presque 30 ans plus tard, Towers [2] découvre l'existence d'une répartition de pression entre les surfaces de l'arbre et du coussinet d'un palier de wagon de chemin de fer.

C'est à partir des travaux de Towers qu'Osborne Reynolds définit le phénomène fondamental de portance hydrodynamique. Le lubrifiant adhérant aux surfaces du palier en mouvement relatif génère, lorsqu'il entre dans un convergent, une répartition de pression capable de supporter une charge radiale conséquente. Cette théorie dont la formulation mathématique s'appuie sur les équations de Navier-Stokes, est publiée par Reynolds [3] en 1886. Elle permet d'obtenir la répartition de pression hydrodynamique dans le film lubrifiant, et constitue ainsi la base de la théorie de la lubrification contemporaine.

L'état du phénomène thermique a été réalisé par Kingsbury [4] en 1933, qui propose de prendre en compte les variations de température et de viscosité à travers l'épaisseur du film. Cette étude, à la fois théorique et expérimentale, donne la première solution correcte du problème thermique en lubrification mais ne s'applique qu'à un cas axisymétrique.

Dowson [5] présente en 1962 un travail qui représente une avancée considérable dans l'étude des phénomènes thermiques. Il modifie l'équation de Reynolds classique afin de prendre en compte les variations de viscosité et de masse volumique à travers l'épaisseur du film fluide. C'est l'équation de Reynolds généralisée qui, couplée avec l'équation de l'énergie, permet l'étude locale des phénomènes thermiques en lubrification hydrodynamique

Dowson, Hudson, Hunter et March [6] réalisent deux ans plus tard une étude expérimentale dans laquelle ils mesurent pour la première fois les champs de pression et de température dans

le coussinet et l'arbre. Cette étude a mis en évidence les transferts de chaleur dus à l'écoulement du fluide ainsi que la faible variation circonférentielle de température dans l'arbre, ce qui a permis de considérer par la suite l'arbre comme un solide avec une symétrie axiale.

En 1983, FERRON et al. [7] présentent une comparaison entre théorie et expérimentation sur un palier lisse. Le modèle THD tient compte des transferts thermiques entre le fluide, l'arbre et le coussinet mais aussi de la recirculation du lubrifiant et de la cavitation.

Ils mesurent expérimentalement les pressions et les températures dans le palier soumis à différentes charges à plusieurs vitesses. Ils observent une bonne concordance entre théorie et expérimentation mais soulignent que les dilatations différentielles ainsi que les déformations thermiques doivent être prises en compte afin d'obtenir une meilleure précision dans le calcul et dans les mesures.

Mitsui, Hori et Tanaka [8] réalisent une étude théorique et expérimentale du refroidissement du fluide au niveau de la rainure d'alimentation. Ils mesurent les températures aux surfaces du coussinet et de l'arbre ainsi que les températures d'entrée et de sortie du film. Ils introduisent alors un "coefficient de mélange" obtenu expérimentalement qui varie entre 0,4 et 0,8, qui peuvent être utilisé dans les calculs THD pour prédire la température d'entrée du fluide au niveau de la rainure.

Fillon [9] présente les différents travaux selon leur chronologie en les classant dans différentes catégories représentant leur niveau d'évolution. Il présente également un modèle TEHD appliqué au cas du palier ainsi qu'une comparaison avec des résultats expérimentaux. Khonsari [10] quant à lui publie une étude uniquement bibliographique en deux parties, la première étant consacrée aux butées et la deuxième aux paliers.

Un historique complet de la tribologie en général a été écrit par Dowson [11] et un livre sur l'histoire de la tribologie de l'antiquité à nos jours a été publié par Frêne et ses co-auteurs [12].

Han et Paranjpe [13] présentent trois ans plus tard une méthode de résolution basée sur les volumes finis pour prédire les performances THD de paliers hydrodynamiques. Ils étudient un palier automobile et montrent que la pression d'alimentation et la configuration de l'alimentation ont une importance non négligeable sur les performances du palier.

Rajalingham poursuit son travail et publie en 1994 une note technique [14] dans laquelle il détaille l'influence de la conduction à travers le film lubrifiant sur les performances

THD d'un palier lisse. Il montre qu'une augmentation de la conduction à travers le film augmente la capacité de charge et diminue la température maximale dans le palier.

Le diagramme suivant représente les différents problèmes de la lubrification selon le régime d'écoulement.

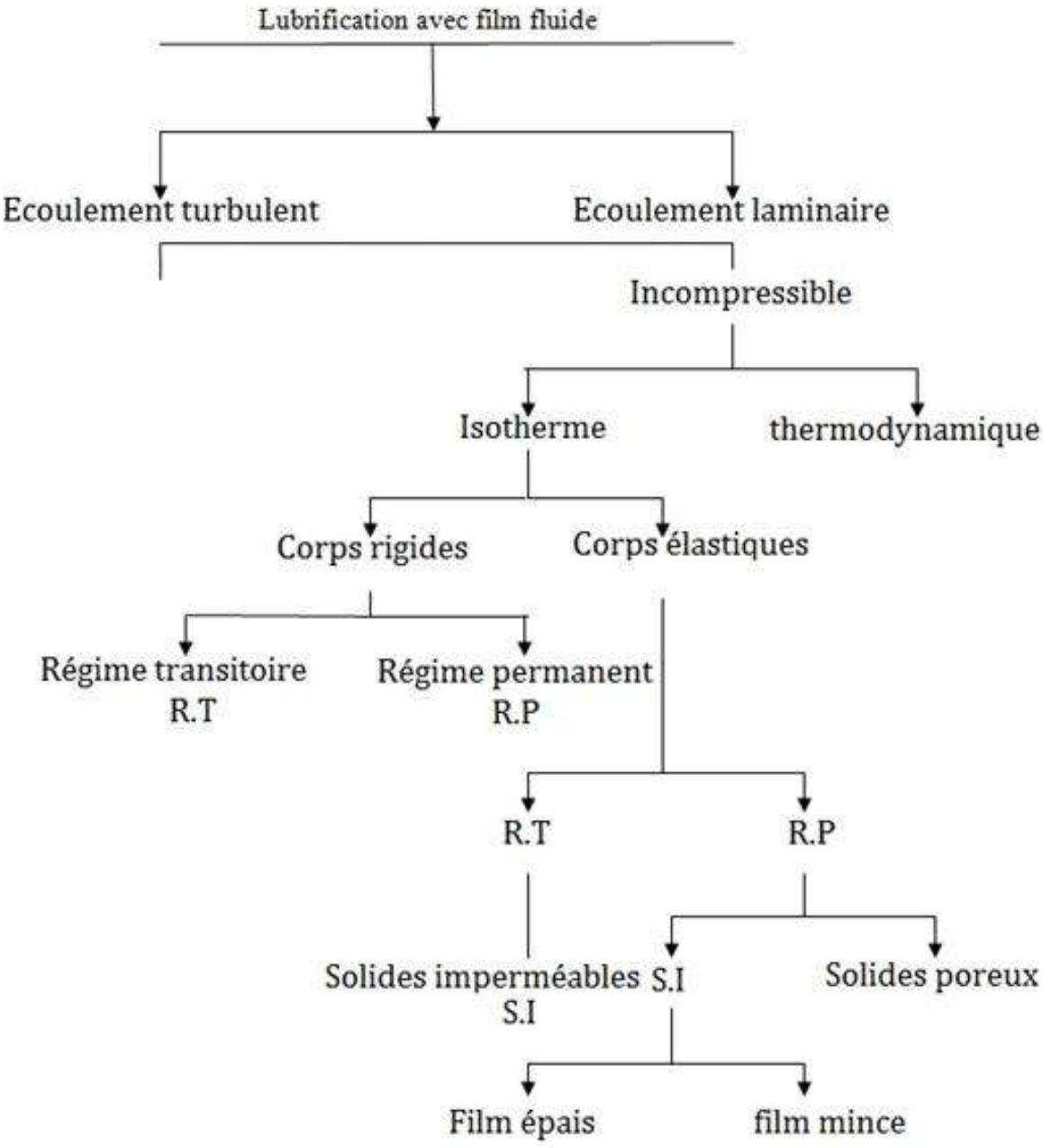


Figure (1.1) : les différents régimes de lubrification.

Les applications des techniques de la M.E.F aux problèmes de lubrification ont commencé à apparaitre au milieu des années 1960 après avoir reconnu la généralité de la méthode basée sur le principe variationnel .une fois l'équation appropriée pour un problème donné est mise sous forme variationnelle classique, le système d'équations élémentaire est tiré directement.

I.3. Théorie de la lubrification hydrodynamique (expérience de newton) :

En 1668 NEWTON réalisa une expérience qui reste à nos jours l'expérience de base de la théorie de lubrification (figure .1.2) pour mesurer la viscosité des fluides,

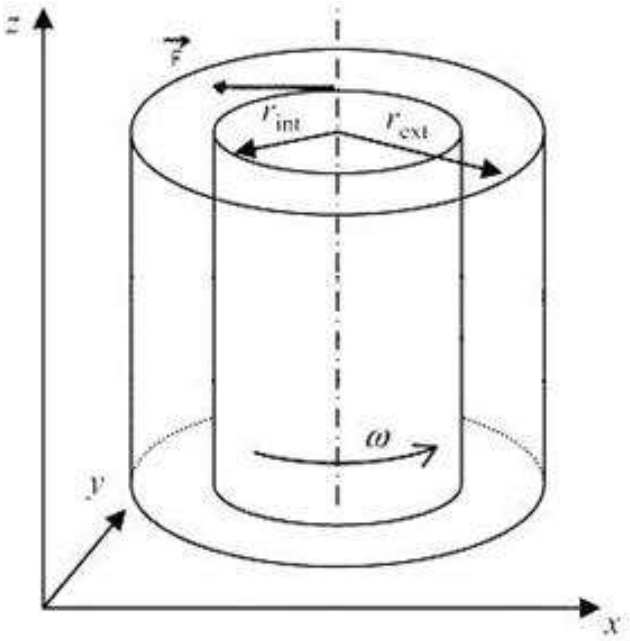


Figure.1.2 : Expérience de NEWTON.

