Répubplique Algérienne Démocratique et Populaire

Ministére de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientique

Université Yahia FARES de MEDEA

Facullté de Technologie

Département du génie mécanique

Mémoie de fin d'etude Pour l'obtention de diplôme Master

en génié Mécanique

spécialité : construction mécanique

Détermination du champ de pression hydrodynamique dans un palier circulaire

-utilisation de logiciel ANSYS CFX -

Proposé et dirigé par :

Dr. BOUKHELEF Djilali

présenté par :

ZOUAK Zhour
LAGAB Ahlam

Année universitaire: 2017-2018

Remerciement

Avant d'ouvrir ce projet nous tenons tout d'abord à remercier Allah qui nous a aidé à completer ce travail et nous a donné la force et le courage.

Nous tenons à exprimer notre profonde 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.

On remercie virement Dr.Rebhi Ridha pour toute l'aide et ces conseils précieux le long de notre formation.

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

Merci a tout

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma très chère Mère et à mon cher Père

A ma cher sœur Fatima

A mes très chers frères : Walid, Ammar, Rayen.

A tout la famille LAGAB.

Atout mes amis proches.

A ma coupine ZOUAK Zhour .

A tous mes amis de la promotion de génie mécanique.



Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma très chère ma mère pour toute l'affection, tendresse et l'attention qu'elle m'ont témoignés et les sacrifices qu'ils ont bien voulu me consentir pour la réussite dans mes études.

A mes très chers frères : Mohammed, Ali, Khaled, Houssem.

A tout la famille : ZOUAK et HADDAD.

A ma coupine LAGAB Ahlam.

A tout mes amis proches.

A tous mes amis de la promotion de génie mécanique.



Résume :

Le comportent d'une machine tournant, dépend essentiellement des paliers ce qui donne l'importance à l'étude de performance de ces derniers.

Nous avons étudié le champ de pression hydrodynamique dans un palier circulaire avec l'utilisions de logiciel ANSYS CFX .

A la fin de ce travail, nous avons constaté que la pression liée à la longueur du palier.

Mots clés :

Machine tournante, palier lisse, lubrification .

Summary:

The behavior of a rotating machine depends essentially on the bearings, which gives importance to the performance study of the latter we have studied the field of the hydrodynamic pressure in circular bearing with the use of ANSYS CFX software .

At the end of this work we found that the pressure related to the length of the bearing.

Key words :

Rotating machine, Plain bearing, lubrication.

ملخص :

سلوك الة الدوارة يعتمد أساسا على المحامل التي تعطي أهمية لدراسة أداء هذا الأخير.

وفي السياق هذا العمل يعالج مجال الضغط الهيدروديناميكي في تحمل دائري باستخدام

ANSYS CFX .

في نهاية هذا العمل وجدنا ان الضغط متعلق أساسا بطول المحمل .

المفاتيح

تشحيم ,المحامل, للآلات الدوارة .

C	Jeu radial (m)
D	Diamètre du palier (m)
e	Excentricité (m)
h	Epaisseur du film lubrifiant (m)
H_{mim}	Hauteur minimale du film lubrifiant (m)
L	La longueur du palier (m)
V	Vitesse de rotation du rotor (tr/s)
P	Pression dans le film lubrifiant (Pa)
Ra	Rayon de l'arbre (m)
Rc	Rayon du coussinet (m)
Rr	Rayon du rotor (m)
T	Le temps (s)
X , Y , Z	Coordonnée
u ou u, v, w	Vitesse de fluide (m/s)
W	Charge extérieure appliqué sur le palier (N)
Ω	Vitesse angulaire de l'arbre (rd/s)
M	Viscosité dynamique du lubrifiant (Pa.s)
λ	Viscosité cinématique du lubrifiant (m2/s)
$Ↄ_a$	La vitesse de rotation de l'arbre (rd/s)
$Ↄ_c$	La vitesse de rotation de coussinet (rd/s)
θ	Coordonné angulaire ou circonférentielle (degré d'angle
$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$	Coordonnée
$\bar{p}$	Pression.
Ū1, Ū2 , Ū3	Vitesse de fluide
τ	Le taux de dilatation cubique

$\mathfrak{R}$	Le nombre de Reynolds

Chapitre I : Etude Bibliographique :

Figure .I. 1 : Le transport d'une statue égyptienne à la tombe de Tehuti-Hetep, El-Bersheh Egypte 1880 avant J-C……..…10

Figure. I. 2: Dessins du domaine de la tribologie illustrant les expériences de Leonardo da Vinci sur le frottement ……12

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.

……...14

Figure. I. 4 palier lisse cylindrique……...18

Figure. I. 5 Schéma représent un palier hydrodynamique……19

Figure. I.6 palier circulaire ……...20

Figure. I. 7 : Palier à l'arc partiel……..20

Figure. I. 8 : Palier elliptique…….....21

Figure. I. 9 : Photographie d'un palier à 3 patins……..21

Figure. I. 10 : Palier à trois lobes……..20

Figure. I. 11 : Les déférents types des régimes ……23

Figure. I. 12 : lubrification limite……..25

Figure. I. 13: Lubrification mixte ……26

Figure. I. 14 : courbe de stribeck……..27

Chapitre II : Présentation De Problème :

Figure. II.1 : palier lisse développé ……..34

Figure. II.2 : Conditions aux limites de Sommerfe……...35

Figure.II.3 : Conditions aux limites de Gümbel……36

Figure. II .4: Conditions aux limites de Reynolds……37

Figure. II. 5: Conditions aux limites de rupture du film……...38

Figure. II.6 : Schéma d'un palier lisse hydrodynamique …….39

Figure. II.7: Géométrie d'un palier lisse circulaire……...40

Chapitre III : présentation des outils de simulation :

Figure III.1 : les modules principaux du CFX -15.0……45

Figure. III.2: le menu principal de programme ANSYS……..46

Figure. III.3 : ouvrir l'analyse mécanique des fluides (CFX)……..46

Figure. III.4 : choisir géométrie……47

Figure. III.5 : importer la pièce……47

Figure III.6: interface graphique du module géométrie……48

Figure. III.7 : choisir maillage……..48

Figure III.8 : interface graphique du module meching……49

Figure. III.9 : choisir configuration……...49

Figure III.10: interface graphique du module CFX-pre……50

Figure. III.11 : choisir solution……51

Figure III.12: interface graphique du module CFX-Solver……...……51

Figure. III.13 : choisir résultats……52

Figure .III.14: interface graphique du module CFX-Post……..…52

Chapitre IV : Résultat et Discussion :

Figure IV.1 : Schéma de pression du palier court……66

Figure IV.2 : Champ de pression radiale à l'entre d'un palier court. ……...66

Figure IV.3 : Champ de pression radiale au milieu d'un palier court……..….67

Figure IV.4 : Schéma de pression du palier à longueur finie…….…...68

Figure IV.5: Champ de pression radiale à l'entre d'un palier à longueur finie……68

Figure IV.6 : Champ de pression radiale au milieu d'un palier à longueur fini……...69

Figure IV.7: Schéma de pression du palier à long charger……...70

Figure IV.8: Champ de pression radiale à l'entre d'un palier à long charger……...72

Figure IV.9 : Champ de pression radiale au milieu d'un palier à long charger……72

I Introduction générale ……...7

Chapitre I : Etude Bibliographique :

I.1. Introduction ……..9

I.2. L'histoire de tribologie…….9

I.3. Introduction sur les palies ……..16

I.3.1. Définition des paliers ……..17

I.3.2 . les paliers lisses cylindriques……..18

1.3.3. Paliers hydrodynamiques……18

I.3.4.Classement des paliers lisses…….....19

a) Selon la forme géométrique …….19

1) . la forme circulaire (coussinet à portée 360)……..19

2) .palier à arc partiel…….....20

3) .forme elliptique (citron) ……..20

4) .A patins oscillants……21

5) .A lobe…….....21

b) Selon les types de lubrification ……22

1)Palier à régime sec ……22

2) Palier à régime onctueux……..22

3) Palier à régime hydrostatique……...22

4) Palier à gaz……22

5) Palier à régime hydrodynamique…….23

6) Palier magnétique…….23

c) Selon le diamètre…….....23

1. Palier court……23

2. Palier infiniment long……23

3. Palier de longueur finie……..23

I .3.5. Les avantages et les inconvénients des paliers lisses…….24

A. Les avantages sont……..24
B. . Les inconvénients sont……...24

I. 4. Lubrification ……..24

I. 4.1. Définition ……...24

I .4.2.Les types de lubrification ……25

A. . La lubrification limite…….25
B. . La lubrification mixte……..25
C. . La lubrification hydrodynamique……26
D. . La lubrification élastohydrodynamique……..27

I. 4.3. Différents types de lubrifiants……27

a) Lubrifiants d'origine animale…….27
b) Lubrifiants d'origine végétale……27

I. 4.4. Les huiles de synthèse ou synthétiques……..……28

I .5.Conclusion…….28

Chapitre II : Présentation des problèmes :

II .1.Introduction…….30

II .2. Fluide Newtonien……..30

II .3.Fluide non-newtonien……30

II .4.Hypothèses simplificatrice……31

II .5 . Les équations de Navier Stokes ……..31

II .5.1. Détermination des équations de Navier Stokes…….31

II .5.2.Les équations de Navier Stokes sans dimension……32

II .6. Equation de Reynolds……...32

II .6.1. Conditions aux limites……...33

6.2. les modèles de Reynolds ……...34

a) Modèle de Sommerfeld ……34
b) Conditions de Gümbel…….....35
c) Conditions aux limites de Reynolds ……36

I .6.3.les caractéristiques géométriques d'un palier lisse…….....38

I .7.Conclusion…….....40

Chapitre III : Présentation des outils de simulation :

III .1 .Introduction…….....42

III.2.Présentation d'ANSYS…….42

III.3.Principaux produits ……..42

III.3.1.ANSYS Structural …….....42

III. 3. 2ANSYS Mechanical …….....42

III. 3. 3 ANSYS CFX et Fluent…….42

III. 3. 4 ANSYS AUTODYN et ANSYS LS-DYNA ……..43

III. 3. 5 ANSYS Multiphysies …….....43

III.4.Environnement logiciel ……...43

III.4.1.ANSYS classique …….....43

III.4.2.ANSYS Workbench …….....44

III. 5. Présentation du logiciel CFX 15.0…….44

III. 5. 1 Menu principal du logiciel ANSYS Workbench ……..45

III. 5. 2 Module de création géométrique ……48

III.5.3Maillage……..48

III.5.4. configuration……49

- CFX-pre……...50

III.5.5. solution…….61

III.5.6.résultats …….63

- CFX- post…….63

Chapitre IV : Résultat et Discussion :

IV.Introduction ……..65

IV.1.Application ……...65

IV.1.1.Palier court L/D= 0.5…….65

a) Discussion des résultats……65

IV.1.2Palier longueur finie L/D = 1 ……..65

b) Discussion des résultats……67

IV.1.3.Palier long L/D = 1.5 ……..67

c) Discussion des résultats ……...69

IV.3.Conclusion ……...71

Conclusion générale ……73

I. Introduction générale :

Les machines tournantes modernes telles que les turbines et les compresseurs sont exposés à des problèmes vibratoires aigus essentiellement dus à la réduction des masses et l'élévation des vitesses de fonctionnement des rotors.

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

Les paliers lisses sont fréquemment utilisés, les plus simples sont constitués d'un arbre qui tourne à l'intérieur d'un coussinet complet.
Ces deux éléments sont totalement séparés par un film lubrifiant.

L'objectif de ce travail est l'étude du champ de pression hydrodynamique par l 'utilisation de logiciel du calcul ANSYS CFX.

notre mémoire est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre parle de l'étude bibliographique, l'évolution de la tribologie et les types de paliers et lubrification.

Dans le deuxième chapitre on présenté le ou les problèmes, explique comment le travail de lubrification leur équation ainsi les équations de Reynolds et Navier stokes et les caractéristiques géométriques d'un palier lisse.

La troisième chapitre donne une présentation du logiciel qui nous utilisé dans ce travail connu par le nom ANSYS CFX et aussi un petit exemple pour explique la méthode de travail

Dans le quatrième chapitre, nous présentons un groupe des exemples d'utilisation logiciel ANSYS pour trouver les résultats et ainsi faire une comparaison entre les trois paliers avec changement de la longueur des paliers.

I.1. Introduction :

La tribologie (du grec ancientρίβος, « frottement » et λόγος, « science, étude ») est la science qui étudie les phénomènes susceptibles de se produire entre deux systèmes matériels en contact, immobiles ou animés de mouvements relatifs. Ce terme recouvre tous les domaines du frottement, de l'usure, de l'étude des interfaces et de la lubrification.

C'est une branche du génie mécanique et de la science des matériaux qui a des applications concrètes en archéologie, dermatologie, cosmétique, dans l'industrie, les transports et la biomécanique.

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. L'histoire de tribologie :

Il y a 500 000 à 600 000 ans, l'homme utilisait déjà les premiers outils comme le levier, la hache de pierre ou autres. C'est beaucoup plus tard, il y a environ 5 000 à 6 000 ans, que les premières machines rudimentaires sont nées avec l'invention du foret à archet ou du tour de potier. Mais ce n'est pas seulement depuis ces temps-là que les hommes sont confrontés aux phénomènes de la friction et de l'usure. [2]

La recherche de lubrifiants efficaces par l'homme est variée et elle date de la même époque que la transmission de l'histoire par l'homme. Les Chinois se servaient déjà de l'effet lubrifiant de l'eau en 3500 av. J.-C., les Égyptiens utilisaient des graisses animales ou de l'huile d'olive mélangée avec de la farine de calcaire en 1400 av. J.-C. pour leurs chars ; en

Tribologie -3500 à 30 av j-c, le temps des sumérienes et des éygptiens

780 av. J.-C., les Chinois découvrirent les propriétés d'un mélange d'huiles végétales et de plomb qui diminuait le frottement. Et il y a plus de 100 ans, l'aptitude de l'air en tant que lubrifiant fut signalée pour la première fois.

Nécessité est mère d'invention : c'est ce qu'ont déjà dû ressentir les hommes du néolithique (4000–1800 av. J.-C.). On peut tout à fait supposer que les Sumériens et les Égyptiens

utilisaient des « lubrifiants » (bitume, huiles animales et végétales, eau) pour diminuer le frottement.

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.

Le palier à roulement doit son nom et son origine aux « corps de roulement » comme le bois rond que les Égyptiens utilisaient pendant la période des Pharaons. Quelques reliefs égyptiens montrent le transport d'énormes blocs de pierre destinés à la construction de monuments, qu'on faisait glisser sur des troncs d'arbre au lieu de rouleaux. [2]

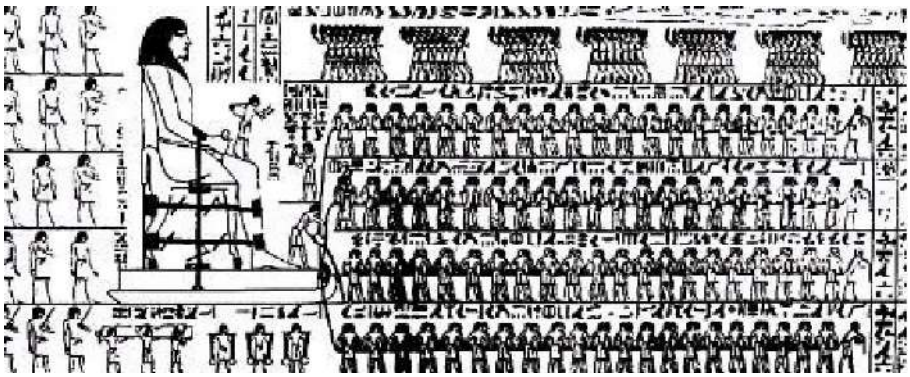


Figure. I. 1 : Le transport d'une statue égyptienne à la tombe de Tehuti-Hetep, El-Bersheh Egypte 1880 avant J-C. [1]

Lubrifiés en 1880 av. J.-C. :

On reconnaît clairement un homme sur l'image qui verse du lubrifiant devant les surfaces de glissement. Le sous-titre indique que le lubrifiant était de l'eau tandis qu'une inscription jointe au tableau fait référence à de l'huile d'olive en tant que lubrifiant. [1]

Tribologie 2000-av J-C :

Tout marche 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. [3]

Tribologie 650 av J-C :

- Les documents les plus anciens sur l'utilisation de roues pour diminuer le frottement. [1]

Tribologie 1452-1519 léonard de Vinci :

« 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 de paliers de glissement. Il en résulta la première et la deuxième loi du frottement 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.