Dans une enceinte profonde remplie d'eau, il fait tourner un cylindre concentrique d'un autre cylindre maintenu immobile. Il a démontré que la force tangentielle F nécessite pour entrainer le cylindre intérieur est donnée par la relation :

(1.1)

Viscosité dynamique

A : L'aire latérale du cylindre intérieur

U : La vitesse tangentielle du cylindre intérieur

h : L'épaisseur du film fluide.

Le rapport U/h est généralement appelé « gradient de vitesse transversale ». Si nous supposons que la vitesse U est fonction de h, et que la fonction U(h) est continue il est possible de remplacer U/h par dU/dh, et la relation précédente peut s'écrire sous la forme :

(1.2)

Il apparait immédiatement que pour résoudre cette équation différentielle, il est nécessaire de connaitre la fonction U(h), qui constitue toujours l'une des hypothèses essentielles du calcul.

I.4. Lubrification :

I.4.1.a. Définition :

Procédé par lequel la friction entre deux pièces en mouvement est réduite (introduction d'un fluide séparant les deux surfaces).

I.4.1.b. Types de lubrification :

- Hydrodynamique : séparation de deux surfaces par un film relativement épais, par un mouvement dynamique de la pièce en mouvement.
- Hydrostatique: introduction de lubrifiant sous pression entre les surfaces en mouvement (source de pression).
- Elastohydrodynamique : semblable à hydrodynamique mais une des surfaces roule (roulement, dent profilée d'engrenage).

I.4.1.c. Fonctions du lubrifiant :

Réduire la friction (frottement ou déformation), réduire l'usure des pièces, absorber / atténuer les chocs, réduire / contrôler la température, protéger de la corrosion, isoler les composantes de la contamination, nettoyer / enlever les contaminants.

I.4.2. Les lubrifiants :

Les lubrifiants ont pour rôle de réduire les frottements entre pièces en mouvement, ou de diminuer la résistance passive de pièces fixes. Ils sont obtenus par raffinage des fractions lourdes du pétrole brut. Les lubrifiants peuvent être liquides ou fluides (huiles), consistants

(Graisses ou gel de silicone), ou solides (graphite, téflon).

Les performances et caractéristiques diffèrent d'un lubrifiant à l'autre, leur seul point commun est qu'ils sont tous composés d'un constituant principal appelé « base lubrifiante », qui représente 75 à 85% de l'huile ou d'une graisse et qui peut être d'origine pétrolière ou synthétique.

I.4.3. Les bases lubrifiantes :

Les bases minérales sont fabriquées à partir du pétrole brut. Elles sont de très loin les plus utilisées, aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles. Ce sont des mélanges d'hydrocarbures ayant subi de nombreuses opérations de raffinage.

Les bases de synthèse sont des produits obtenus par réaction chimique de plusieurs composants. Deux grandes familles de produits sont utilisées pour la formulation des lubrifiants : les esters et les hydrocarbures de synthèse. Ces produits présentent une viscosité remarquablement stable quelle que soit la température. Cette propriété est une supériorité majeure sur les bases minérales qui nécessitent l'adjonction d'additifs améliorants de viscosité en plus grande quantité. Leur résistance à l'oxydation est aussi accrue, d'où une plus grande longévité de l'huile qui permet un espacement entre vidange plus important.

A noter qu'il existe aussi des huiles dites de semi synthèse qui s'obtiennent à partir d'un mélange des deux précédentes (généralement 70 à 80% d'huile minérale et 20 à 30% d'huile de synthèse).

I.4.4. Caractéristiques d'un lubrifiant :

La viscosité d'un fluide est la résistance qu'il oppose au glissement interne de ses molécules au cours de son écoulement. C'est son aptitude à pouvoir s'écouler plus ou moins facilement.

La viscosité varie avec la température. Elle est donnée pour une température de référence de 40°C.

Viscosité dynamique	**Viscosité cinématique**
viscosité dynamique en Pa/s = force de frottement en N = section d'écoulement en m² l = longueur de l'écoulement en m vitesse de l'écoulement en m/	Viscosité cinématique en m/ N = viscosité dynamique en Ps/s P = masse volumique s'exprime aussi en Stocks (St) ou en Centistockes (cSt) 1 St = 10-4 m/ 1cSt=10-6 m/

Tableau 1.1. : Viscosité dynamique et cinématique.

Un lubrifiant a d'autres caractéristiques telles que sa stabilité chimique, son point éclair (température d'inflammation des vapeurs du fluide), son point de congélation (température à laquelle le fluide ne coule plus), etc.

I.4.4.a. Viscosité :

La viscosité est la propriété la plus connue des huiles lubrifiantes. Elle est la référence pour le frottement interne d'une huile lors de l'écoulement. La viscosité est une grandeur dépendante de la température. Lorsque la température est faible et que l'huile est donc froide, le frottement intérieur est important et la viscosité élevée. Plus l'huile est chaude, plus le frottement interne est réduit et la viscosité faible.

On fait une distinction entre la viscosité cinématique et la viscosité dynamique. La conversion s'effectue au moyen de la densité de l'huile et selon la formule indiquée ci-dessous :

Viscosité cinématique = viscosité dynamique/densité

I.9.4.b. Tenue viscosité-température (indices de viscosité) :

La variation de la viscosité due à l'augmentation ou à la baisse de la température peut être différente d'une huile à l'autre. Une huile, dont la viscosité varie le moins possible en cas de fluctuations de la température, est appropriée pour la pratique. De ce fait, on garantit un parfait démarrage à froid et une force portante suffisante pour le film lubrifiant à température élevée. Pour la tenue viscosité-température, il existe un indice sans dimension, l'indice de viscosité (VI). Plus l'indice de viscosité est élevé, plus la baisse de viscosité est faible en cas d'augmentation de la température. Les huiles monograde sont un indice de viscosité proche de 100, et il peut aller jusqu'à 180 pour les huiles moteurs multigrades.

I.4.4.c. Tenue viscosité-pression :

La viscosité d'une huile varie non seulement avec la température, mais également avec la pression exercée sur le film lubrifiant. Cette propriété est souvent très importante pour les calculs tribotechniques, lorsqu'on dispose d'huiles de différents liquides de base.

I.4.4.d. Viscosité et gradient de cisaillement :

Pour les huiles multigrades, qui contiennent un optimisateur d'indice de viscosité, la viscosité est dépendante également du gradient de cisaillement en plus de la température et de la pression.

Dans la fente de graissage, l'huile est exposée à différentes contraintes de cisaillement. Si l'on se représente la fente de lubrification et donc également le film lubrifiant agrandis plusieurs milliers de fois, les particules d'huile qui se trouvent directement sur la pièce non déplacée (par exemple coussinet de palier ou surface de glissement du cylindre) auront la vitesse 0. En revanche, les particules d'huile adhérant à la partie déplacée prendront la vitesse de ce composant (par exemple la vitesse périphérique du tourillon du vilebrequin ou la vitesse du piston). Ce processus peut être représenté théoriquement par le triangle de vitesse.

Le présent gradient de cisaillement se calcule alors selon la formule suivante :

Vitesse sur la pièce déplacée (m/s) / Epaisseur du film lubrifiant

I.4.4.e. Stabilité au cisaillement :

Pour les huiles sans optimisateur d'indice de viscosité (huiles monogrades), le gradient de cisaillement n'a pas d'incidence sur la viscosité. On les appelle liquides newtoniens. Si l'huile lubrifiante contient un optimisateur VI (c'est le cas pour de nombreuses huiles multigrades), la viscosité augmente plus ou moins fortement pour une température identique, mais pour un gradient de cisaillement qui augmente (régime croissant) selon le type (chimique) et la quantité de l'optimisateur VI. Dans ce cas, ce ne sont pas des liquides newtoniens. Plus la baisse de viscosité est faible, meilleur est le gradient de cisaillement. Les huiles moteurs, qui restent toujours dans la même classe SAE même dans des conditions de service les plus dures et sont donc très stables au cisaillement, sont appelées "huiles Stay-in-grade".

I.4.4.f. Pompabilité à de basses températures (Pompabilité limite) :

De cette façon, on décrit les limites d'utilisation pour le comportement à l'huilage complet des huiles moteurs après un démarrage à froid. Jusqu'à la pompabilité limite, l'huile coule suffisamment vers le tamis à huile et la pompe à huile, mais au-dessous de cette limite, l'alimentation suffisante en huile du système de lubrification n'est plus garantie, et l'on arrive à l'aspiration d'air et donc à des dégâts provoqués par l'usure.

I.4.4.g. Point d'écoulement :

Autrefois, le comportement à froid d'une huile lubrifiante était défini par le point de figeage, c'est-à-dire la température à laquelle l'huile se solidifie. Aujourd'hui, on indique la limite de liquidité, exprimée par le point d'écoulement. Pour le calcul du point d'écoulement, on calcule toujours ce point de figeage et on ajoute 3°C. Pour un point de figeage de -36°C, le point d'écoulement est donc de -33°C.

I.4.4.h. Perte par évaporation :

La perte par évaporation est fonction de la viscosité et du degré de raffinage pour les huiles minérales. Les huiles d'hydrocraquage présentent une perte par évaporation plus faible que les huiles minérales classiques. De fortes pertes par évaporation peuvent entraîner dans la pratique une consommation d'huile élevée et un calaminage accru sur le piston et les soupapes d'entrée. La perte par évaporation selon Noack est calculée à 250° et indiquée en pourcentage de masse.

I.5.Les paliers lisses :

I.5.1.Définition :

Les paliers sont des organes mécaniques, jouant le rôle de supports des rotors dans les machines tournants. Suivants leurs fonctions, les paliers sont classés en deux catégories. Ceux qui servent le guidage en rotation (paliers de guidage), et ce assurant l'arrêt axial éventuel (paliers de butée). Selon la nature de contact des surfaces en mouvement et le type de lubrification.