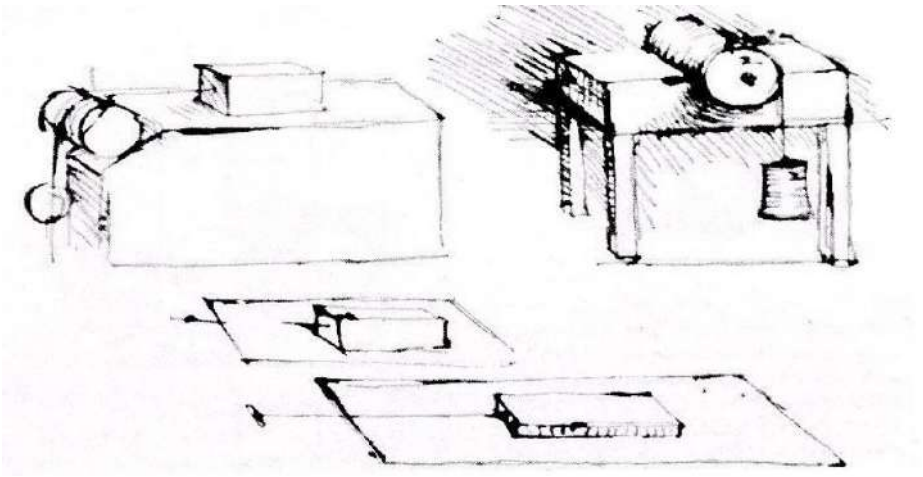


Figure. I. 2: Dessins du domaine de la tribologie illustrant les expériences de Leonardo da Vinci sur le frottement. [1]

Tribologie 15 ème jusqu'au 16 éme 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.

Tribologie 1663-1705 :

Guillaume 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 du 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 et 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. [4]

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.

Tribologie 1683-1744John Theophilius Desaguliers :

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.[2]

Tribologie 1687 sir lsaac newton :

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.[1]

Tribologie-1707-1783 loehnordeuler :

Euler 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 »). [2]

Tribologie 1736-1806 charles augustin coulomb :

Coulomb 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. [3]

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.

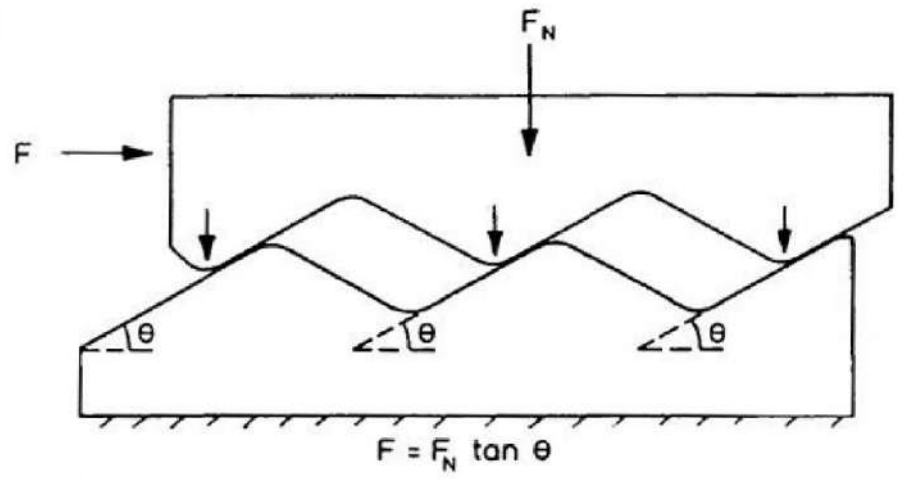


Figure. I. 3: Le modèle de la rugosité du frottement de Coulomb. La force normale FN est distribuée sur les élévations du même angle d'inclinaison. [4]

Tribologie 1794 philipvaughan :

Premier brevet connu d'un roulement rigide à billes par Philip Vaughan, Angleterre. [4]

Philip Vaughan (1824 à Kidwelly) né à Carmarthen était fondeur. Vers 1791, il inventa le roulement à billes et il le breveta en 1794.

Tribologie 18 èmesciele :

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.

Tribologie 1750-1850 :

On dut attendre jusqu'à 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. [3]

Tribologie -1802 M cardinet :

Roulement à rouleaux coniques breveté par M. Cardinet, France
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. [2]

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.

Tribologie 1859 E L .Drake :

Le premier forage de pétrole à Titusville.

Tribologie -19èmesiécle :

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. [1]

Tribologie-1850-bis 1925

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. [2]

Tribologie à partir à 1925 :

La véritable époque de la tribologie débute après la Première Guerre mondiale. Contraintes, vitesse et températures élevées furent les signes d'une charge croissante du couple de frottement. La limite des anciennes propriétés physiques des lubrifiants dut être adaptée à des conditions plus sévères. [3]

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.

Tribologie 1966 :

Le terme tribologie fut mentionné pour la première fois en 1966 dans le contexte du rapport Jost, 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. [3]

Tribologie aujourd'hui :

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 à de 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. Introduction sur les palies :

I.3.1. Définition des paliers :

Les paliers sont des organes de machines utilisés pour le guidage d'arbres en rotation.
Ils existent deux grandes familles de paliers : les paliers lisses et les paliers à roulements. Dans les premiers, l'arbre prend appui sur un coussinet et il est séparé de celui-ci par un film lubrifiant ; dans les seconds, des corps roulants (bille ou rouleaux) séparent la bague en rotation de l'alésage extérieur.

Selon la direction de la charge par rapport à l'arbre en rotation, on distingue les deux paliers porteurs pour lesquels la charge est radiale, généralement appelés paliers, des paliers de butée ou butée pour lesquels la charge est axiale.

- les paliers à charges radiales sont généralement constitués par deux éléments de 180° d'arc, appelés plus communément demi coussinets et un élément de 360° d'arc, appelé bague.
- les paliers à charges axiales sont généralement constitués de demi-flasques ou de rondelles complètes.

I.3.2 . les paliers lisses cylindriques :

Les paliers lisses sont fréquemment utilisés ; les plus simples sont constitués d'un arbre en acier tournant dans un alésage (coussinet) en bronze ou en acier en présence de lubrifiant, Figure. I. 4 sur certains mécanismes, ils correspondent à
la meilleure solution technologique existant actuellement .On les rencontre dans les moteurs thermiques, les compresseurs… etc. [1]

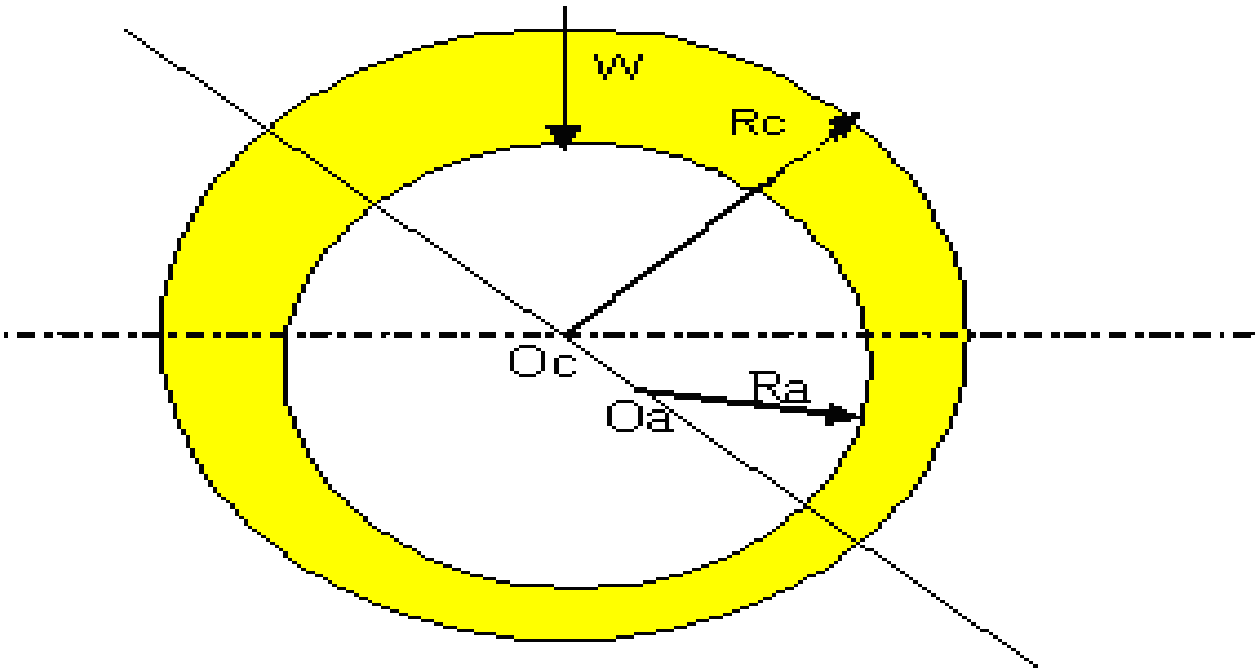


Figure. I. 4 : palier lisse cylindrique. [1]

Un palier lisse peut être schématisé par deux cercles de rayons voisins et caractérisé par trois grandeurs :

- le jeu radial C = RC- Ra
-le jeu relatif R/C
-le rapport de la longueur au diamètre du palier L / D.

1. 3.3. Paliers hydrodynamiques :

Les paliers hydrodynamiques sont des organes de machines dans lesquels un film mince de fluide sépare les surfaces en mouvement relatif.

Le comportement, la durée de vie et la tenue des paliers hydrodynamiques dépendent de nombreux paramètres, parmi lesquels les paramètres géométriques (dimension et forme du palier), cinématique et dynamique (vitesse de rotation et charge appliquée), les caractéristiques du lubrifiant (essentiellement sa viscosité et dans certains cas sa masse volumique) et la nature des matériaux formant les paliers. [4]

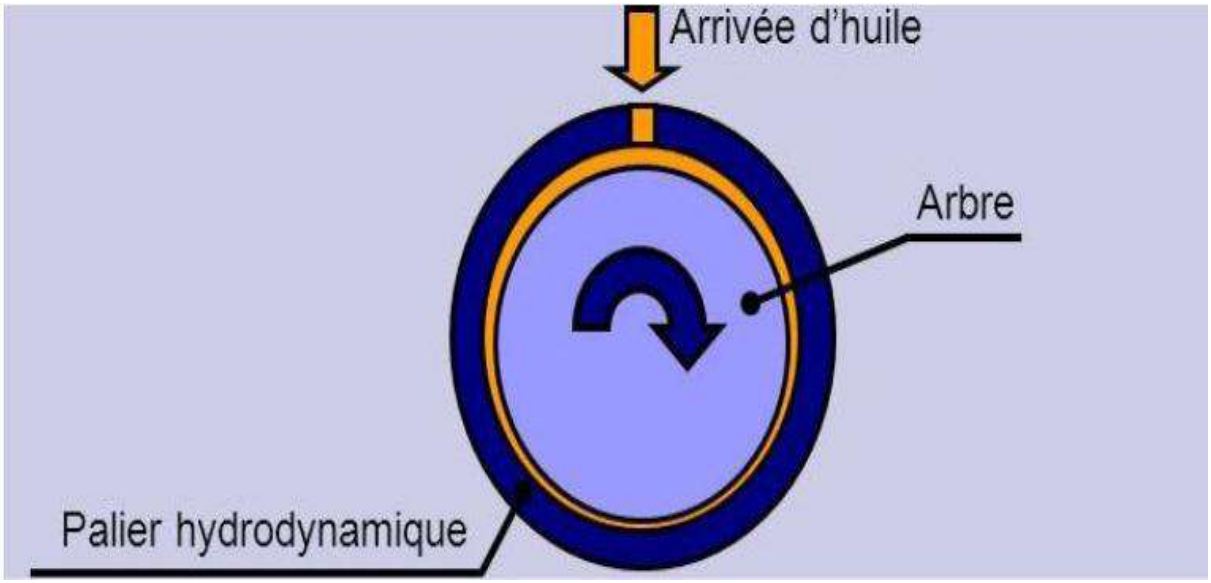


Figure. I. 5 : Schémareprésent un palier hydrodynamique. [4]

I.3.4.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 technologie existant actuellement. Il y'a trois types des coussinets circulaires présentes (sur la figure .I.6). [3]



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

Figure.I.6 : palier circulaire. [3]

2. palier à arc partiel :

Les palies 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 vérifie expérimentalement que l'existence d'une discontinuité dans la géométrie à la surface du coussinet pouvait améliorer la stabilité du palier. [3]

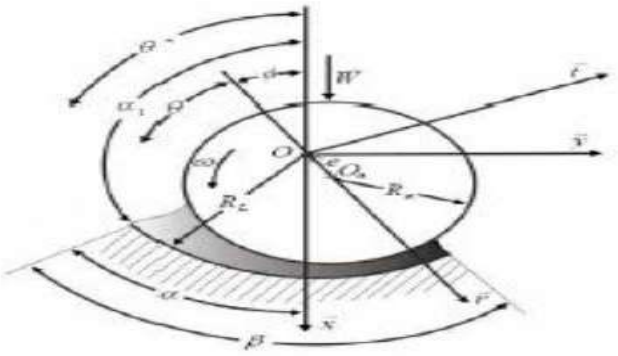


Figure. I. 7 : Palier à l'arc partiel. [3]

3. forme elliptique (citron) :

Ils sont des paliers constitues par deux demi-coquilles en acier forgé se raccordant suivant un plan horizontal, la partie extérieurs peut comporter soit une portée sphérique, soit des cales qui permettent le réglage radial. [4]

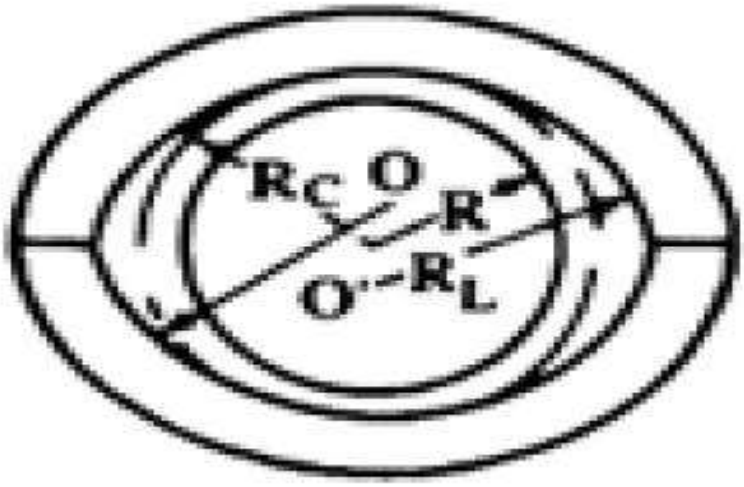


Figure. I. 8 : Palier elliptique. [4]

4. A patins oscillants :

Un palier a patins oscillants est composé a "n" patins, identique ou non, individuellement articules autour de pivots, situés généralement sur un cercle appelé « cercle des pivots ». [3]



Figure. I. 9 : Photographie d'un palier à 3 patins. [3]

5. A lobe :

C'est un palier multilobés dont les centres de courbure des lobes sont situes sur le centre géométrique du palier, le palier est dit pré-chargé géométriquement. [3]

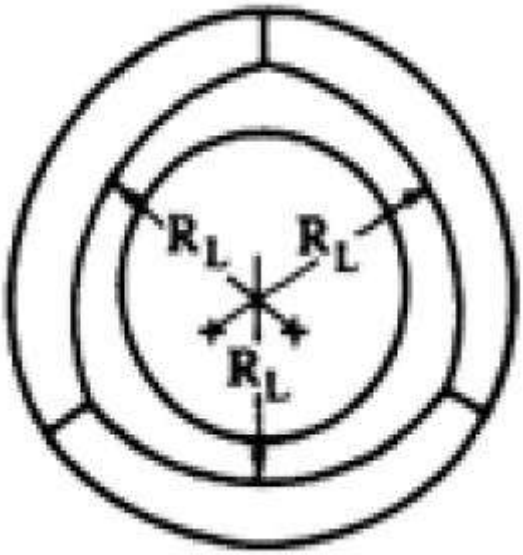


Figure. I. 10: Palier à trois lobes.

b) Selon les types de lubrification :

1) **Palier à régime sec :** c'est un palier à contacte direct, pas de film d'huile entre coussinet et pièce. [4]

2) **Palier à régime onctueux :**

Présence d'un mince film d'huile entre coussinet et pièces. [3]

3) **Palier à régime hydrostatique :**

Présence d'un épais film d'huile entre coussinet et pièces, ce film est crée artificiellement dans un palier par injection sous pression du lubrifiant. [4]

4) **Palier à gaz :**

Il à même principe que les paliers hydrostatique mais le lubrifiant utilise est un gaz, généralement de l'air. [3]

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 du au phénomène de partance. Une vitesse minimale est à atteindre pour que ce phénomène apparaisse. [4]

6) Palier magnétique :

C'est un rotor ferromagnétique flottant dans un champ magnétique crée par des électro-aimants .ces palier suppriment tout contact rotor durant le fonctionnement du système .la figure ce dessous reprénent les défirent régime :

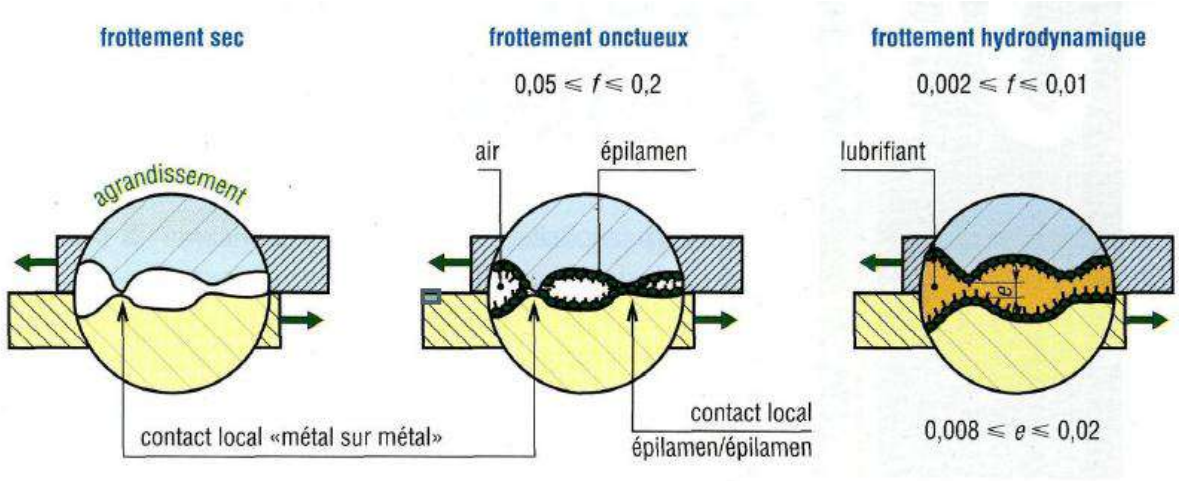


Figure. I. 11 : Les déférents types des régimes. [3]

c) Selon le diamètre :

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

1. Palier court :

Un palier est dit court lorsque le rapport (L/D) de la longueur au diamètre du palier est faible, de L/D ≤0.5. Dans ces types de palier, on pose l'hypothèse d'un gradient de pression circonférentiel négligeable, ce qui simplifie, considérablement les calculs. [3]

2. Palier infiniment long :

Lorsque la 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 palier tels que L/D ≥1.5. Dons ce type des paliers, on pose l'hypothèse d'un gradient de pression axial négligeable devant le gradient de pression circonférentiel. [3]

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 fini. 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

résultants obtenus par ce type de palier sont plus réels que ceux des deux types précédents, car dans type de palier on ne tient pas compte des hypothèses simplificatrices précédentes. [4]

I.3.5. Les avantages et les inconvénients des paliers lisses :

A. Les avantages sont :

- Insensible aux chocs et 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 fractionnent.