- Les paliers hydrostatiques dans lesquels, une pompe (indispensable) doit assurer un débit de lubrifiant suffisant et une pression nécessaire pour soulever l'arbre dans son palier.
- Les paliers à gaz qui ont le même principe que les paliers hydrostatiques, mais lubrifiant utilisé est un gaz, généralement, de l'air.
- Les paliers lisses ordinaires ou une faible quantité de lubrifiant peut assurer un bon fonctionnement. Le choix du matériau constituant les surfaces en mouvement est important.
- Les paliers lisses hydrodynamiques pour lesquels il faut prévoir une arrivé suffisante et abondante de lubrifiant, bien placée, et à la pression ambiante. Notre travail s'intéresse à ce type de paliers.
- Les paliers magnétiques : c'est un rotor Ferro-magnétique flottant dans un champ magnétique créé par des électro-aimants. Ces paliers suppriment tout contact rotor durant le fonctionnement du système.
- Les paliers à roulements dans lesquels, des éléments roulants sont disposés entre l'arbre et l'alésage et remplacent ainsi le glissement par un roulement.

I.5.2. Les paliers lisses cylindriques hydrodynamiques :

Un palier lisse cylindrique est constitué d'un arbre (tourillon) de centre O1 et de diamètre d, tournant à l'intérieur d'un coussinet (alésage) de centre O2 et le diamètre D. Un film de fluide entre les deux surfaces et sépare totalement l'arbre du coussinet (figure1.3).

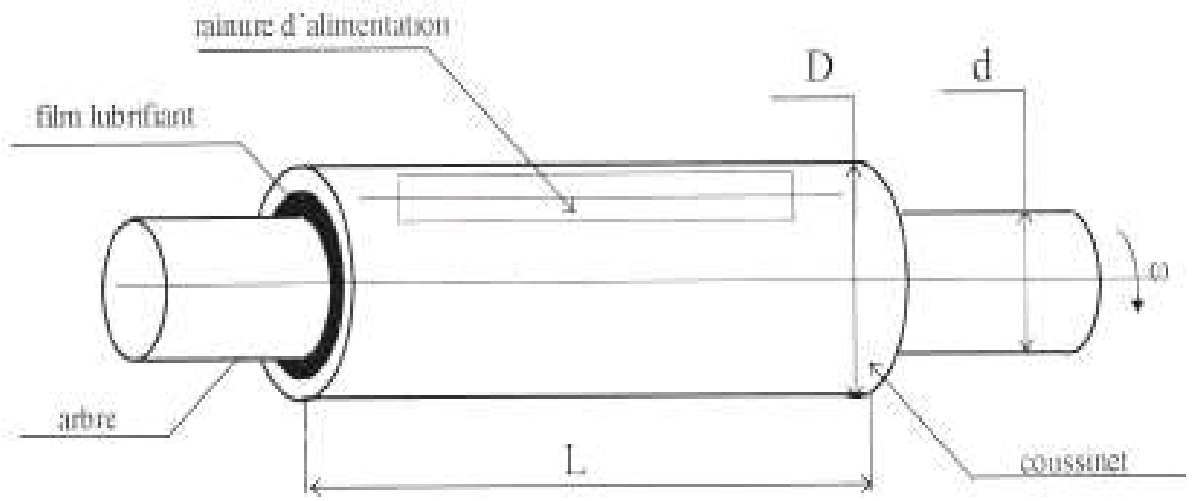


Figure (1.3) : nomenclature d'un palier lisse cylindrique.

I.5.2.a- Caractéristiques Géométriques :

Les paramètres de fonctionnement des paliers lisses circulaires dépendent directement

des diamètre de l'arbre et du coussinet, ainsi que de la longueur du paliers. D'autres caractéristiques géométriques interviennent dont :

- Le jeu radial **J,** défini par :

$$\mathbf{J} = \qquad (1.3)$$

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

- L'excentricité relative défini par :

(1.4)

C'est l'excentricité maximale donnée :

$$c = (D-d)/2 \qquad (1.5)$$

❖ La hauteur minimale du film lubrifiant :

$$h_{min} = c-e=c(1- \quad) \qquad (1.6)$$

h min étant sur la droite

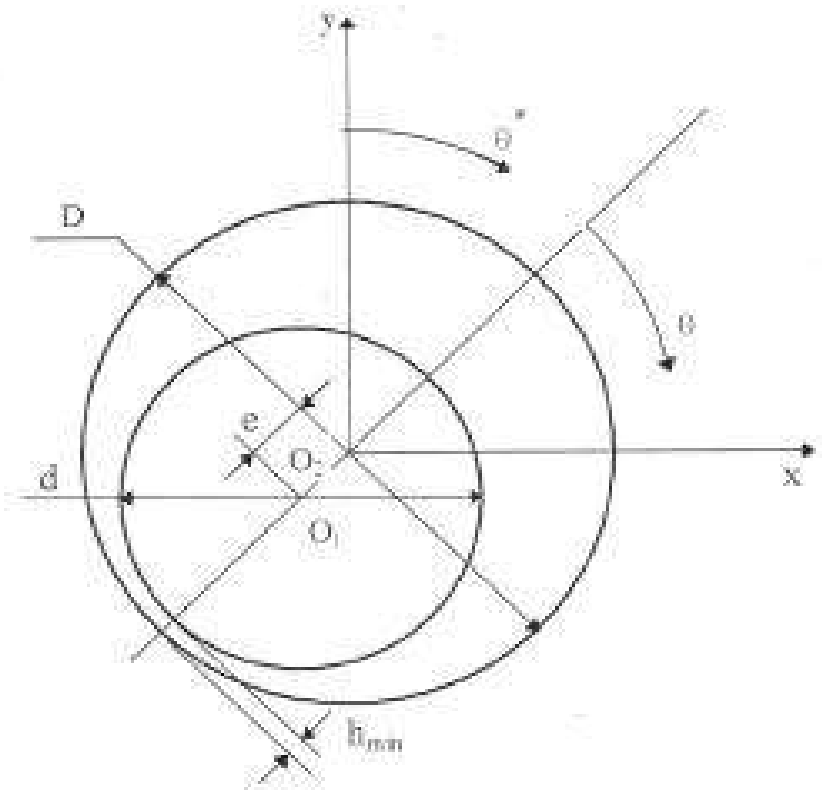


Figure (1.4) : Géométrie d'un palier lisse circulaire.

I.5.2.b- Géométrie et position des rainures d'alimentation :

La position et la géométrie des rainures d'alimentation et la pression d'alimentation ont une influence plus ou moins importante sur les caractéristiques de fonctionnement des paliers lisses. Généralement ont distingues deux types de rainures :

(a) Les rainures axiales

Elles sont placées suivant une géométrie du coussinet, dans la zone des pressions nulles, pour limiter les pertes de lubrifiants (généralement au début de la zone active du palier, ou l'épaisseur du film maximales). Cependant, comme la position de ligne du début de la zone active est repérée par l'angle de calage, lui-même fonction de la charge, de la vitesse et de la viscosité, on place souvent cette rainure à 90° ou 135° en avant de la charge. Si le sens de rotation n'est pas fixe, on peut placer deux rainures soit diamétralement opposées à 90° de la ligne de la charge, soit à 90° l'une de l'autre et à 135° de la charge, dans la zone d'épaisseur maximale la fin du film.

Avec des paliers circulaires à rainures axiales on prévoit une capacité de charge élevée, des faibles caractéristiques dynamiques, une mauvaise stabilité et une mauvaise aptitude à supporter une charge tournante.

(b) Les rainures circonférentielles

Ces rainures peuvent être complètes ou partielles, généralement placées dans la section médiane du palier. La forme circonférentielle complète substitue deux paliers de longueur L/2 à un palier de longueur L, celui qui réduit considérablement la portance du palier.

Les paliers circulaires à rainures circonférentielles sont préférables lorsque la charge est variable dans la direction (idéale pour les charges dynamiques). Cependant, ils ont des faibles coefficients dynamiques et une mauvaise stabilité.

I.5.2.c- Les matériaux :

(a) L'arbre

L'arbre est généralement usiné en acier et on réduit l'usure et le risque de grippage par un bon état de surface (la rugosité doit être minimale). Pour éviter tout les risques de grippage on impose pour la rugosité une valeur maximale h min/4. Et pour éviter toute inclusion, la surépaisseur d'usinage doit être supérieure à 3 mm.

Dans le cas spécial de basse température, ou se présente le risque de rupture de l'arbre par la perte de résilience, il convient de choisir un cupro-aluminium (CuAl9Ni5Fe4). Pour des hautes températures, ou se présente le risque de modification des caractéristiques mécaniques, on peut prévoir un acier inoxydable martensitique avec un chromage (Z20C13, Z30C13). Dans le cas des milieux corrosifs on peut utiliser les aciers austénitiques (contenant ND).

(b) Coussinet

Le matériau du coussinet dépend essentiellement de celui retenu pour l'arbre et de la nature de lubrifiant. Le couple doit être compatible, le frottement à sec lors du démarrage ne doit pas entrainer les détériorations notables.

Les fabricants ont mis au point des alliages à bas coefficients de frottement contenant : Etain, Plomb, Cuivre,…….



Coussinet simple (Pour effort essentiellement radiaux)



Coussinet à collerette (pour effort radiaux et axiaux)



Coussinet sphérique (pour un auto alignemet

Figure (1.5) : Différents formes de coussinet.