B. Les inconvénients sont :

- Grand moment résistant au démarrage.
- Grand quantité d'huile nécessaire pour la lubrification.
- Surveillance permanente.
- Rendement moins élevé que celui des roulements

I.4. Lubrification :

I.4.1. Définition :

La lubrification ou le graissage est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement, l'usure entre deux éléments en contact et en mouvement l'un par rapport à l'autre. Elle permet souvent d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ce frottement, ainsi que d'éviter la corrosion… Dans ces situations, les écoulements fluides sont parallèles aux surfaces, ce qui simplifie leur description et leur calcul (théorie de la lubrification). [7]

On parle de lubrification dans le cas où le lubrifiant (mécanique) est liquide et de graissage dans le cas où il est compact.

 En mécanique, on lubrifie les pièces de métal ou de céramique avec un corps gras, comme de l'huile ou de la graisse. Les lubrifiants sont des produits liquides, pâteux ou solides d'origine minérale (hydrocarbures pour l'essentiel), animale, végétale ou synthétique.

I .4.2.Les types de lubrification :

A-La lubrification limite :

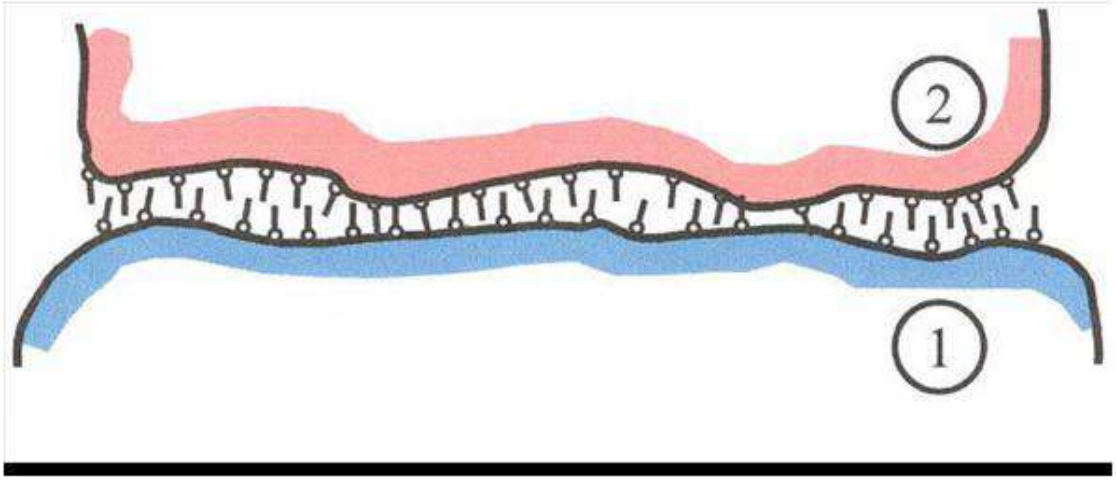


Figure. I. 13 : lubrification limite.[6]

Coefficient de frottement : (0,02<F<0,2) et est en relation les surfaces mobiles à faible vitesse par le film d'huile visqueuse constante ne peut pas la formation en raison de la pression de contact excessive. Dons les voitures, ce système est prépondérants au cours des mécanique de démarrage ou arrêt au cours de l'étape procédé transitoire tel que, par exemple, des segments de piston et les connexions de cylindre point mort. [8]

B. La lubrification mixte :

Lorsque le film lubrifiant absorbé n'est pas assez épaisse pour des surfaces séparées, il est appliqué à la totalité du pétrole brut.

Il est nécessaire de surmonter la force de transverse déterminée par la valeur de l'adhérence coefficient FO, qui dépend très petite quantité d'huiles lubrifiantes disponibles.

Dont la valeur dépend du matériau et de l'état du film est intensifié, l'augmentation du coefficient d'adhérence. [8]

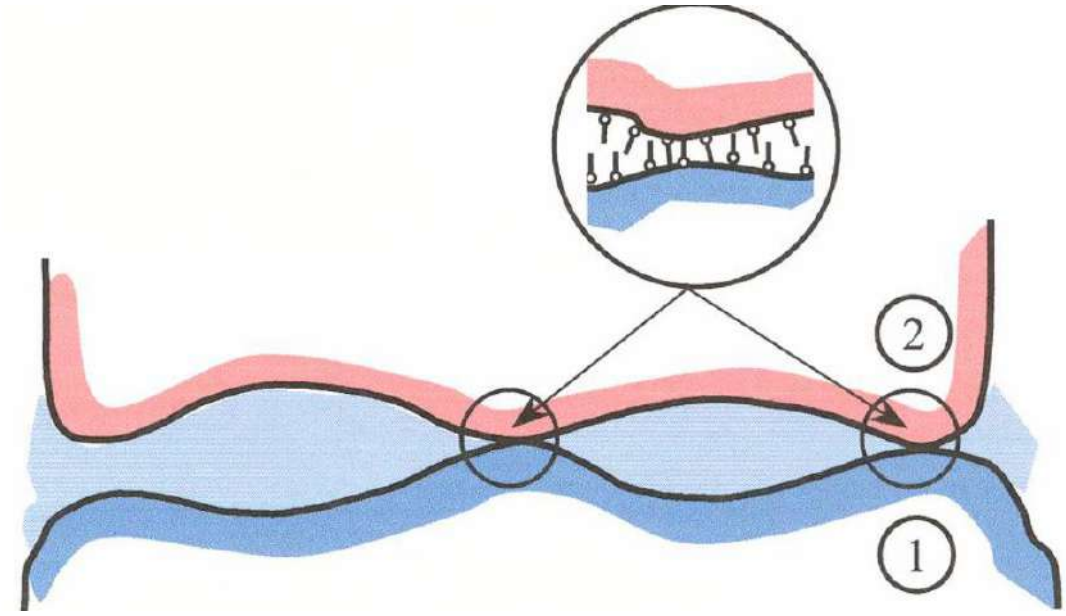


Figure.I.14: Lubrification mixte.[6].

C.La 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 quand il est bien établi système hydrodynamique, et de modification de la racine Z. coefficient de frottement et donc, peut atteindre des valeurs très élevées, et peut-être beaucoup plus grand que le coefficient d'adhérence. [9]

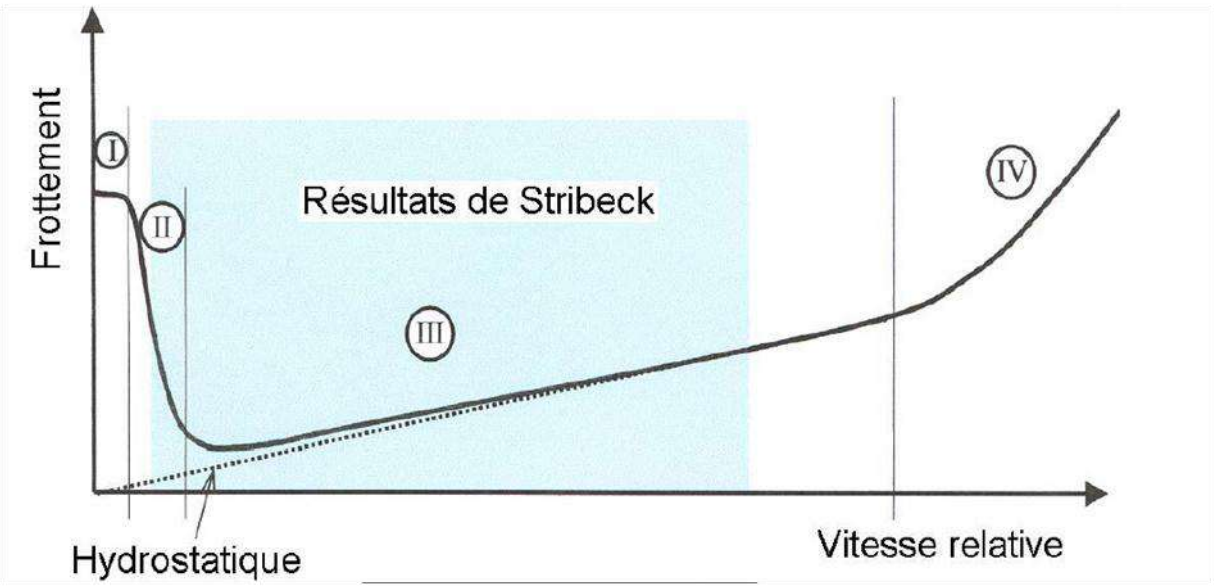


Figure. I. 12 : courbe de stribeck [9].

D.La lubrification élastohydrodynamique :

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 la meme 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. [9]

I.4.3. Différents types de lubrifiants :

On peut distinguer les lubrifiants selon leur origine : animale, végétale, minérale ou synthétique, ou selon leur présentation, liquide, pâte ou solide.

a) Lubrifiants d'origine animale :

- Ils sont constitués essentiellement d'esters résultant de la combinaison d'acides gras avec la glycérine. Ce sont souvent des « ancêtres » mais certains entrent encore dans diverses compositions. [6]

b) Lubrifiants d'origine végétale :

- Ce sont en général des combinaisons d'acides gras peu ou pas estérifiés. Certains sont encore largement utilisés en addition dans les huiles de pétrole ou dans les graisses.

Lubrifiants d'origine minérale : (Les huiles de base)

Les huiles minérales proviennent de la distillation du pétrole brut. D'un prix peu élevé, elles présentent des performances « moyennes ».

- Le procédé d'obtention de ces huiles n'est pas parfait : les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des

produits indésirables restent également dans cette huile de base (paraffines, solvants légers…).

- Les huiles minérales sont, et de très loin, les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles. [6]

I.4.4. Les huiles de synthèse ou synthétiques :

- Dans le cas de l'huile synthétique, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature.

- On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu. Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles.

- Ces huiles elles offrent des performances supérieures :

1. indice de viscosité plus élevé.
2. meilleure tenue thermique.
3. meilleure résistance à l'oxydation. [6]

I.5.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes du développement de la tribologie et la lubrification des paliers. Ainsi que classements des paliers lisses.

II.1.Introduction :

Pour étudier le champ de pression hydrodynamique :

Premièrement, nous devons bien connaitre les équations de base qui régit le problème de lubrification.

Dans ce chapitre, on a représenté les caractéristique géométrique 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, conditions de gumble, conditions de Sommerfeld, l'équation de Reynolds, l'équation de Navier stokes).

II.2. Fluide Newtonien :

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

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

- La viscosité est indépendante de la vitesse de cisaillement.

- La viscosité est indépendante du temps et les contraintes s'annulent immédiatement lorsque l'écoulement est arrêté. [10]

II.3.Fluide non-newtonien :

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 àmesure

que l'on augmente le taux de cisaillement (gradient de vitesse) auquel est soumis le fluide. C'est le comportement rhé fluidifiant. [10]

II.4.Hypothèses simplificatrice :

L'équation généralisée de la mécanique des films minces visqueux s'obtient en considérant que

• Le milieu est continu - l'équation de Reynolds ne s'applique pas dans les zones où il a rupture du film.

• Le fluide est Newtonien

• L'écoulement est laminaire

En régime non laminaire il faudra utiliser une autre modélisation.

• Les forces massiques extérieures sont négligeables,

• Les forces d'inertie sont négligeables,

• Il n'y a pas de glissement entre le fluide et les parois du contact. La vitesse du fluide à la paroi est égale à celle de la paroi.

• L'une des surfaces du contact est parfaitement plane et ne présente pas de rugosité, ce qui permet de placer l'origine des axes sur cette surface.

Ainsi, la courbure générale du contact est négligée.

• L'épaisseur du film mesurée dans la direction 2xor est toujours très faible devant les autres dimensions du contact.

C'est l'hypothèse de base de la lubrification.

• La viscosité et la masse volumique du fluide ne varient pas à travers l'épaisseur du film.

L'équation de Reynolds est déduite des équations de la mécanique des milieux continus, appliquées à un fluide newtonien.

II.5 . Les équations de Navier Stokes :

II.5.1. Détermination des équations de Navier Stokes :

$$\rho\left(\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_j\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\lambda\frac{\partial^2}{\partial x_i}\frac{u_j}{\partial x_j}+\mu\left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2}+\frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_j}\right)+\frac{\partial u_j}{\partial x_j}\frac{\partial \lambda}{\partial x_i}+$$

$$\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial \mu}{\partial x_j}\text{.....(III.1)}$$

Dans ces relations, (i) correspond à la direction considérée et (j) joue le rôle d'indice mue. [11]

II.5.2.Les équations de Navier Stokes sans dimension :

En lubrification, la dimension suivant l'épaisseur du film est très faible par rapport aux deux autres, ce qui permet, pour déterminer l'ordre de grandeur des différents termes de l'équation de Navier, d'écrire :

$$\bar{x}_3=\frac{x_1}{L} \qquad \bar{x}_1=\frac{x_2}{H} \qquad \bar{x}_3=\frac{x_3}{L} \qquad \bar{t}=\frac{tV}{L}$$

$$\bar{u}_1=\frac{u_1}{V} \qquad \bar{u}_2=\frac{u_2 L}{VH} \qquad \bar{u}_3=\frac{u_3}{V}$$

$$\bar{\mu}=\frac{\mu}{\mu_0}e \qquad \bar{\lambda}=\frac{\lambda}{\lambda_0}$$

L/V est de l'ordre de grandeur du temps,

μ_0 Et λ_0 sont deux coefficients de même ordre de grandeur.

Ce changement de variable conduit à poser $\bar{p}=p\frac{H^2}{u_0 VL}$

Il met en évidence les 3 nombres sans dimensions suivants

$\Re=\frac{\rho_0 VH}{\mu_0}$ Nombre de Reynolds relatif à l'épaisseur de l'écoulement.

$\grave{\varepsilon}=\frac{H}{L}$Paramètre d'échelle, qui en lubrification est de l'ordre de 10^{-3}

$\frac{\lambda_0}{\mu_0}$Le rapport des coefficients de viscosité, généralement de l'ordre de

$$\left\{\begin{array}{c}\frac{\partial p}{\partial x_1}=\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\mu\frac{\partial u_1}{\partial x_2}\right)\ (i=1 \text{ et } 3)\\ \frac{\partial p}{\partial x_2}=0\end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ III .2}$$

Les équations de Navier Stokes aux variables dimensionnées :

$$\left\{\begin{array}{c}\frac{\partial p}{\partial x_1}=\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\mu\frac{\partial u_1}{\partial x_2}\right)\\ \frac{\partial p}{\partial x_2}=0\\ \frac{\partial p}{\partial x_3}=\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\mu\frac{\partial u_3}{\partial x_3}\right)\end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ III.3}$$

II.6. Equation de Reynolds :

O. Reynolds compte tenu de ces hypothèses, les équations de Navier-Stokes se réduisent et par intégration, supposant qu'il n'y a pas de glissement entre le fluide et les surfaces du contact, O.

Reynolds obtient le champ de vitesse dans le fluide. Ces expressions reportées dans l'équation de continuité, intégrée à travers l'épaisseur du film donnent :

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

Cette équation est connue depuis sous le nom d'équation de Reynolds, c'est l'équation de base de la lubrification hydrodynamique. Il a proposé une solution dans le cas du palier infiniment long en utilisant des développements en série. Cependant, l'intégration est très laborieuse et la solution n'est acceptable que dans le cas des paliers très peu chargés. [12]

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

II.6.1. Conditions aux limites :

Pour calculer le champ de pression, il faut résoudre l'équation de Reynolds sur le domaine représenté, compte tenu des conditions aux limites sur la zone de pression. La zone est donnée selon les modèles de Reynolds. [10]

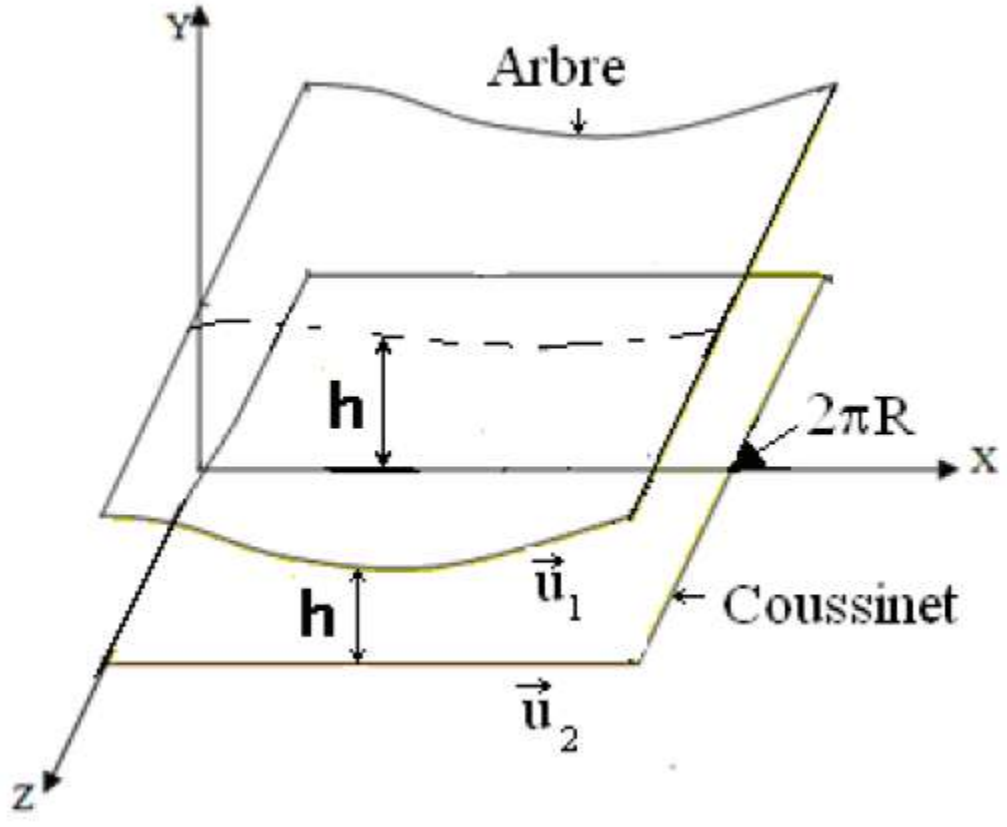


Figure. II.1 : palier lisse développé. [10]

II.6.2. les modèles de Reynolds :

a) Modèle de Sommerfeld :

Sommerfeld en 1904 a supposé que le film lubrifiant est continu et qu'il n'y a pas de rupture du film. Dans ces conditions la distribution de pression est antisymétrique par rapport au point et le lieu du centre de l'arbre dans le coussinet est une droite normale à la direction de charge (Figure II.2).

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

Négatives apparaissent dans le film, ce qui est physiquement inacceptable pour le modèle de Sommerfeld. [13]

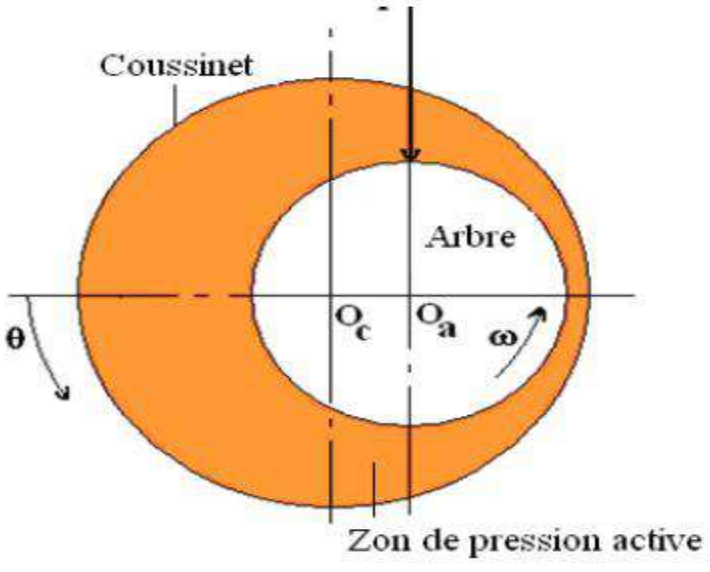


Figure. II.2 : Conditions aux limites de Sommerfeld. [13]

b) .Conditions de Gümbel :

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

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

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

Si $P(\theta, Z) = 0$ si $\pi < \theta < 2\pi$

Cela revient à négliger, dans la solution de Sommerfeld les pressions négatives (Figure II.3) Ces conditions impliquent une discontinuité dans l'écoulement au point $\theta = \pi$, elles ne sont pas acceptables physiquement mais sont utilisées dans le cas de l'approximation du palier court. [13]

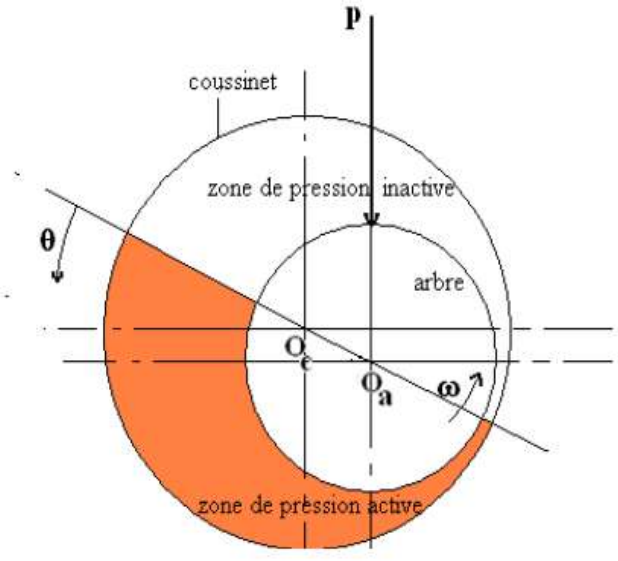


Figure. II.3 : Conditions aux limites de Gümbel. [13]

c) 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 (θ= 0, Z)=0

P (θ= θs,Z)=0

$$\frac{\partial p}{\partial \theta}(\theta = \theta_s, Z) = \frac{\partial p}{\partial z}(\theta = \theta_s, z)$$

$$= 0$$

Si $p(\theta, z) = 0$ 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 θs et une région inactive à pression nulle et dans laquelle un régime dynamique, peut apparaitre de la cavitation, pour θs<θ<2π Ces conditions sont celles qui donnent les solutions les plus exactes ; elles ont été vérifiées dans de nombreuses études. [13]

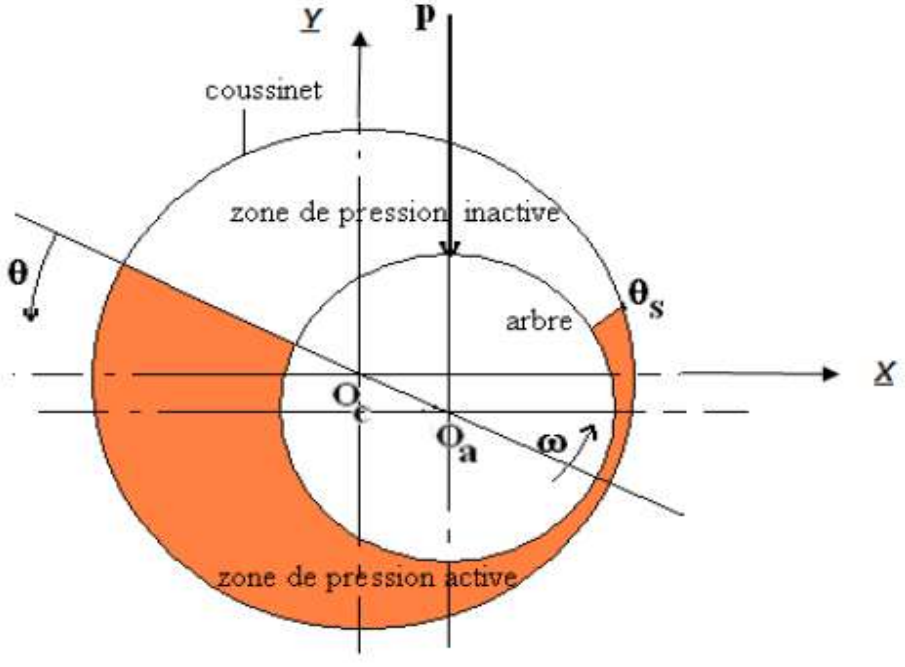


Figure. II .4 : Conditions aux limites de Reynolds.[13]

Comparant les trois conditions aux limites selon pression :

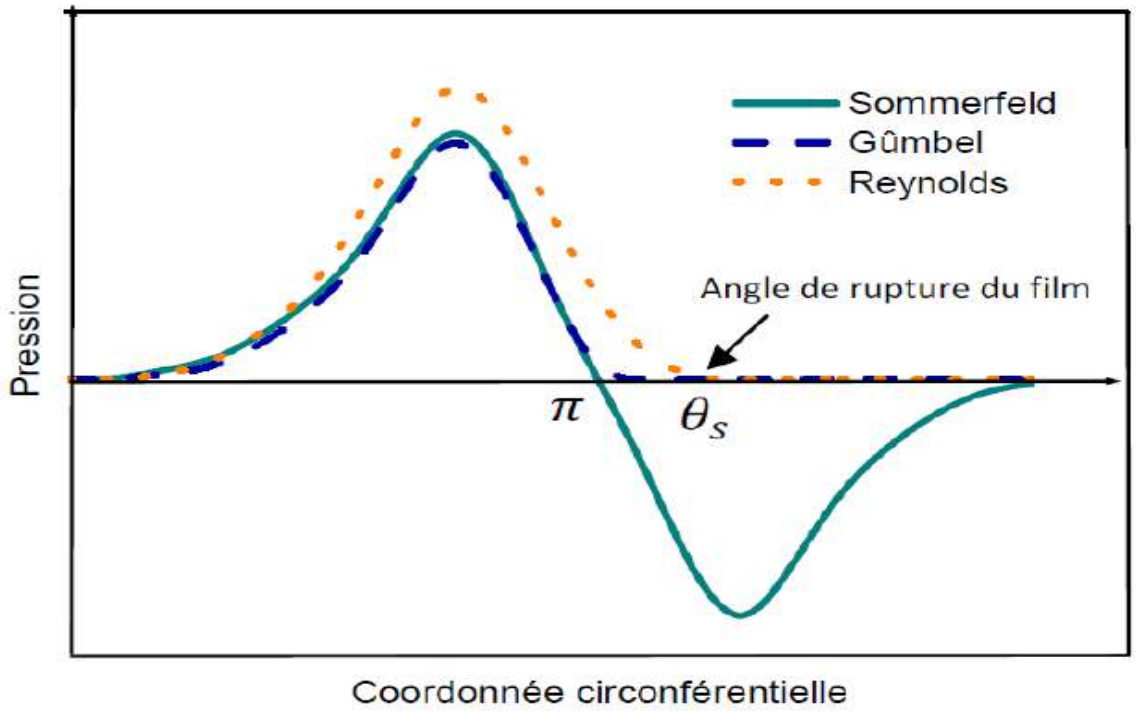


Figure. II.5: Conditions aux limites de rupture du film.[13]

II.6.3.les caractéristiques géométriques d'un palier lisse:

Un palier lisse hydrodynamique est constitué de trois éléments, l'arbre de rayon Ra et les cous sinet de rayon Rc et de longueur L et un film d'huile intercalant les deux

Cylindres, (la figure II.6) :

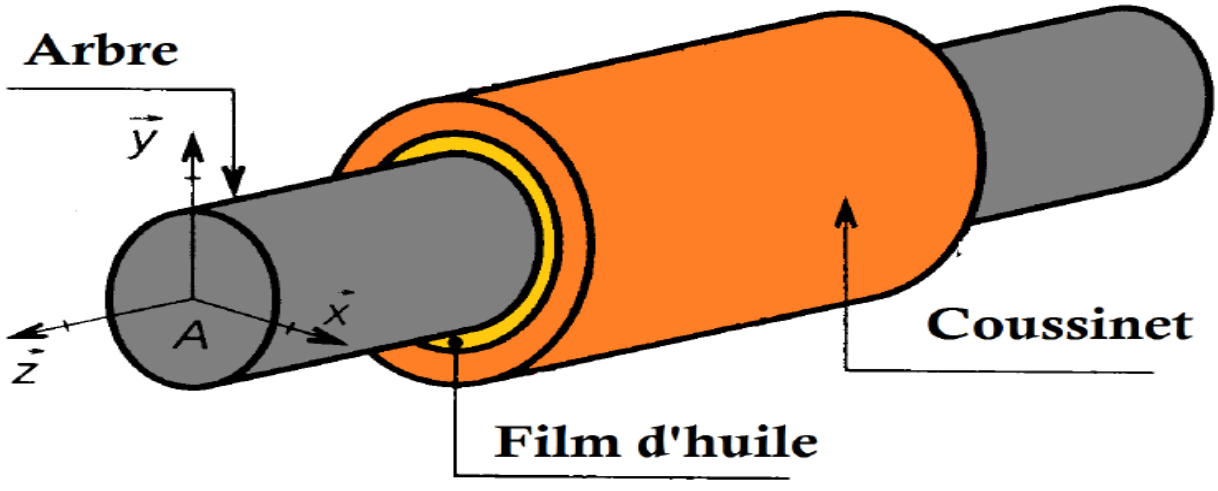


Figure. II.6 : Schéma d'un palier lisse hydrodynamique. [10]

Ainsi, un palier lisse peut être schématisé par deux cercles de rayons voisins et caractérisé par (Figure II.7): [10]

- Le jeu radial J= Rc - Ra.
- L'excentricité e constituant la distance O1O2 en fonctionnement normal.
- L'excentricité relative définie par :

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{e}{c}}$$

- C'est l'excentricité maximale donnée :

$$\boldsymbol{c = \frac{D - d}{2}}$$

- La hauteur minimale du film lubrifiant :

$$\boldsymbol{h_{min} = c - e = (1 - \varepsilon)}$$

- Le rapport (L/D) de la longueur au diamètre du palier.

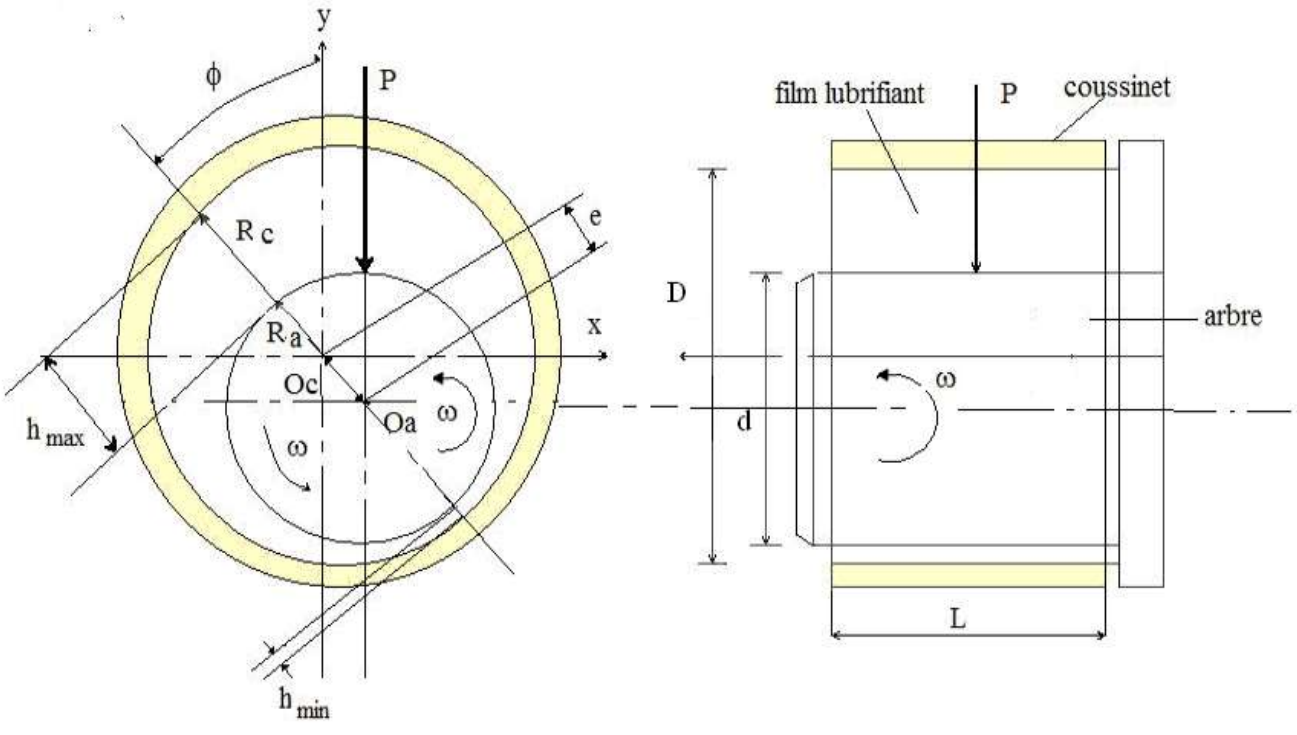


Figure. II.7: Géométrie d'un palier lisse circulaire. [14]

II.7.Conclusion :

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

D'autre méthode au logiciel peuvent être utilisée pour les déterminations du champ de pression.