I.5.3. Etablissement du film :

-Au repos, l'arbre et le coussinet sont en contact suivant la génératrice qu'on oppose la charge (génératrice inférieure si le poids est la seule charge appliquée). La distance entre les centres est égale au jeu radial (figure1.6a)

-Au démarrage, l'arbre roule sans glissement dans le coussinet (frottement onctueux). La ligne de contact monte alors jusqu'à une position d'équilibre, à partir de laquelle il commence à glisser (frottement mixte). (figue1.6b)

-Avec l'augmentation de la vitesse de rotation de l'arbre, le lubrifiant pénètre entre les surfaces de l'arbre et du coussinet. Un champ de pression et généré et provoque le soulèvement de l'arbre et le sépare totalement du palier (frottement hydrodynamique). L'arbre occupe une nouvelle position d'équilibre repéré par l'angle de calage. (Figure 1.6c).

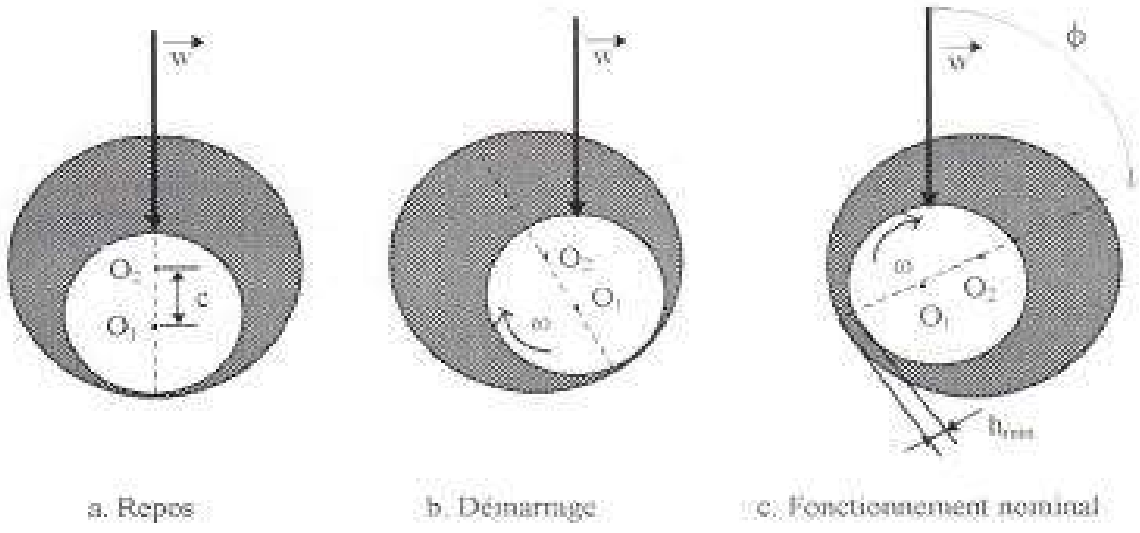


Figure (1.6) : Formation du coin d'huile.

Chapitre II

II .1.Introduction:

Dans ce chapitre nous allons présente les équations de base d la lubrification ainsi l'équation d'élasticité qui gèrent le problème de déformation dans un corps cylindrique.

II.2.l'équation de Reynolds :

L'équation de base qui gouverne le problème de lubrification et l'équation de Reynolds explique la génération de pression dans un palier hydrodynamique découle de l'équation de conservation de masse et des équations de mouvement.

Les hypothèses de base pour aboutir à cette suit :

1. Le fluide est newtonien.
2. Le fluide est très mince, de sorte que le gradient de vitesse à travers l'épaisseur du film soit plus important devant les autres gradients de vitesse (on l'appelle aussi l'approximation du film mince).
3. Les forces d'inertie dans le fluide sont négligeables devant les forces de viscosité et de pression.
4. La courbure générale du film est négligée, dans la mesure où on peut démontrer que pour un film mince (dans un palier par exemple) l'effet de courbure est du second ordre.

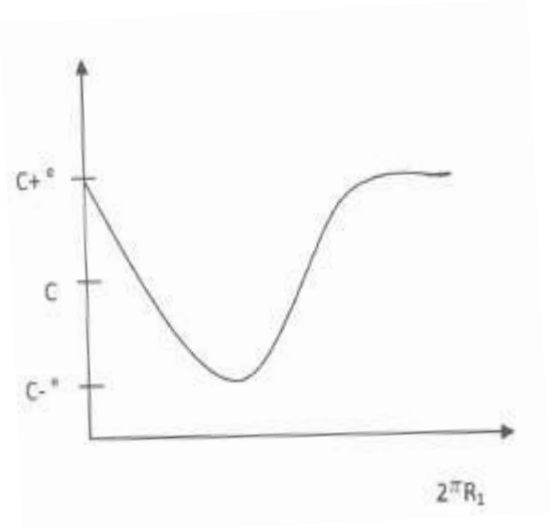


Figure (2.1) : L'épaisseur du film d'huile en fonction de la distance circonférentielle.

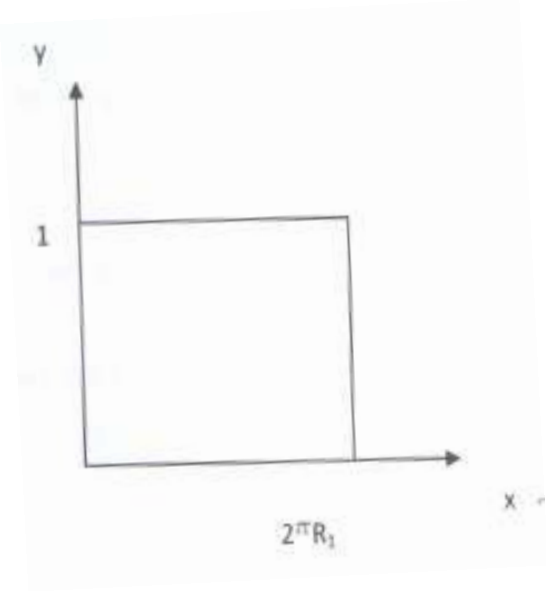


Figure (2.2) : Palier développé.

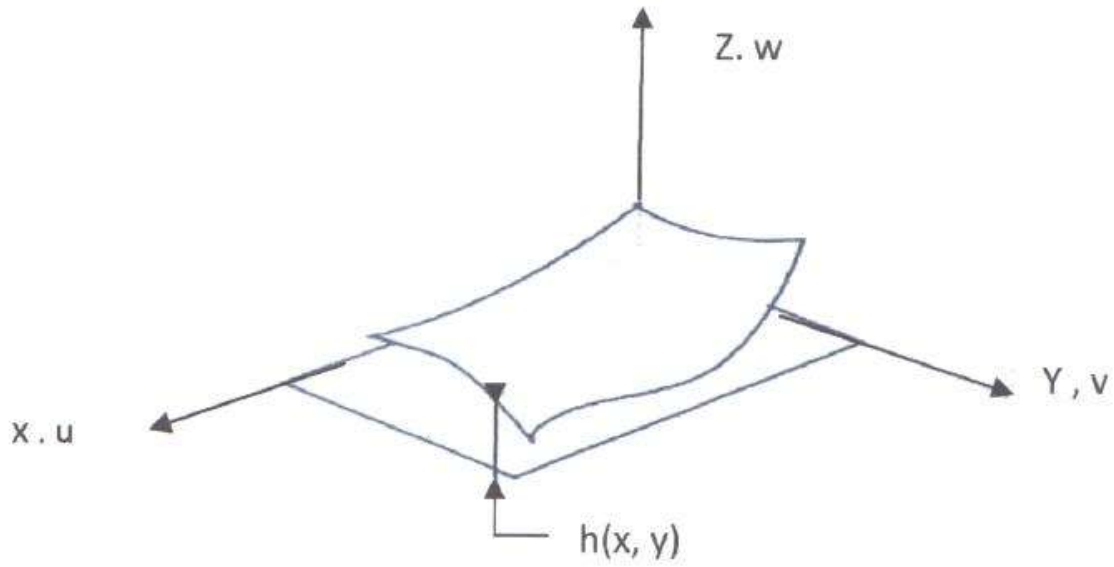


Figure (2.3) : Géométrie et système de coordonnée pour un contact lubrifie

La forme générale de l'équation de Reynolds est donnée par :

(2.1)

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

y : la position dans la direction axiale de ce point.

u : la viscosité dynamique du lubrifiant qui est considérée constante dans tout le film.

h : l'épaisseur du film.

P : la pression dans le film lubrifiant.

: la vitesse tangentielle de l'arbre.

t : le temps.

La relation (2.1) décrit la variation de la pression dans le fluide dans la direction axiale (y) et circonférentielle (x).

Etant donné que cette équation découle des équations de la mécanique des milieux continus, elle n'applique donc pas dans la zone de rupture du film fluide (appelée aussi zone inactive) ou des pressions négatives apparaissent.

II.3.Déformations mécaniques :

Les déformations mécaniques du coussinet sont les déformations élastiques qui sont engendrées par le champ de pression hydrodynamique qui règne dans le palier. Elles sont dites "élastiques" car nous considérons que, ne dépassant pas les limites de l'élasticité, les déformations sont purement élastiques. Le calcul de ces déformations est un calcul long, car il présente un problème 3D (trois dimensions) extrêmement pénalisant en temps de calcul.

Le logiciel que nous utilisons est l'ANSYS, qui utilise les équations classiques de l'élasticité :

(2.2)

L'équation (2.2) donne l'expression du tenseur des contraintes ( ) et l'équation (2.3) celle du tenseur des déformations ( ) avec ***E*** le module d'Young et ***v*** le coefficient de poison, pour un problème d'élasticité linéaire isotrope.

(2.3) [15]

En ce qui concerne les déformations de l'arbre dues au champ de pression, nous admettons qu'elles sont négligeables car l'arbre est massif.

II.4. Déformations (élastiques) dues au champ de pression :

Lorsqu'un cylindre circulaire d'épaisseur constante est soumis à des pressions intérieures et extérieure constantes uniformément reparties, la déformation résultante est symétrique par rapport a l'axe du cylindre. Nous allons donc considérer une section du cylindre située dans le plan médian du cylindre. L'équation (2.4) détermine le déplacement u d'une surface cylindrique de rayon r.