III .1 .Introduction :

L'utilisation de l'étude numérique dans notre travaille, due on a l'importance utiliser l'étude économique, on peut obtenir des résultats rapide d'un problème technologique, par la simulation d'un cas réal.

III.2.Présentation d'ANSYS :

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

III.3.Principaux produits :

III.3.1.ANSYS Structural :

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

- L'analyse statique
- L'analyse modale
- L'analyse harmonique (réponse forcée)
- L'analyse temporelle

III. 3. 2ANSYS Mechanical :

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

III. 3. 3 ANSYS CFX et Fluent :

Ces deux logiciels permettent d'effectuer des simulations en matière de mécanique des fluides. Ils portent le nom des compagnies qui les ont développés par ANSYS. Inc. respectivement en février 2003 et en février 2006. Fluent est un solveur : il ne comporte pas de mailleur (le maillage doit être réalisé avec un logiciel de maillage, Gambit par exemples, qui est également édité par ANSYS).

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. Le paramétrage du modèle se fait par une interface dans le domaine. De la modélisation fluide. Le paramétrage du modèle se fait par une interface graphique. Il dispose modélisation fluide. Le paramétrage du modèle se fait par une interface graphique. Il dispose d'une interface de scripts pour automatiser les processus de calcul. L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généralise, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides : écoulement diphasiques (miscible, non miscible, cavitation, solidification), turbulence (LES, KE, KW, SA, Reynolds stress ….), combustion (pré-mélangé), transport de particules, écoulements en milieux poreux, maillages mobiles et spatiaux peuvent être modifiés pour améliorer la convergence. Fluent est parallélisé et permet de tirer parti de systèmes multiprocesseurs aussi bien au sein d'une seule machine qu'en réseau (cluster, édulcore, plateforme multi-CPU).

III. 3. 4 ANSYS AUTODYN et ANSYS LS-DYNA :

Ces logiciels possèdent des solveurs utilisant les formulations explicites des équations à résoudre, contrairement cités. Leur domaine d'application est réservé aux modélisations mettant en jeu des situations mécanique aux très larges déformations.

III. 3. 5 ANSYS Multiphysies :

Ce produit rassemble l'ensemble des capacités d'ANSYS en œuvre le code ANSYS :

III.4.Environnement logiciel :

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

III.4.1.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'opération basique. A partir de cet environnement, l'utilisateur construit directement un modèle fini en utilisant le langage de script APDL (ANSYS Paramétrique Design Langage). ANSYS classique est donc destiné à des utilisateurs compétents dans le domaine de la simulation numérique.

III.4.2.ANSYS Workbench :

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

III. 5. Présentation du logiciel CFX 15.0 :

CFX -15.0 est un logiciel général de simulation numérique d'écoulements en mécanique des fluides et transfert thermique.

Ce logiciel permet de mettre en œuvre une simulation numérique complète de la modélisation, de la création géométrique, et la visualisation des résultats, en passant par la création du maillage, configuration et le calcul.

Le logiciel CFX-15.0 est divisé en 5 modules : design modeler Mehring CFX –solve et CFX-post. Chaque module a une utilisation bien spécifique.

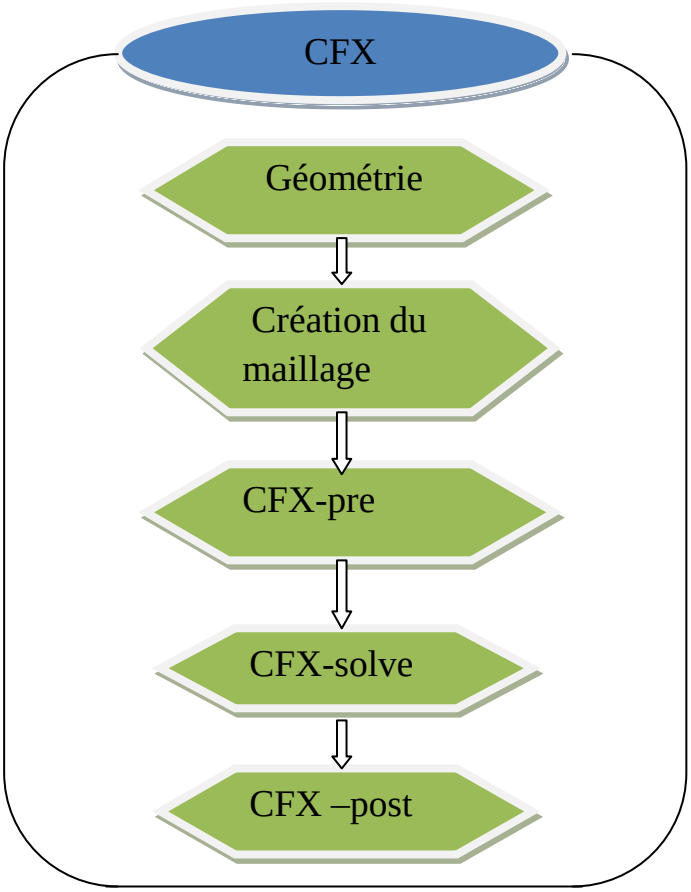


Figure III.1 : les modules principaux du CFX -15.0.

III. 5. 1 Menu principal du logiciel ANSYS Workbench :

L'ouverture du logiciel fait apparaitre le menu principal présenté ci-dessous :

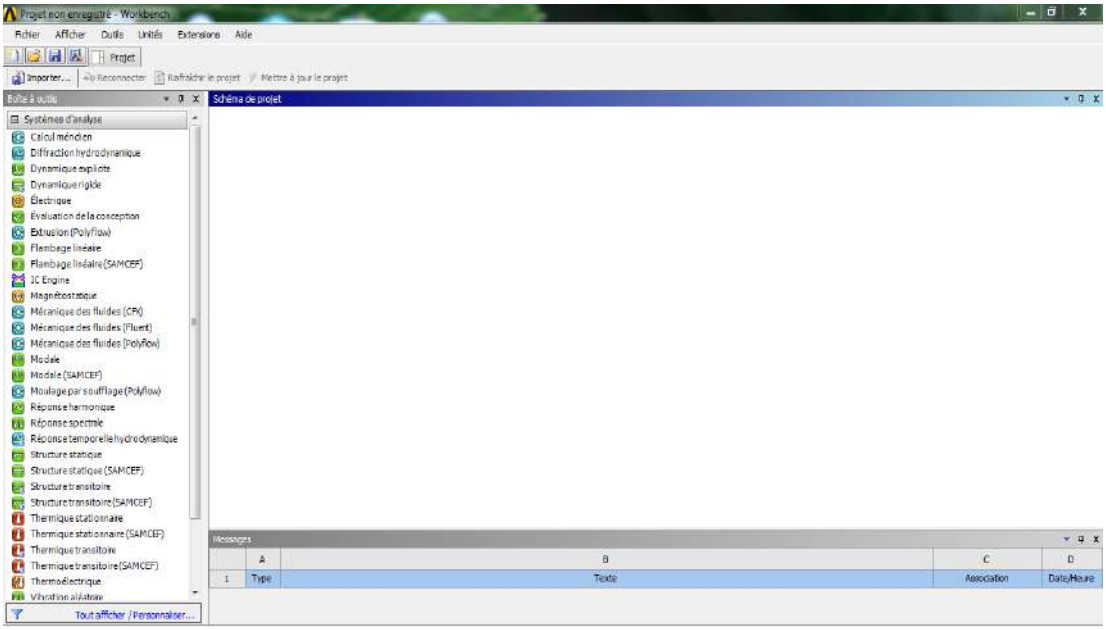


Figure. III.2: le menu principal de programme ANSYS.

La barre d'outils Toobox vous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse .Pour débuter une analyse statique, fluid flow (CFX) et glisser dans Project Schematic.

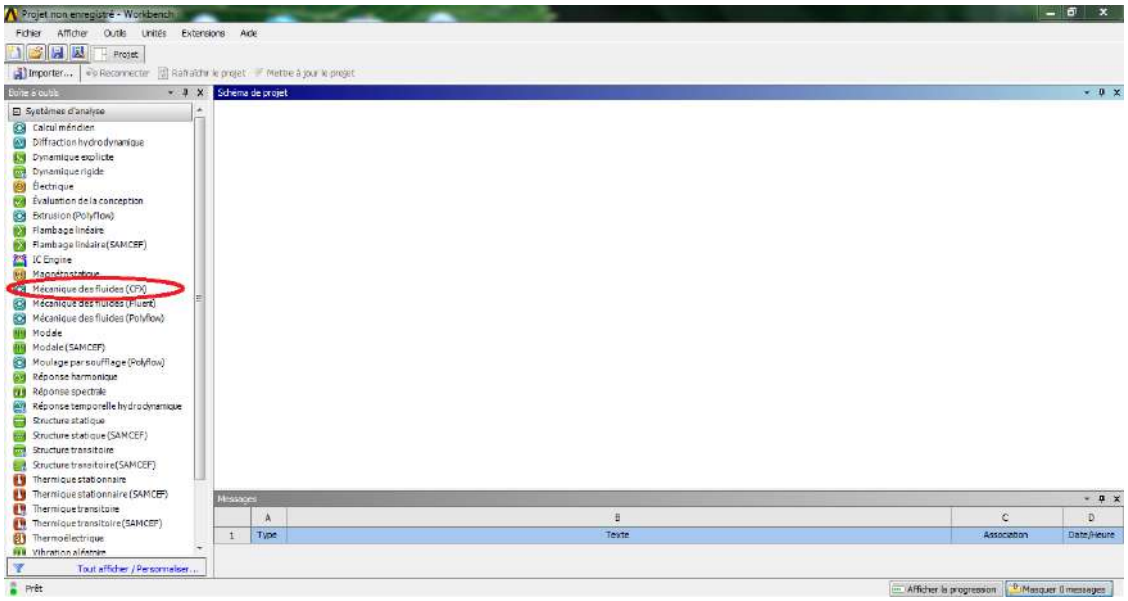


Figure. III.3 : ouvrir l'analyse mécanique des fluides (CFX).

III. 5. 2 Module de création géométrique :

Double clic sur Géométrie pour ouvrir le module de création géométrique.

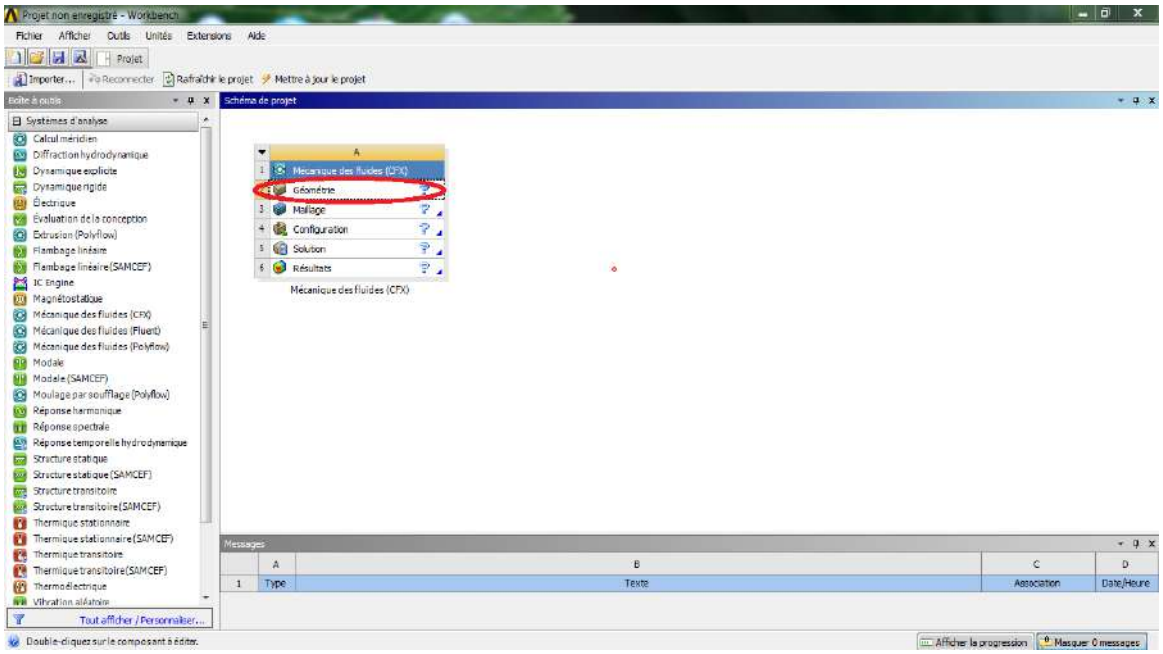


Figure. III.4 : choisir géométrie.

En cliquant sur et sélectionner importer le fichier de géométrie :

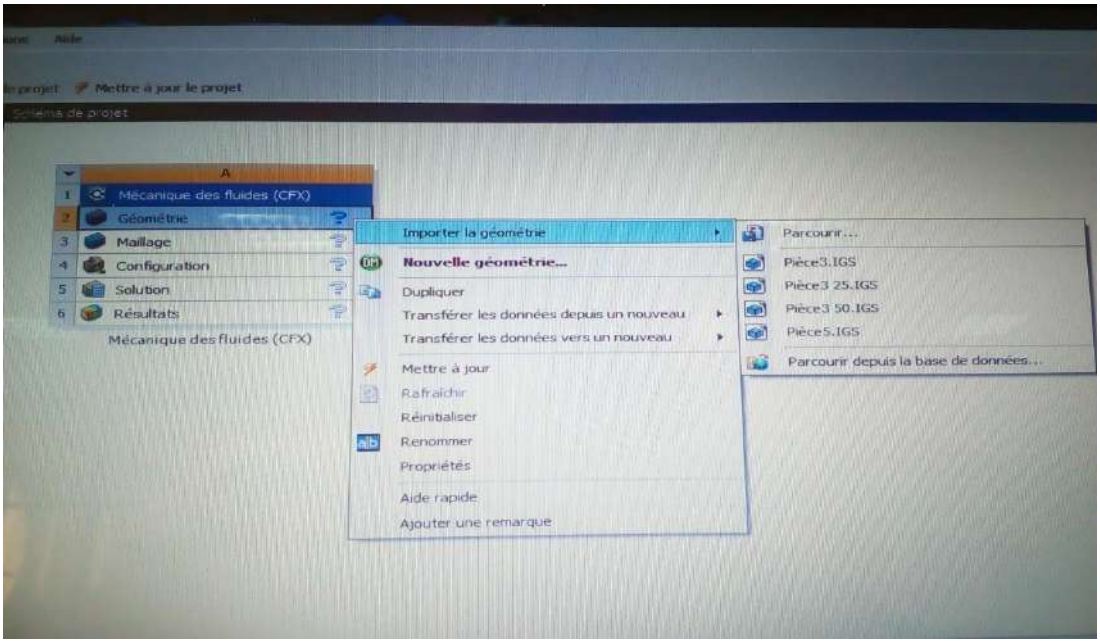
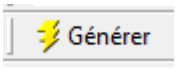


Figure. III.5 : importer la pièce.

On clique sur 

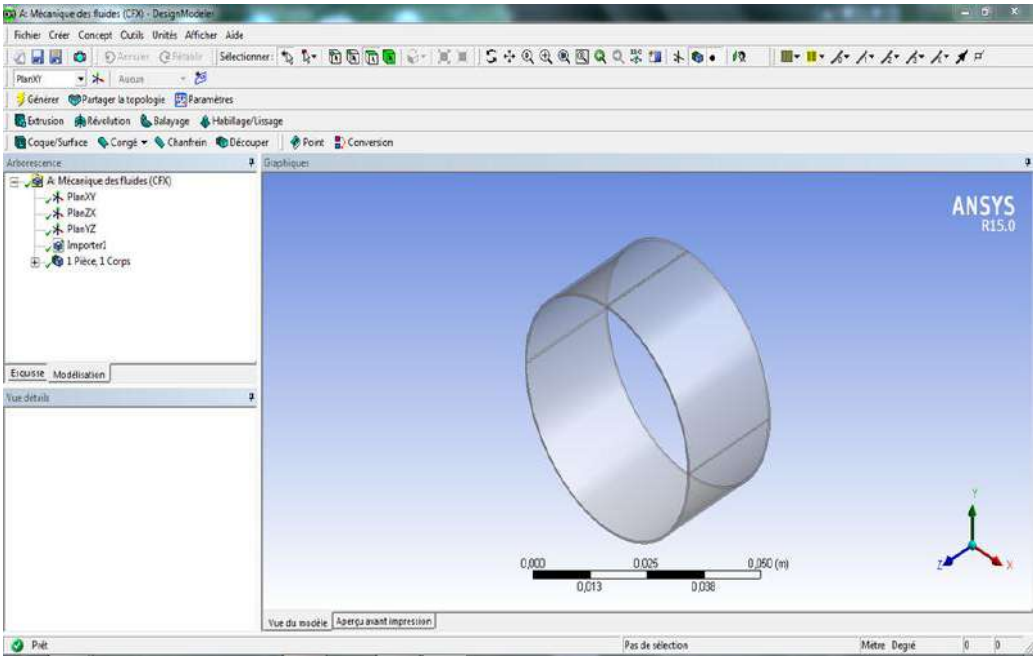


Figure III.6: interface graphique du module géométrie.

III.5.3Maillage :

Double clic sur maillage pour ouvrir le module de maillage.

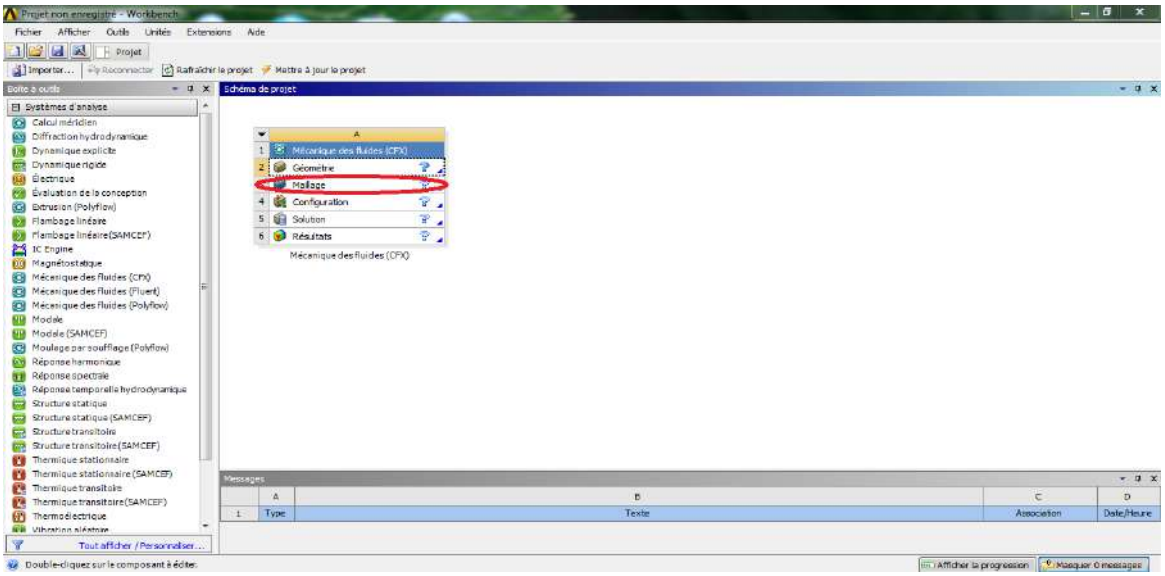


Figure. III.7 : choisir maillage.

Comme l'étape précédente est validée, cela ouvre directement le logiciel de maillage ANSYS Meshing et charge la géométrie.

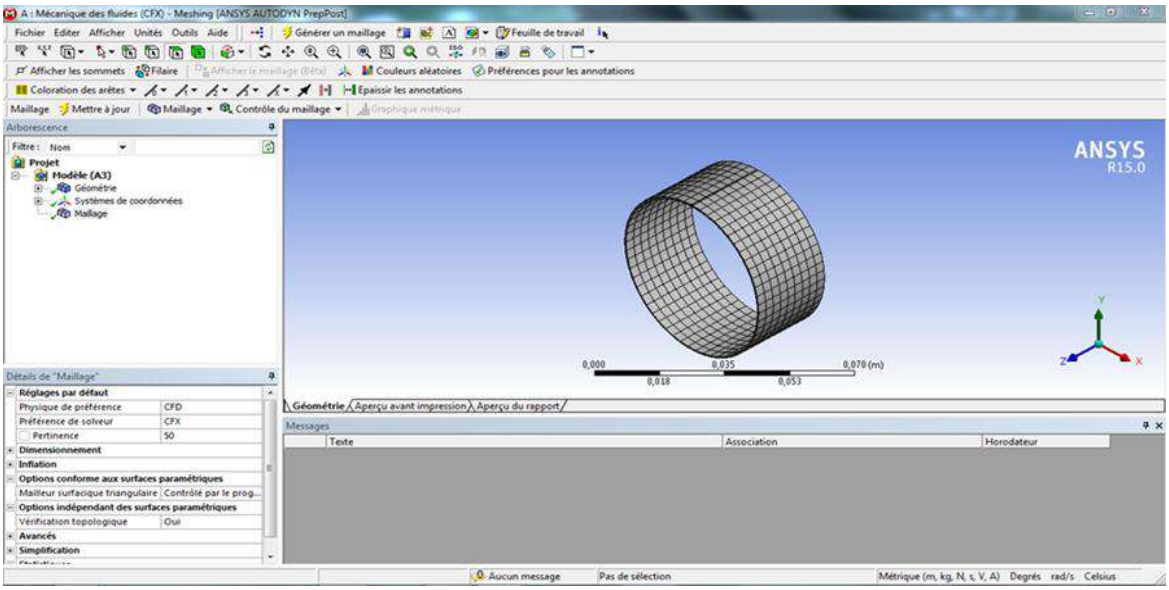


Figure III.8 : interface graphique du module meching.

III.5.4. configuration:

Double clic sur configuration pour ouvrir le module CFX-pre.

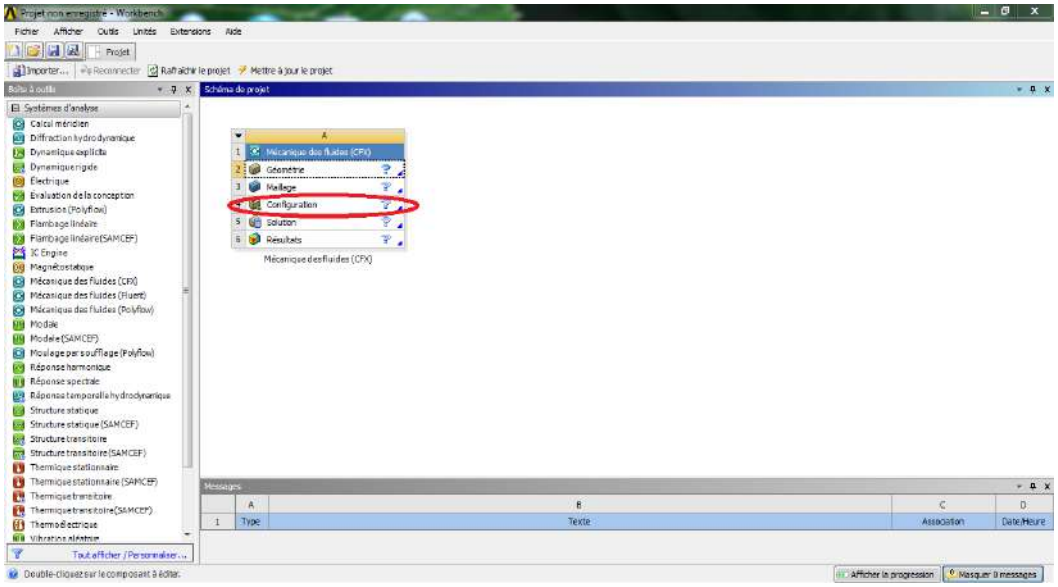


Figure. III.9 : choisir configuration.

. Tout d'abord, nous sélectionnons le fluide que nous allons étudier et déterminons ses caractéristiques en appuyant sur :

Materials » Insert » material .

En suite, nous spécifions le nom du fluide et appuyez sur″ ok″ .

Deuxièmement, nous incluons un domaine en appuyant sur :

Flow analysis » Insert » domain nous avons été nommés ″ Fluide ″ et appuyez sur ″ok″.

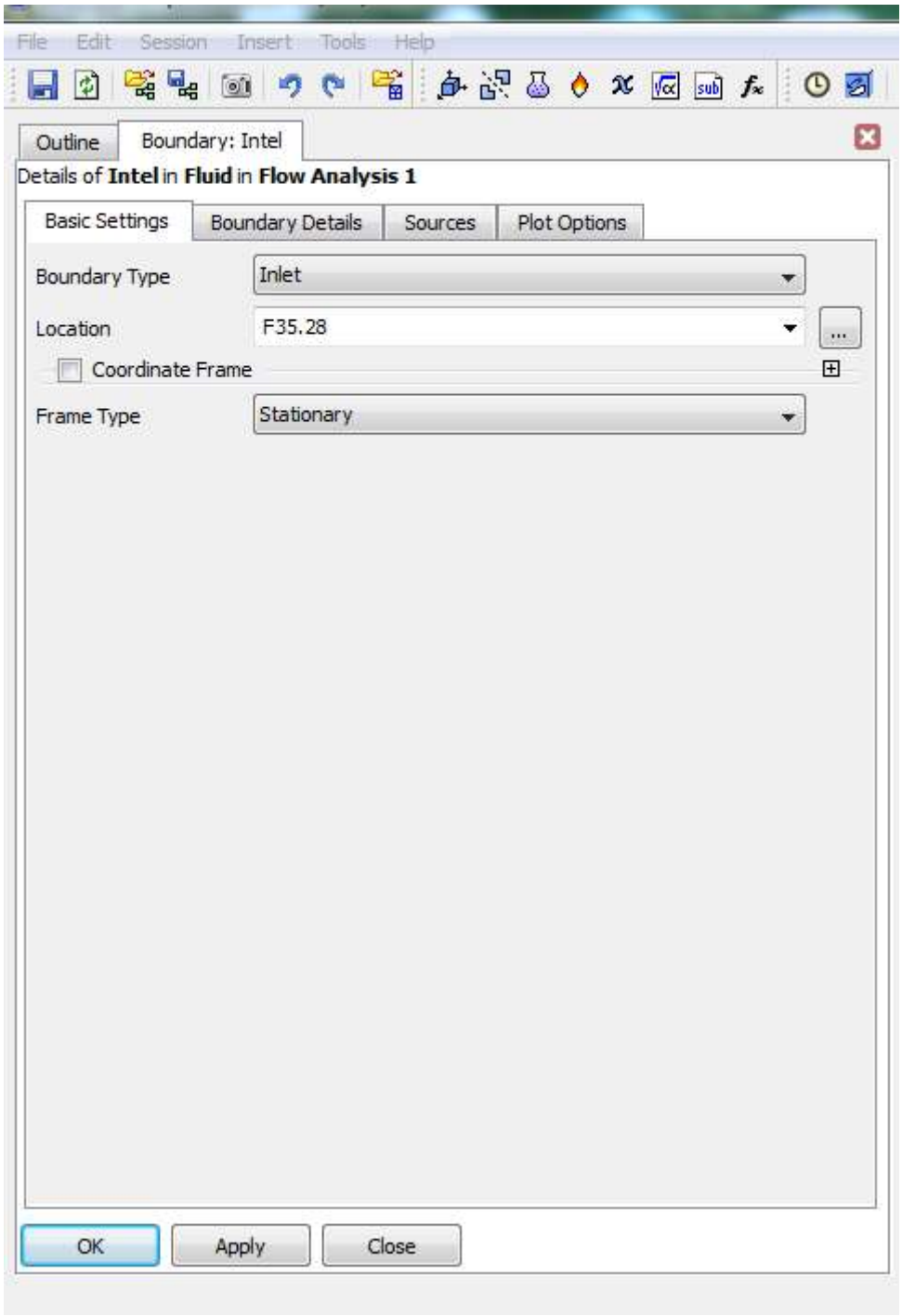
Les conditions aux limites sont de 4 type : INLET, OUTIET, WALL, WALL –ARBRE

Les conditions de type INLET sont utilisées dans le cas d'un écoulement entrant à l'intérieur du domaine.

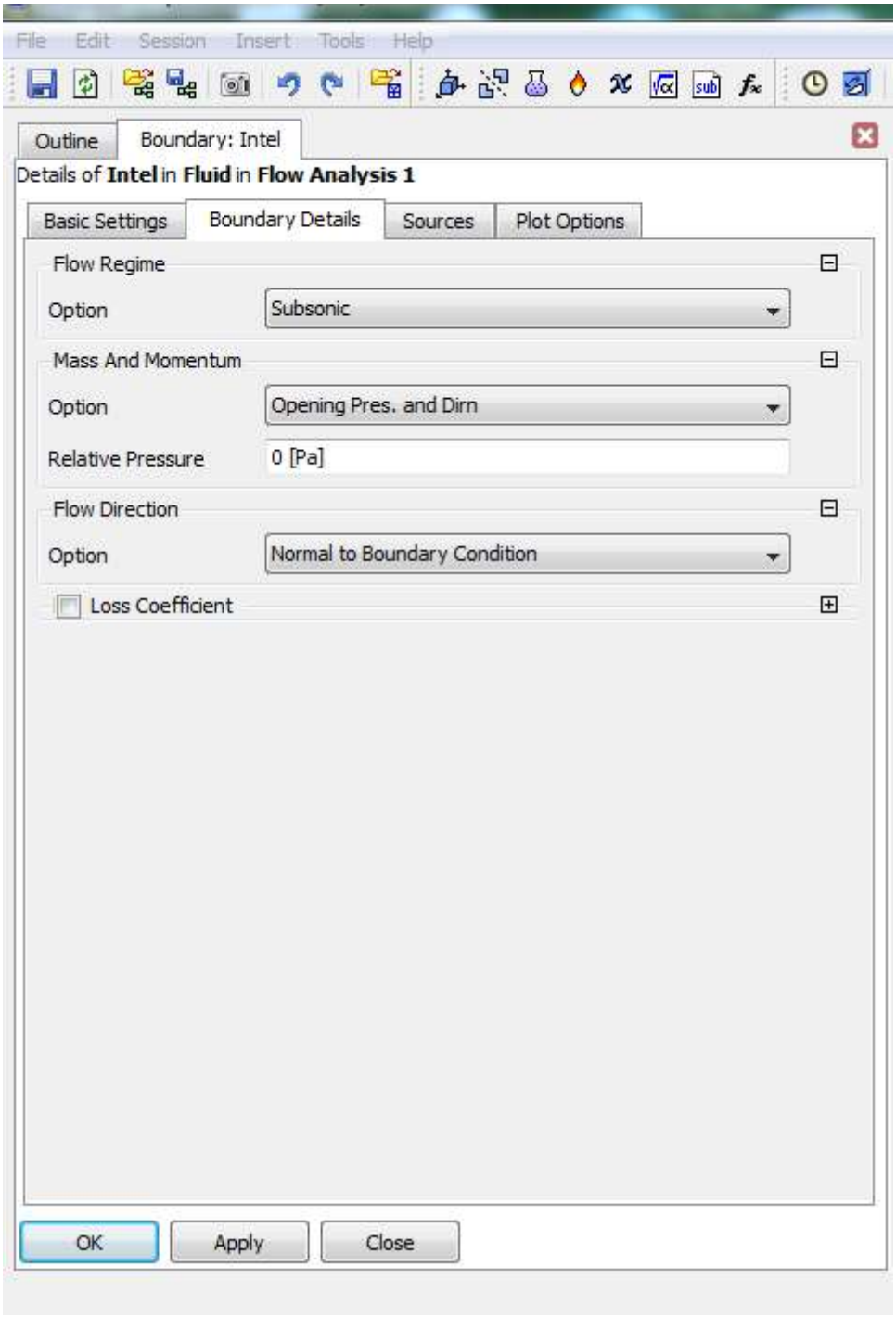
Afin de déterminer cette condition, nous cliquons sur :

Insert » boundary et puis nous appelons ″Intel″ en suite, nous choisissons

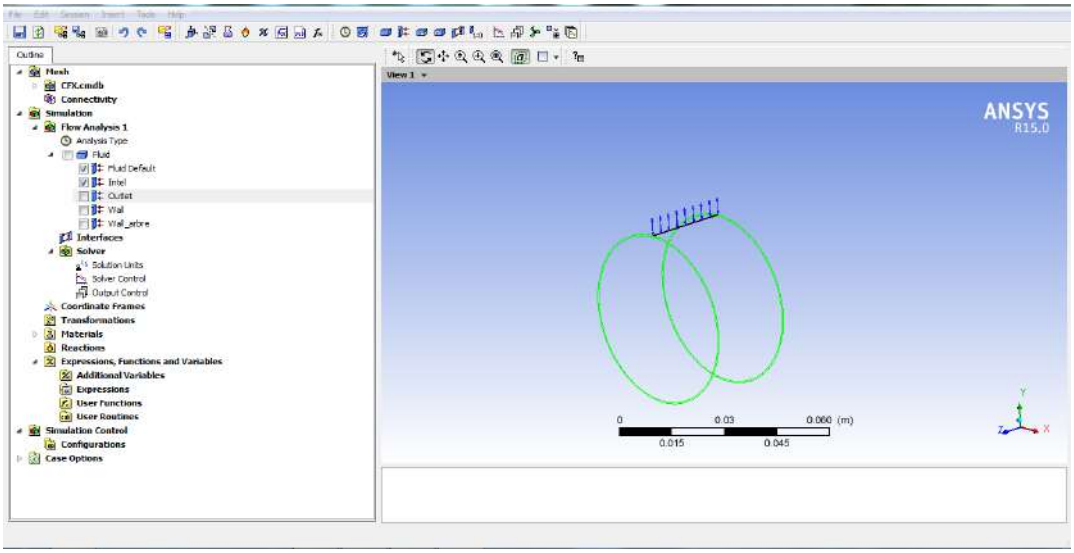
- ″Basic setting ″ pour identifier les zones de destination.