(2.4)

La solution générale de cette équation est de la forme :

(2.5)

Les constantes C1 et C2 sont déterminées par les conditions aux surfaces intérieure et extérieure ou les pressions (respectivement et) sont connues. L expression des constantes est donc :

En injectant ces constantes dans l'équation (2.5), on obtient l'équation (2.6) qui donne le déplacement radial d'un point quelconque de la paroi du cylindre.

(2.6)

Dans le cas particulier qui nous intéresse d'un cylindre soumis uniquement à une pression interne, , le déplacement radial d'un point quelconque de la surface intérieure est, d'après l'équation (2.6) :

(2 .7)

II.5. Calcul de déformations :

Dans le cas général le problème de déformation est géré par la loi généralisé de Hooke.

$$\left\{\right. \qquad (2.8)$$

Chapitre III

III.1. Introduction:

ANSYS est le premier éditeur mondial dans le domaine du calcul par éléments finis. Les outils proposés permettent de résoudre les problèmes de validation produits de manière efficace et d'optimiser le processus de conception (gain de temps). ANSYS emploie plus de 2600 personnes et réinvestit chaque année 15% de ses revenus en Recherche & Développement pour apporter les meilleures réponses à ses clients. Les industriels conçoivent des produits plus innovants (intégration d'une pré-analyse dans le cycle de conception), de qualité plus élevée tout en minimisant les coûts.

III .2. La simulation numérique en conception mécanique :

La pression sur la qualité et les réductions de coûts favorisent l'utilisation de la simulation numérique dans le développement de produits dès la phase de conception**.** Intégrer l'analyse de conception dans un bureau d'études permet de décupler les capacités d'innovation et de prendre une réelle avance technologique.

« Les sociétés qui gagnent de l'argent sont celles qui innovent, pas celles qui ont de faibles coûts. »

III .3. La gamme ANSYS :

La gamme ANSYS, Inc. se présente sous plusieurs niveaux de licences pour satisfaire l'ensemble de la chaîne de conception: du concepteur du bureau d'études qui pourra effectuer des calculs rapides de pré-dimensionnement à l'ingénieur de calcul qui réalisera des études plus précises (réponse spectrale, non linéarité…).

- ANSYS DesignSpace.
- ANSYS Professional.
- ANSYS Structural.
- ANSYS Mechanical .

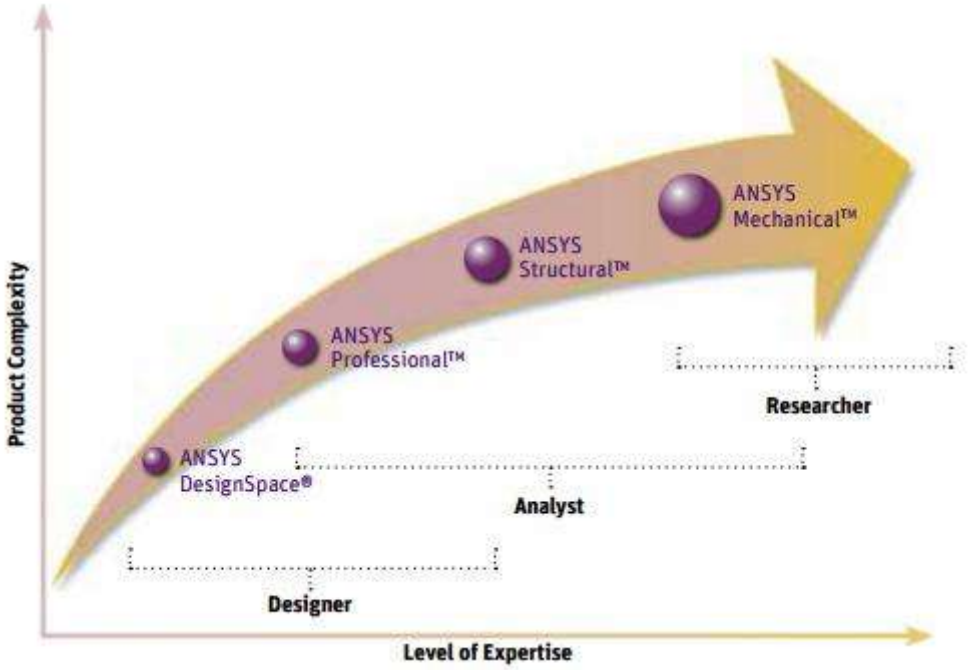


Figure (3.1) : License ANSYS simulation.[22]

Généralement, les logiciels de calculs par éléments finis sont très peu abordables et nécessitent d'importantes connaissances en calcul. L'interface Workbench d'ANSYS qui encapsule les différents niveaux de l'outil de simulation et les différents modules a été conçue pour être utilisée sans avoir nécessairement une formation basée sur les éléments finis :

- L'interface est très intuitive offrant une prise en main très rapide du logiciel.
- L'automatisation de la reconnaissance des zones de contacts et la génération du maillage facilitent la préparation du modèle.

III .3. a. ANSYS DesignSpace :

C'est un outil de simulation simplifié destiné aux concepteurs pour permettre l'analyse de pré-dimensionnement au bureau d'études pour réduire les temps de conception. DesignSpace a été développé dans le but exclusif d'être utilisé en complément d'un outil de CAO 3D, afin de fournir aux concepteurs et ingénieurs un retour de conception rapide et de qualité sur les performances de leurs produits pendant le cycle de conception. Il apporte une réponse rapide et fiable aux questions de conception:

- L'assemblage va-t-il casser?

- Comment se comporte cette pièce soumise à une variation de température?
- Y a t'il un risque de résonance?
- Où retirer de la matière pour alléger ma structure?

DesignSpace met à la disposition du bureau d'études la puissance de Calcul et les 30 ans d'expérience dans la simulation de la société ANSYS, Inc. dans une interface native Windows extrêmement simple d'utilisation. Il dispose d'outils optionnels pour préparer les modèles CAO pour la simulation, faire de l'analyse paramétrée avancée ou de l'analyse à la fatigue tout en restant ouvert vers des fonctionnalités de calcul multi-physique avancées avec la gamme des outils ANSYS.

III .3.a.1. Les principales fonctionnalités d'ANSYS DesignSpace :

Associativité avec votre CAO

- DesignSpace est associatif avec: Catia V4 V5, Inventor, Mechanical Desktop, Pro/Engineer (Wildfire inclue), Solid Edge, SolidWorks et NX.
- Cette associativité est bidirectionnelle. La mise à jour de la géométrie peut aussi bien se faire depuis la CAO que depuis l'interface simulation. Ceci en jouant sur la cotation fonctionnelle, les matériaux, les systèmes de coordonnées, les points de soudure, les paramètres, les charges de mouvements…
- L'import de la géométrie est totale: Solide, surface de construction, entités géométrique 2D et 1D (courbe, ligne…)
- Pour les assemblages, DesignSpace importe l'arborescence CAO avec les noms des pièces d'origine.

Il est possible de combiner plusieurs scénarios dans le même projet avec une géométrie par étude.

Large palette d'analyses possibles.

- DesignSpace propose de nombreux types d'analyses afin de simuler au mieux l'environnement dans lequel votre produit sera sollicité.
- Les analyses sont: analyse structurelle (résistance), thermique, modale, réponse harmonique, flambage, optimisation topologique, simulation paramétrique

(géométrie/analyse), équilibre dynamique, couplage structurel/thermique, analyse fréquentielle pré-contrainte.

- Les résultats en contrainte et en déplacement couvrent l'ensemble des informations nécessaires à la validation. (Contraintes Von Mises, Mohr-Coulomb, suivant les axes principaux, maximal et minimal, intensité, déformation totale, directionnelle, coefficient de sécurité, flux, erreur, etc.)
- Un large panel d'outils pour la visualisation des résultats (coupe locale, isocoupes, isolignes, ombrage, filaire, vues nommées, scoping, légende paramétrable etc.)

Gestion automatique des assemblages et définition de support.

- DesignSpace importe vos assemblages en créant directement les contacts entre chaque pièce de l'assemblage. Ces contacts sont détectés en vérifiant le décalage dans chaque interface.
- Les contacts peuvent être paramétrés par la suite en spécifiant les décollements et les glissements relatifs possibles (pièces bridées, insérées, encastrées etc.)
- Dans le cas d'import de pièce unique, différents types de supports sont disponibles: support fixe (encastré), support sans frottement (glissant), support en compression (type roulement fretté) etc.
- Les contacts ainsi que les chargements sont créés en vous basant sur la géométrie existante (faces cylindriques, planes ou gauches, arrêtes et sommets).

Maillage auto-adaptatif.

- DesignSpace maille automatiquement votre géométrie et vous laisse par la suite le choix de le dégrader ou de l'améliorer.
- Le maillage automatique vous empêche de créer un maillage qui pourra peut être ne pas convenir au solveur (taille et forme de maillage non uniforme). Et surtout, il permettra aux non initiés à la théorie des éléments finis de ne pas se préoccuper du maillage.
- Des outils de contrôle du maillage sont mis à disposition afin d'améliorer la qualité du maillage sur certaines zones de votre géométrie. Il est possible de raffiner, de redimensionner, d'homogénéiser le maillage localement et globalement.

Les éléments finis générés dépendent de la géométrie importée. Un solide sera maillé avec des tétraèdres par défaut et avec des hexaèdres si la géométrie le permet. Une surface sera maillée automatiquement avec des éléments plaques et coques.