File Edit Session Insert Tools Help
Outline
Boundary: Intel
Details of Intel in Fluid in Flow Analysis 1
Basic Settings
Boundary Details
Sources
Plot Options
Boundary Type
Inlet
Location
F35.28
Coordinate Frame
Frame Type
Stationary
OK
Apply
Close

- ″boubdary details″ pour identifier la valeur de pression relative.



et appuyez sur ″Apply″.

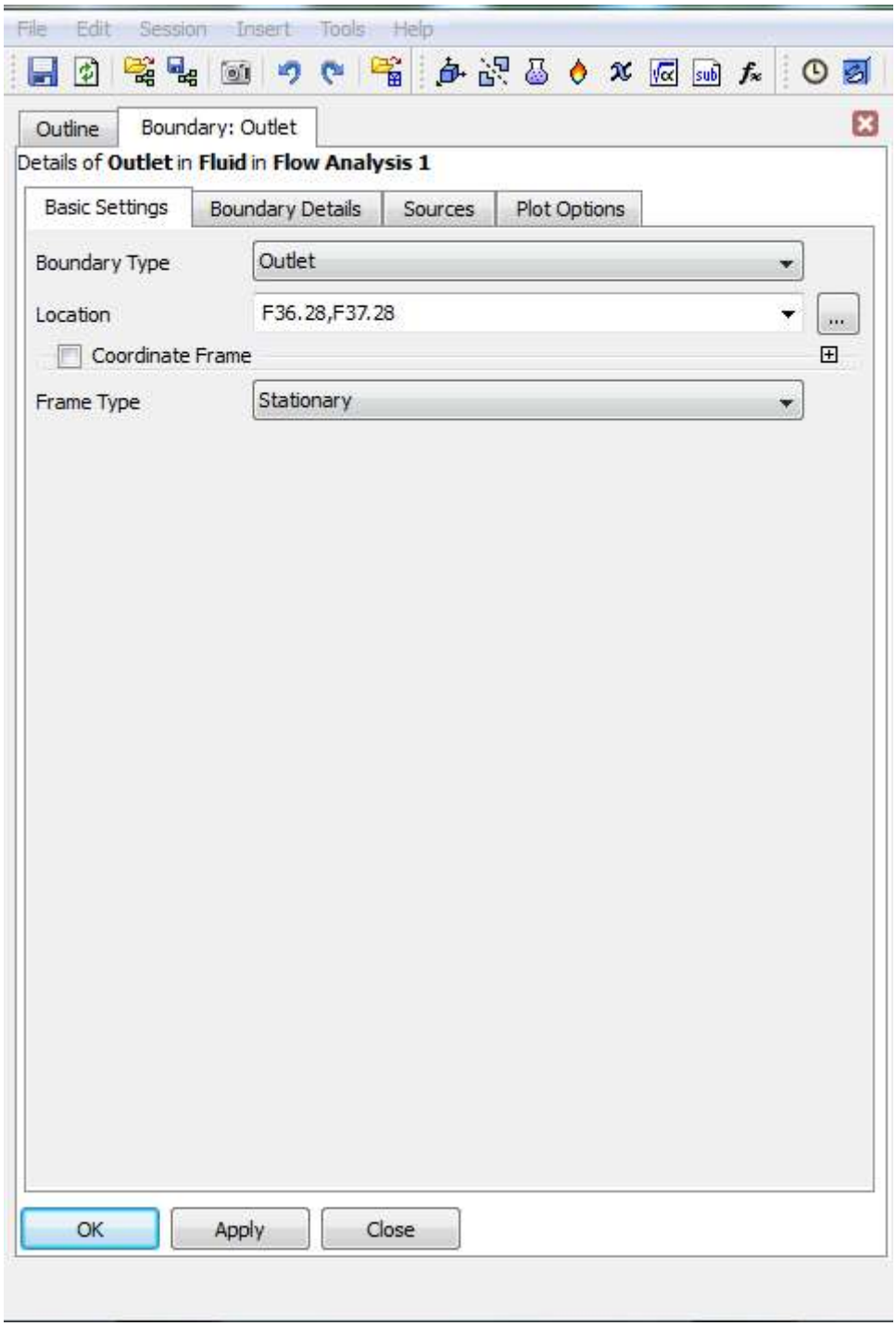


Les conditions de type OUTIET sont quant à elles utilisées dans le cas d'un écoulement sortant à l'extérieur du domaine.

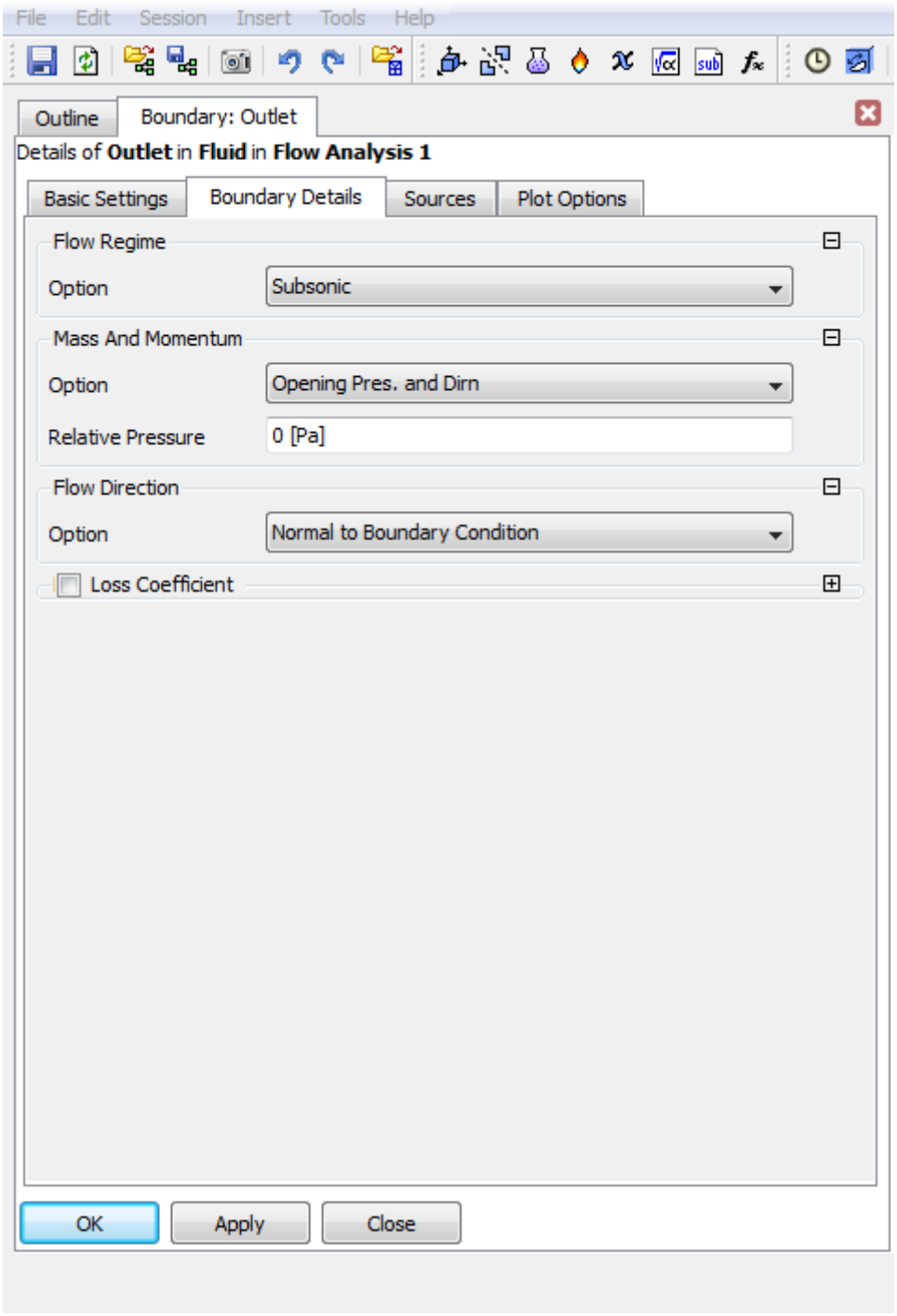
Pour déterminer cette condition, nous cliquons sur :

Insert » boundary et puis nous appelons ″outlet″ en suite, nous choisissons :

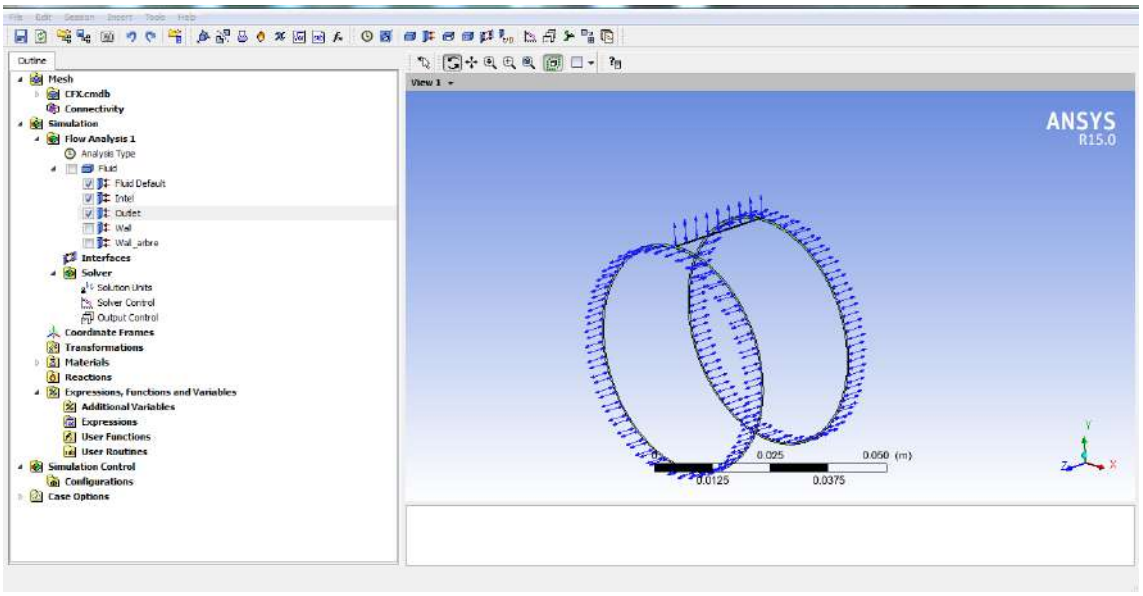
- ″Basic setting ″ pour identifier les zones de destination.



- ″boubdary details″ pour identifier la valeur de pression relative.



et appuyez sur ″Apply″.

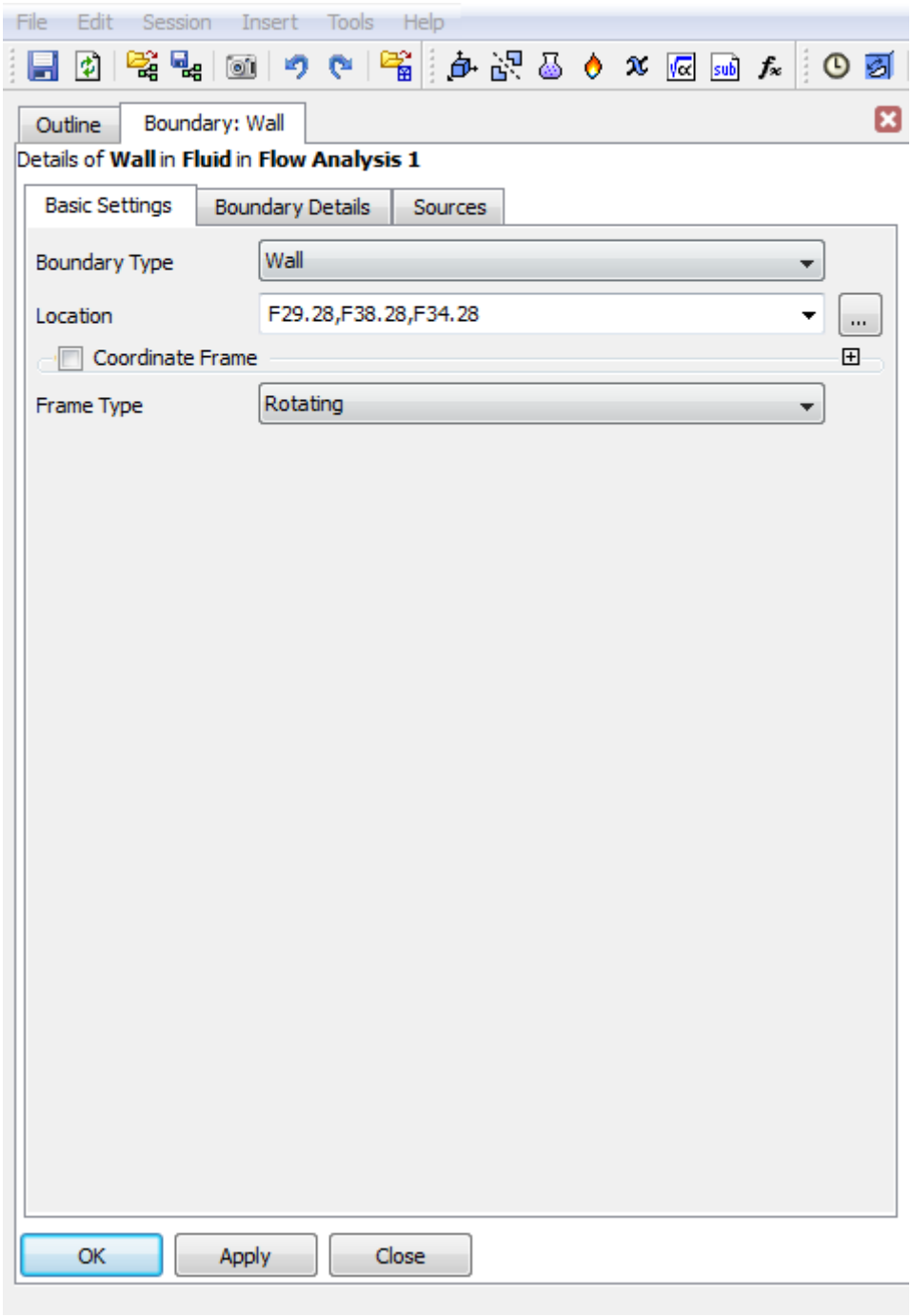


La condition aux limites de type WALL est attribuée aux parois imperméables à l'écoulement.

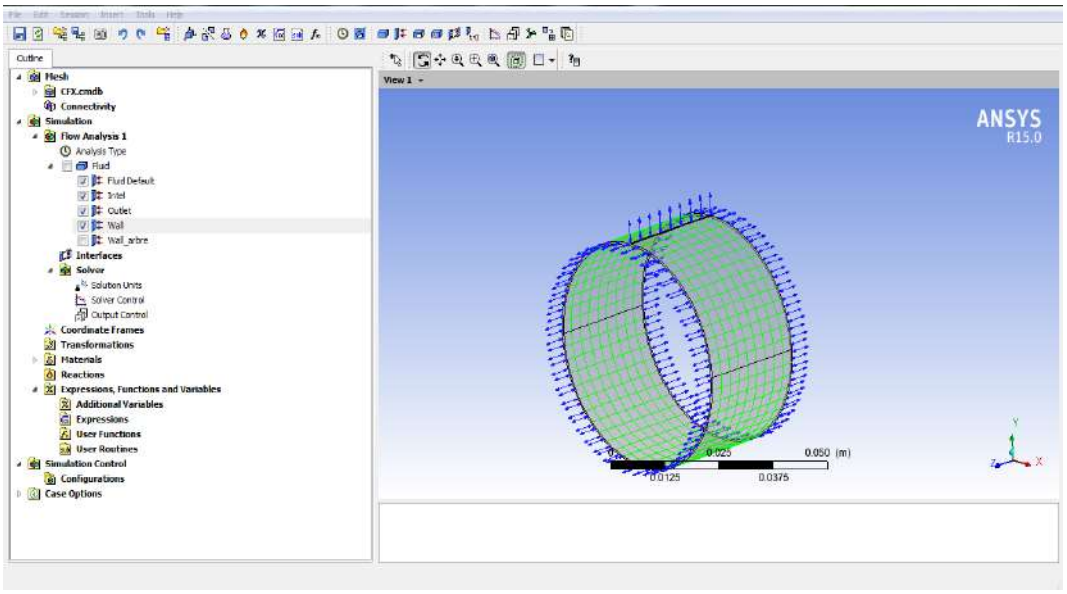
Pour déterminer cette condition, nous cliquons sur :

Insert » boundary et puis nous appelons ″wall″ en suite, nous choisissons

″Basic setting ″ pour identifier les zones de destination.



et appuyez sur ″Apply″.