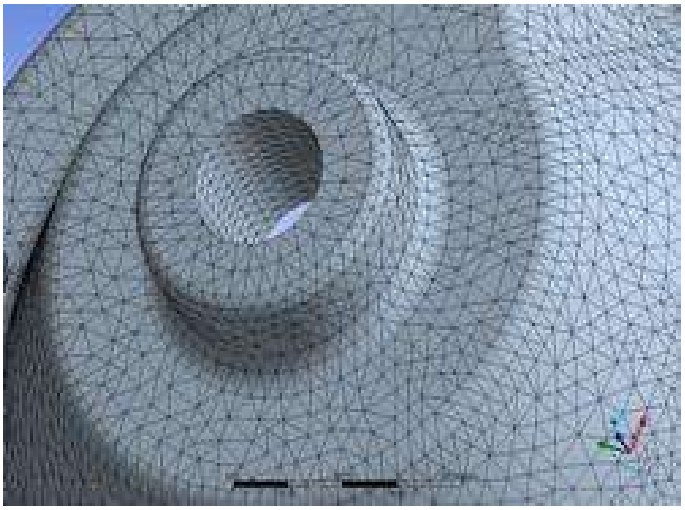


Figure (3.2) : schéma qui présente le maillage.[22]

Assistants de Simulation.

- DesignSpace propose un assistant clair et paramétrable vous guidant au travers chaque étape de la simulation
- Dès l'ouverture d'ANSYS, il vous propose de choisir un type de simulation (Structurel pour matériaux ductiles ou fragiles, thermiques…)
- Une fois la simulation choisie, il vérifie les étapes renseignées et vous averti lorsqu'une donnée est manquante.
- A chaque étape, il vous indique avec des infos bulle quel outil choisir et à quel endroit trouver cet outil.

Pour les utilisateurs expérimentés il est possible de créer et d'exécuter des macros personnalisées pour traiter des projets récurrents.

Création automatique de rapports de calcul.

- DesignSpace génère un rapport automatique en plusieurs langues.

- Ce rapport est paramétrable est peut être exporté vers votre messagerie e-mail, Microsoft Power Point, Microsoft Word. Il peut aussi être publié vers une page web HTML.
- Un rapport type est structuré en chapitre: il présente le logiciel utilisé, les différents scénarios avec les types d'analyses effectuées, les unités utilisées, les cas de chargements, les matériaux (les courbes relatives), les types de maillage, les résultats obtenus etc.
- Il est possible d'ajouter les figures et images de votre choix (capture des résultats, des cas de chargements etc.).

Associativité avec les logiciels de CAO.

- et aussi par l'intermédiaire de passerelles Acis (.sat) et Parasolid (._xt) intégrées avec tous les autres produits.

La gamme Workbench communique avec la plupart des logiciels CAO du marché et permet une associativité en temps réel avec chacun d'eux. Les modifications géométriques sont directement mises à jour à partir de l'interface Workbench. Les logiciels CAO compatibles sont :

- en format natif avec Catia V4 et V5, Solid Edge, NX-Unigraphics, Pro/Engineer (Wildfire inclue), SolidWorks, Autodesk Inventor et Mechanical Desktop,

III .3. b. ANSYS Professional :

Pour des analyses plus complexes que DesignSpace. 2 versions disponibles : Professional NLS (calcul de structure) et Professional NLT (thermique). C'est un outil intermédiaire dans la gamme ANSYS, Inc., leader mondial depuis 30 ans sur le marché de la simulation, situé entre les besoins du concepteur du bureau d'étude et ceux des ingénieurs calculs. Il peut donc être utilisé aussi bien par les concepteurs que par les ingénieurs d'études ou les ingénieurs calculs. ANSYS Professional permet d'explorer et de valider un modèle en utilisant des fonctionnalités de simulation plus avancées que celles de DesignSpace. Comme DesignSpace, ANSYS Professional est associatif avec Catia, Inventor MDT, Pro/Engineer, Solid Edge, SolidWorks et NX et dispose d'une interface intuitive « Look and Feel Windows » pour une utilisation simplifié.

III .3. b. 1. Les principales fonctionnalités d'ANSYS Professional :

ANSYS Professional contient toutes les fonctionnalités de ANSYS DesignSpace, plus :

- Thermique : rayonnement, régime transitoire et changement de phase.
- Objets Commandes.
- Suivi des résultats.
- Analyse Harmonique, réponse spectrale.
- Flambage non-linéaire.
- Grands déplacements.
- Option d'entrée des contacts.
- Post-traitement des contacts : pression, jeu, état, …
- Combinaison de solutions.
- Commandes de prétraitement et post-traitement.
- Contacts de faces ou d'arêtes de corps surfaciques.
- Contacts d'arêtes de corps volumiques.

III .3. b. 2. Versions d'ANSYS Professional :

ANSYS Professional NLT

Pour le calcul linéaire de structures, calcul dynamique et simulation thermique non linéaire.

ANSYS Professional NLS

Pour le calcul thermique, calcul de structures en linéaire et le calcul basique en non linéaire.

III .3. c. ANSYS Structural et Mechanical :

Après analyse de vos besoins nous serons en mesure de vous présenter les outils de la gamme avancée ANSYS (Outils destinés à des analystes, pouvant traiter des phénomènes multi physiques, problèmes transitoires, non linéaires, matériaux composites, calculs parallèles, simulations avancées en mécanique, thermique, électrique, électrostatique, acoustique, électromagnétique…).

III.4.Environnements logiciels :

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

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

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

III.5.Préparation de l'analyse :

III.5.1.Exécution de la dynamique explicite :

Pour exécuter **ANSYS-explicite dynamique**, effectuer l'une des deux étapes suivantes :

-Dans le menu Démarrer, lancer ANSYS Workbench, puis ajouter le composant explicite dynamique au schéma du projet (double-clique sur le système composant explicite dynamique dans la boite à outils,

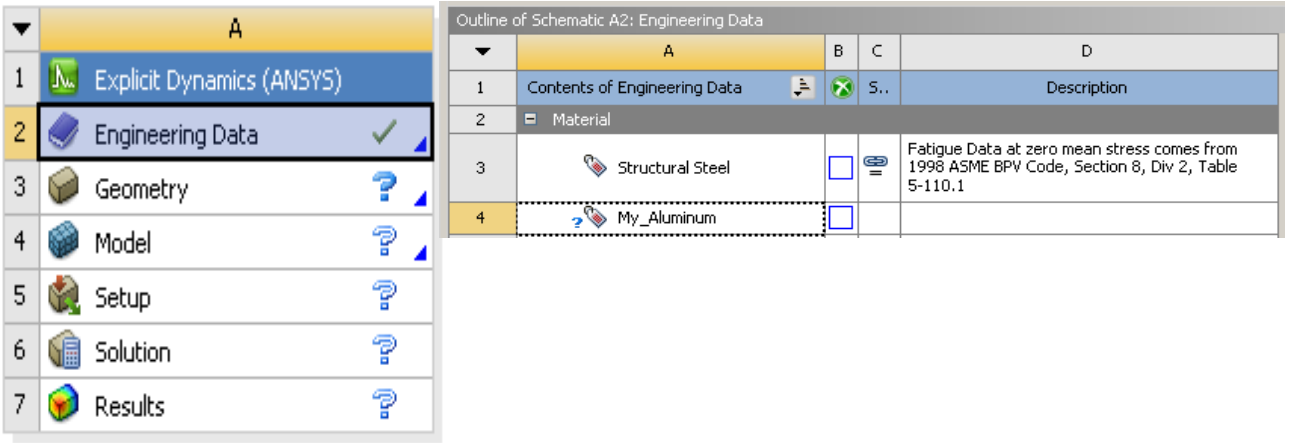
-Ou faite glisser le système composant explicite dynamique de la boite à outils ou schema du projet).



Figure (3.2) : Page accueil de l'outil workbench.[17]

III.5.2.Spécification des matériaux utilisés :

Dans la boite de dialogue suivante, on va utiliser les matériaux de la bibliothèque de logiciel s'ils existent, si non on va définir les caractéristiques de ces matériaux (module d'élasticité, coefficient de poisson, masse volumique etc……..),



[Explicit Dynamics (AUTODYN)]

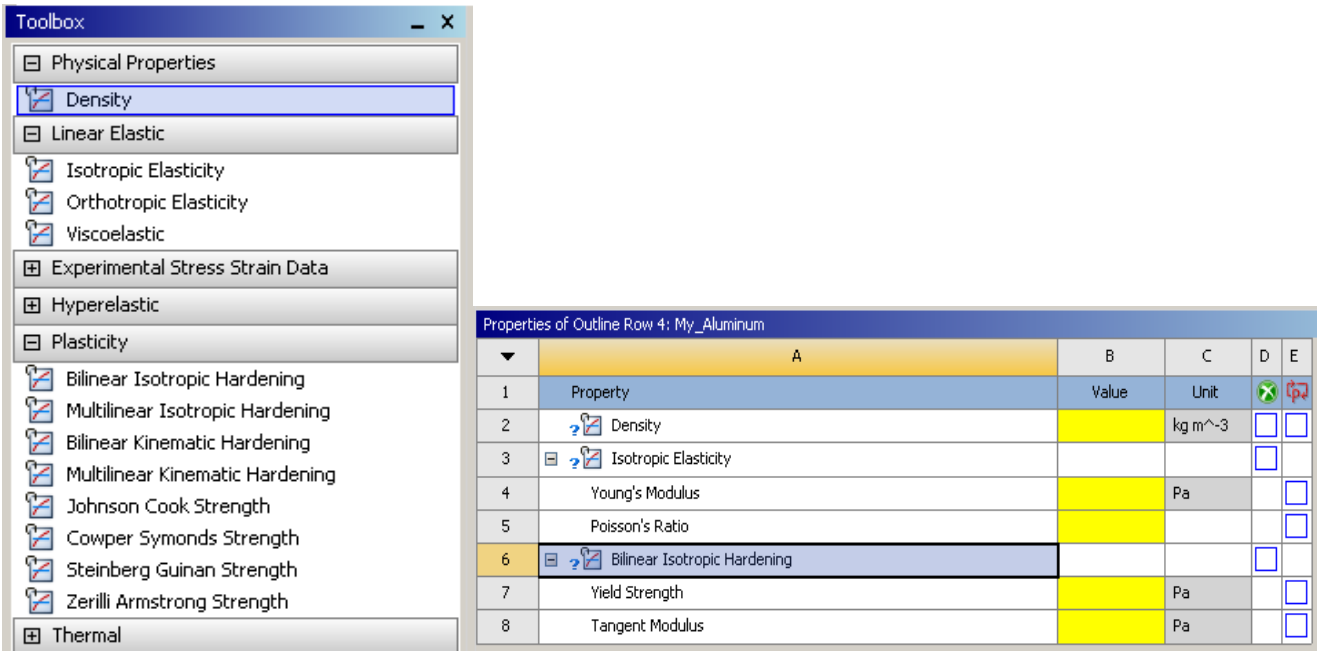
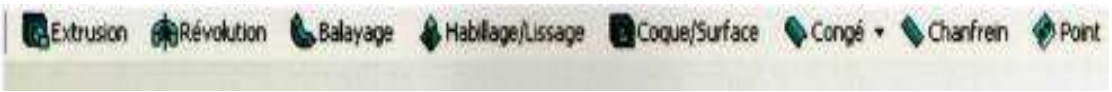


Figure (3.3) : Les boites de dialogue pour déclaration des matériaux.[21]

III.5.3.Conception du modèle :

Pour la conception du modèle on a suivi l'une des deux étapes suivantes :

La conception est faite à l'aide des outils de conception dans la barre d'outils du module explicite dynamique.



Pour cette méthode on va définir plusieurs paramètres pour obtenir la géométrie (définir le plan d'exécution-esquisse : géométrie, cotation, …-générer les Extrusion-etc……)

La conception du modèle peut être réalisée par l'autre logiciel de conception inclus par Workbench. Pour importer le modèle, on utilise la fonction importer le fichier géométrie ensuite en clique sur Générer.

Figure (3.4) : Schéma de modèle.[17]

III .5.4.Maillage :

La figure suivante montre les paramètres de maillage (taille des éléments de maillage, types de maillage, etc…..)

Figure (3.5) : le maillage de modèle.[17]

III.5.4.Conditions initiales :

Dans la boite de dialogue suivante on va définir les conditions limites (paramètres d'analyse, support fixe,…..)

III.5.5.a. Paramètres d'analyse :

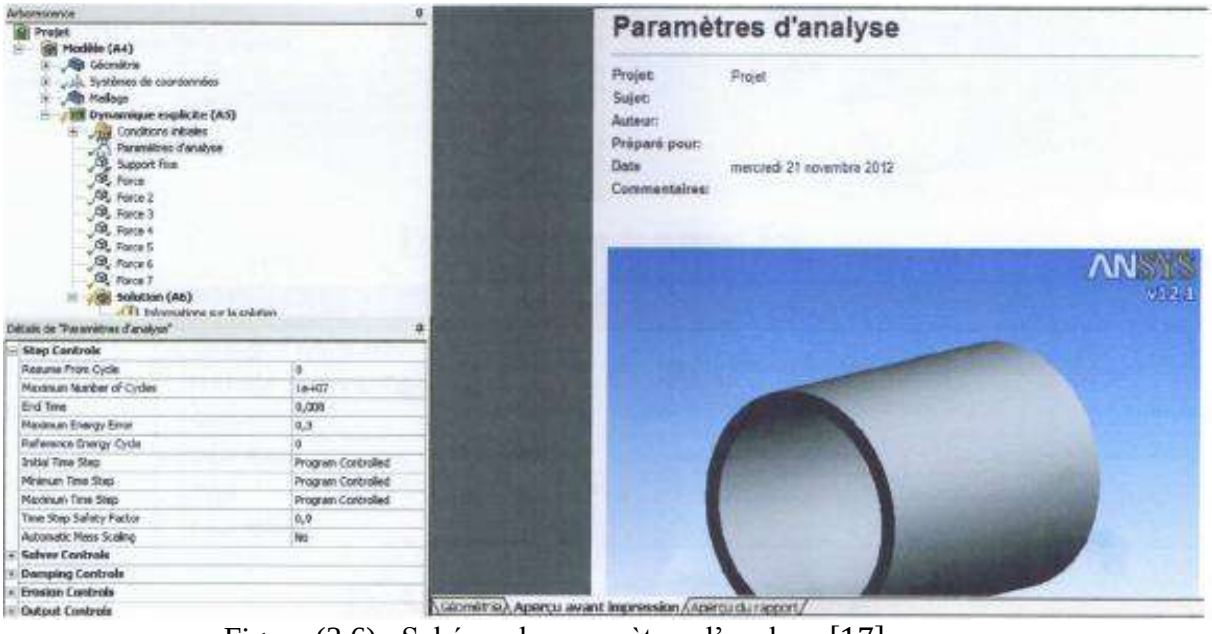
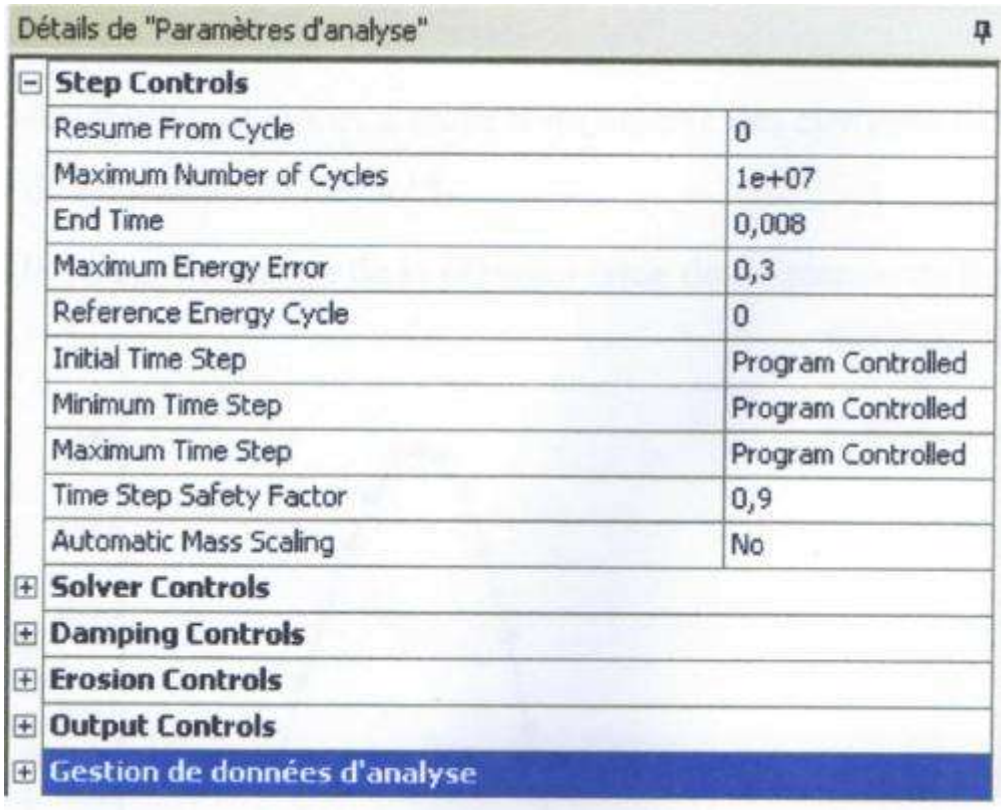


Figure (3.6) : Schéma de paramètres d'analyse [17]



Détails de "Paramètres d'analyse"

Step Controls	
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
End Time	0,008
Maximum Energy Error	0,3
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0,9
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	
Damping Controls	
Erosion Controls	
Output Controls	
Gestion de données d'analyse	

Figure (3.7) : Tableau détaillé de paramètre d'analyse. [17]

III.5.5.b. Support fixe :

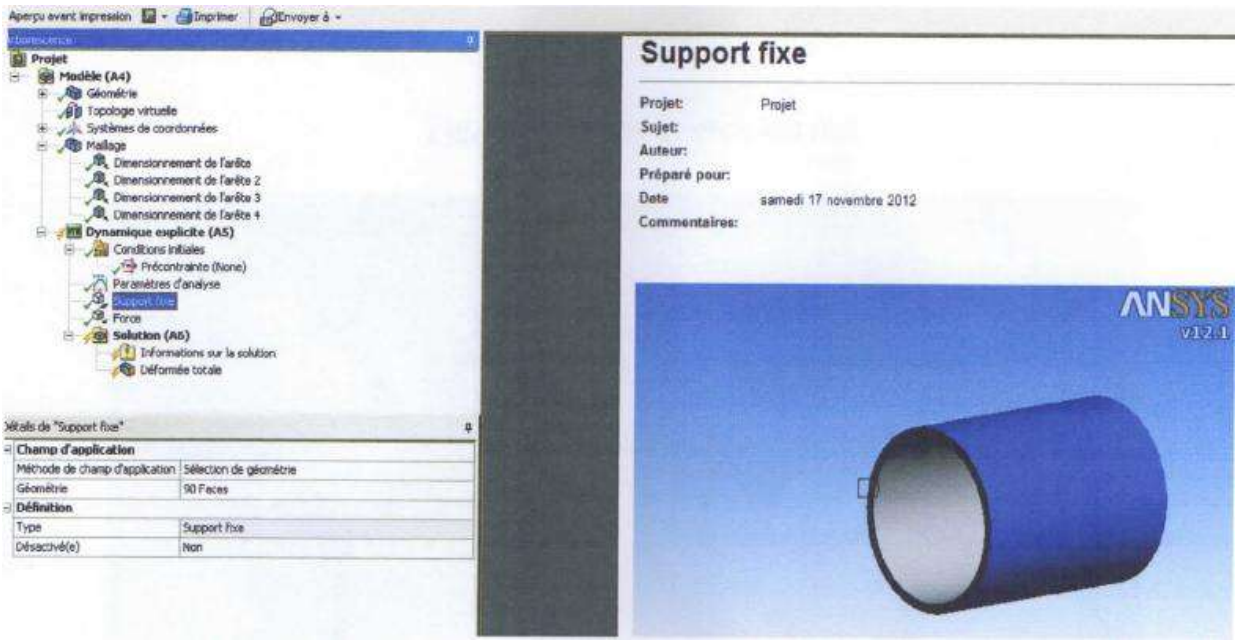


Figure (3.8) : Schéma de support fixe. [17]

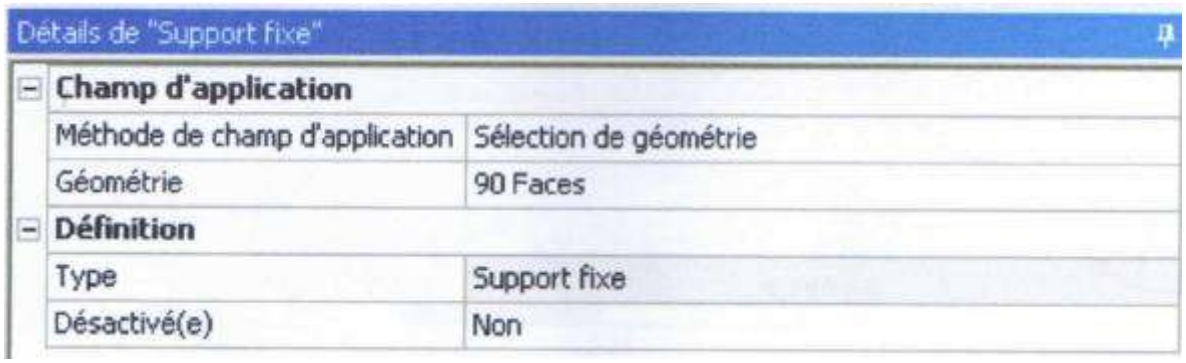


Figure (3.9) : Tableau détaillé de support fixe. [17]

III.5.5.c. Pression :

- On utilises des charges obtenues à partir d'un modèle des éléments finis de la résolution de l'équation de Reynolds .
- On retenu la valeur maximale de la pression issue de l'équation de Reynolds.

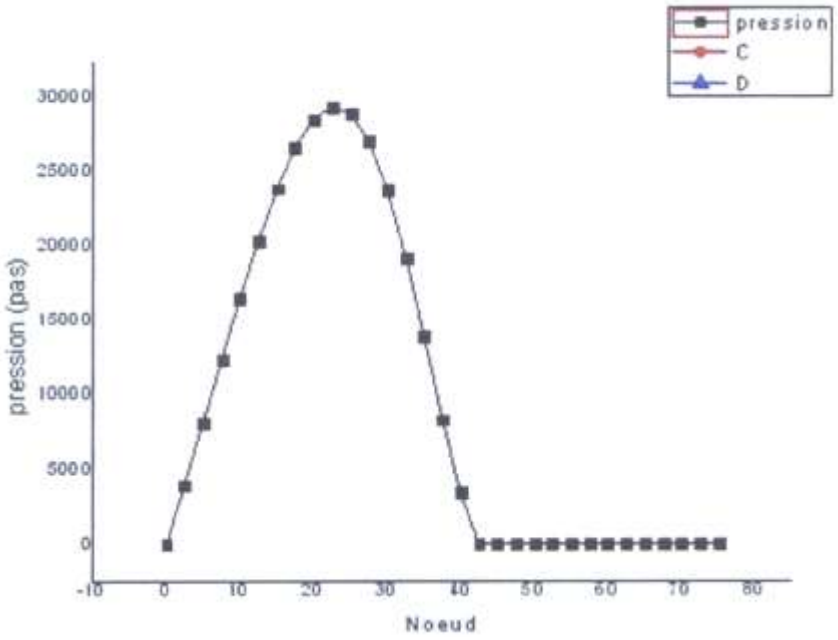


Figure (3.10) : Champ de pression réel. [17]

III.5.6. Application de la solution :

Il faut spécifier les résultats désirés par leur insertion dans la partie solution. On peut obtenir différent résultats tels que les déformations, les contraintes, les déplacements, etc. Comme schématisé dans la figure suivante :

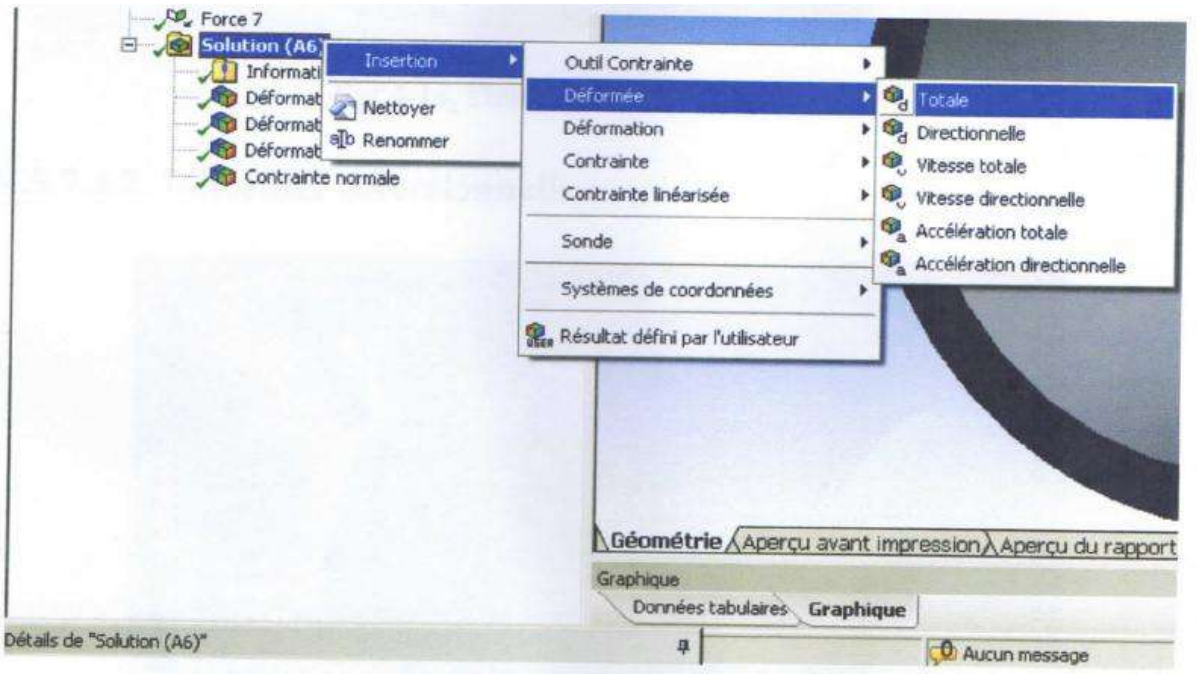


Figure (3.11) : Spécification les résultats. [17]

IV.5.a.1.Discussion des résultat :
IV.5.a.2.pression axisymétrique :

Dans le cas d'un problème axisymétrique nous avons traité trois cas dont les propriétés géométrique son les différentes mais la pression reste constante. Le champ de pression dans le plan médian et issus d'un programme de calcule [thèse] élément fines qui sert a résoudre l'équation de Reynolds dans le cas isotherme .On remarque que la déformation maximale et proportionnelle de diamètre de cylindre .voir les figure des exemple :/1 et 2 et 3/ déplacement directionnel et totale. Voir : Figure (4.3) . Figure (4.4). Figure (4.7). Figure (4.8). Figure (4.11). Figure (4.12).

IV.5.a.3.pression non axisymétrique :

La pression réel sont issus d'un programme élément finis qui sert a résoudre l'équation de Reynolds (voir chapitre 3) dans le cas isotherme .Nous avons traité trois exemples et deux excentricité (e /c=0.02 et e/c=0.08).On remarque que les déformation des palier est en relation directe avec la pression et l'excentricité relative une excentricité plus grande des déformation maximal importantes. Aussi un palier assez long 87 moine complaint.

IV.5.a.1.Discussion du résultat :
IV.5.a.2.pression axisymétrique :

Dans le cas d'un problème axisymétrique nous avons traité trois cas dont les propriétés géométrique son les différentes mais la pression reste constante .On remarque que la déformation maximale et proportionnelle de diamètre de cylindre .voir les figure des exemples : /1 et 2 et 3/ déplacement directionnel et totale. Voir : Figure (4.3). Figure (4.4). Figure (4.7). Figure (4.8). Figure (4.11). Figure (4.12).

IV.5.a.4.Conclusion :

On peut conclure a partir de ces exemples que la déformation d'un palier soumis a un pression Symétrique et totalement différente a celle d'un chargement non axisymétrique.

Le champ de pression et reflété directement par la longueur et l'excentricité relative des paliers.

Enfin les propriétés géométriques du palier et rhéologique des lubrifient sont importante pour Résoudre ce type du problème.

Conclusion générale

Les organes de guidage en rotation d'arbre que sont les paliers hydrodynamiques, sont de plus en plus sollicités, pour mesurer les performances ou éviter d'éventuelles avaries.

Au cours de ce travail, nous sommes intéressés à l'étude de pression axisymétrique et pression non axisymétrique des paliers circulaires cylindriques pour objectif principal de supporter une charge radiale. C'est pourquoi l'on se doit réaliser des modèles numériques de plus en plus précis qui permettent de s'affranchir d'expérimentations lourdes et coûteuses à mettre en œuvre.

Dans ce contexte, le logiciel ANSYS est très utilisé pour les modélisations par éléments fini des structures. Nous avons utilisé ce logiciel pour le calcul des déformations a l'intérieur d'un palier hydrodynamique. On peut conclure a partir de ce travail que la déformation d'un palier soumis à une pression symétrique et totalement différente a celle d'un chargement non axisymétrique aussi la forme géométrique du palier et l'excentricité relative ou une très grande influence sur la déformation de la structure.

En perspective, on peut dire qu'un champ de pression réel (sur toute la structure et non pas uniquement le plan médian) peut donner les déformations réelles du palier.