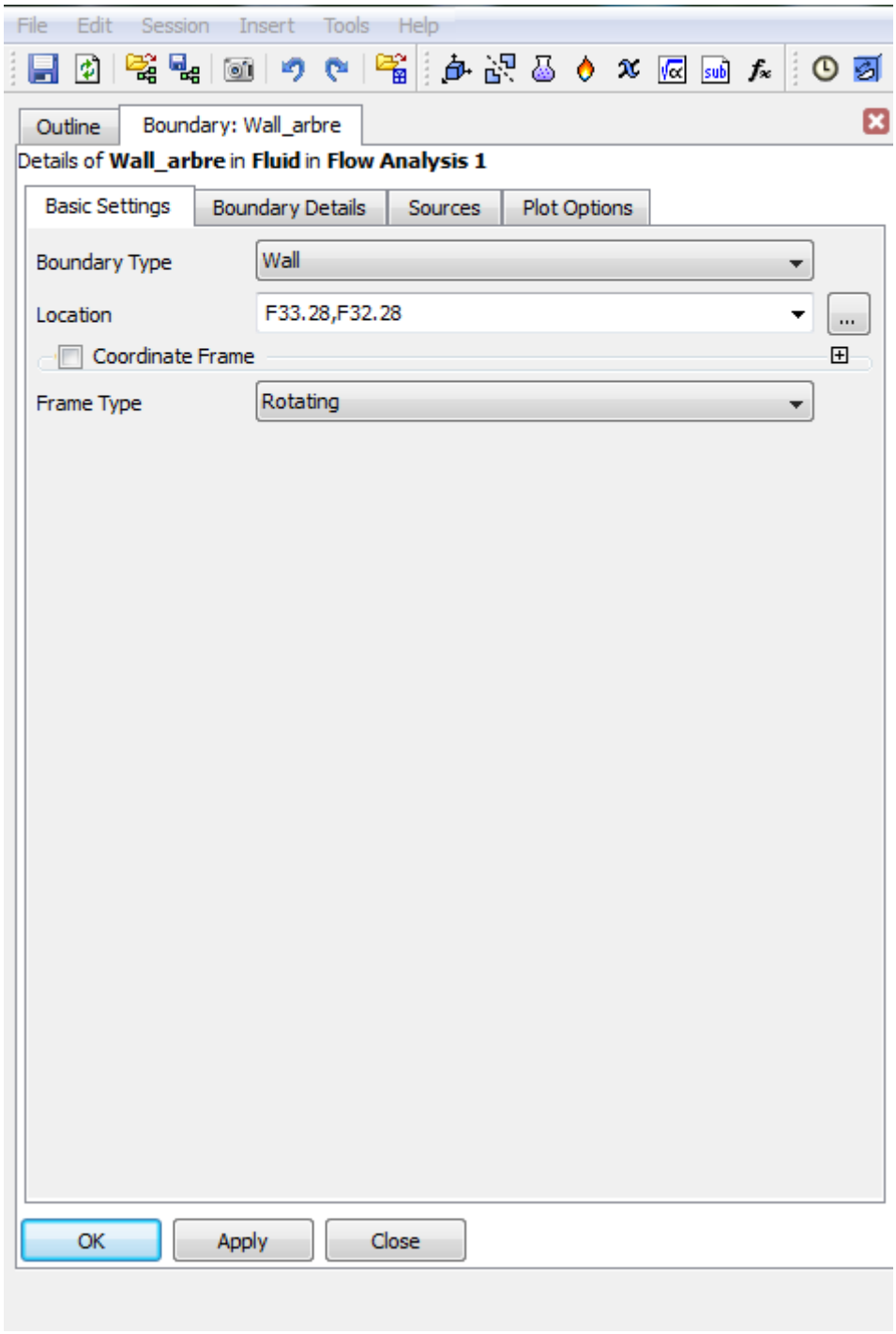


La condition aux limites de type WALL-ARBRE est tourne avec vitesse constant .

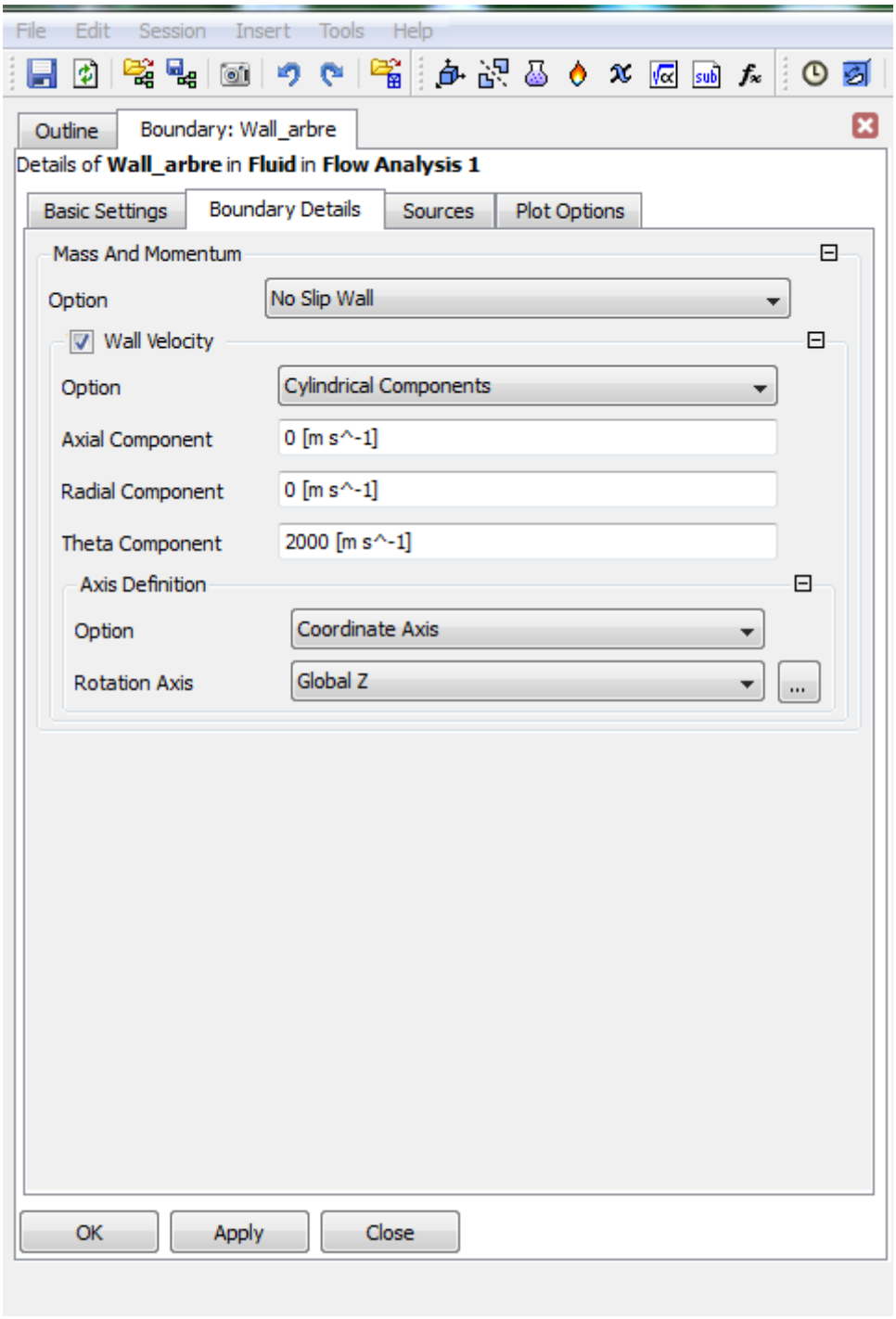
Pour déterminer cette condition, nous cliquons sur :

Insert » boundary et puis nous appelons ″wall-arbre″ en suite, nous choisissons

- ″Basic setting ″ pour identifier les zones de destination.



- ″boubdary details″ pour identifier la valeur de vitesse d'arbre.



et appuyez sur ″Apply″.

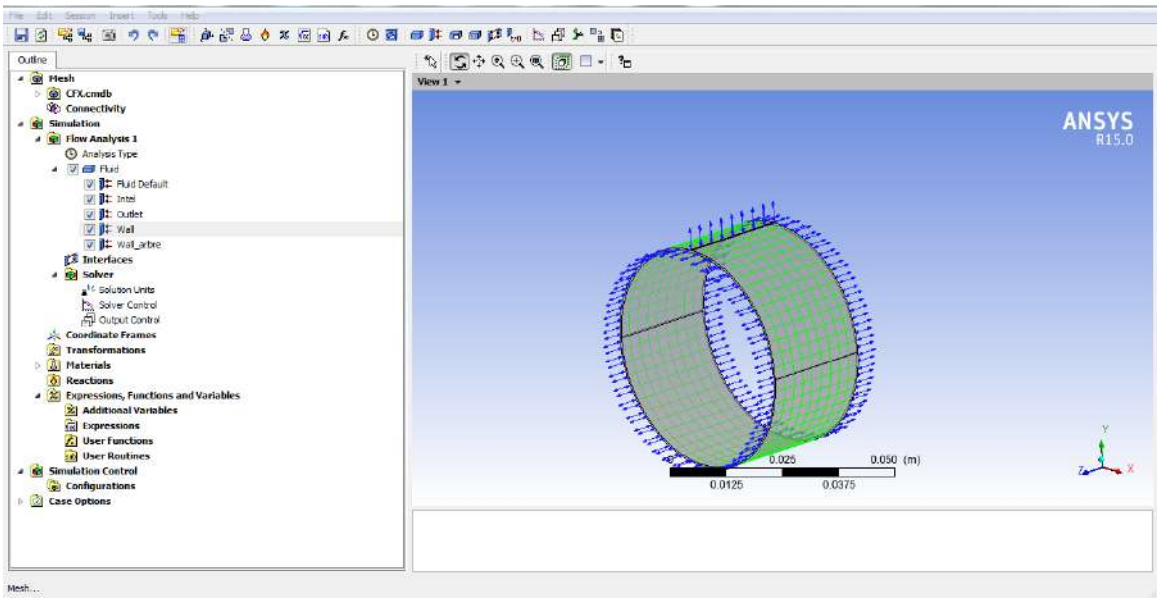


Figure III.10: interface graphique du module CFX-pre.

III.5.5. solution :

Double clic sur solution pour ouvrir le module CFX-Solver.

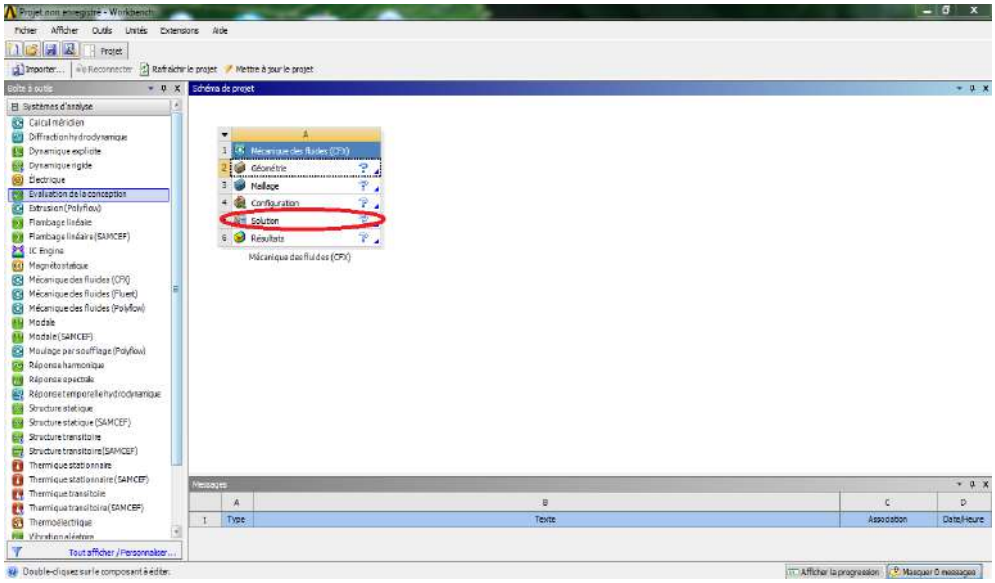


Figure. III.11 : choisir solution.

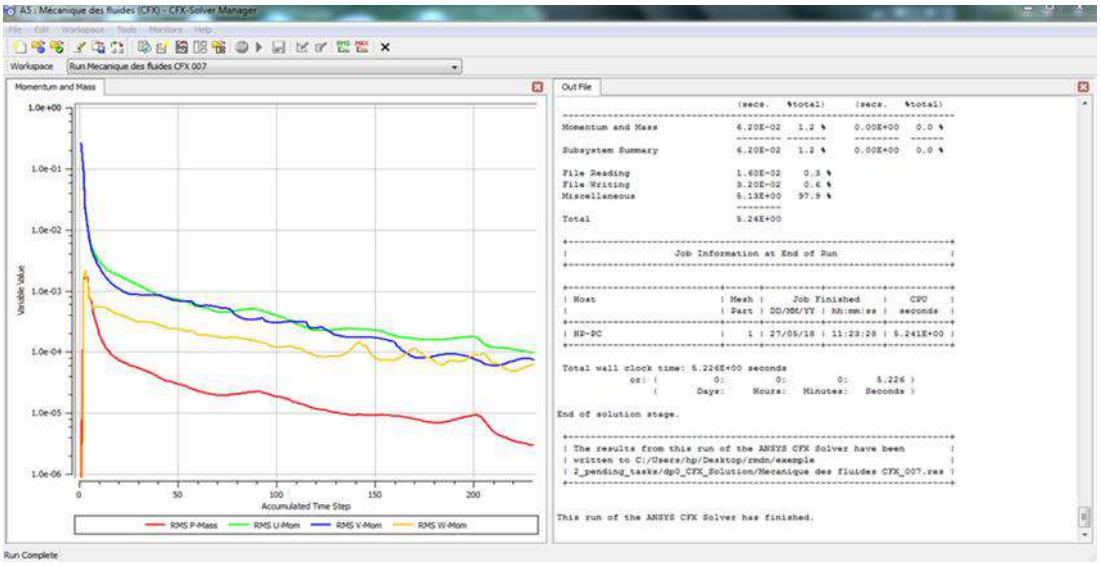


Figure III.12: interface graphique du module CFX-Solver.

III.5.6.résultats :

Double clic sur résultats pour ouvrir le module CFX-Post.

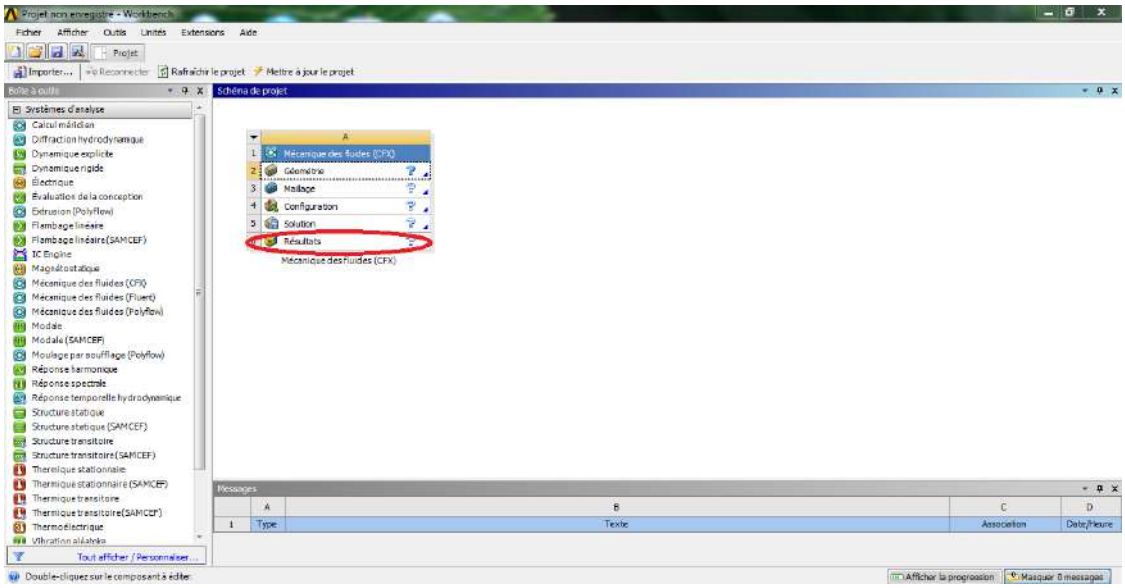


Figure. III.13 : choisir résultats.

- **CFX- post** :

Le module CFX-post est un outil graphique permettant le traitement et la visualisation des résultats. Il permet d'appliquer des textures sur la géométrie, de visualiser des contours..

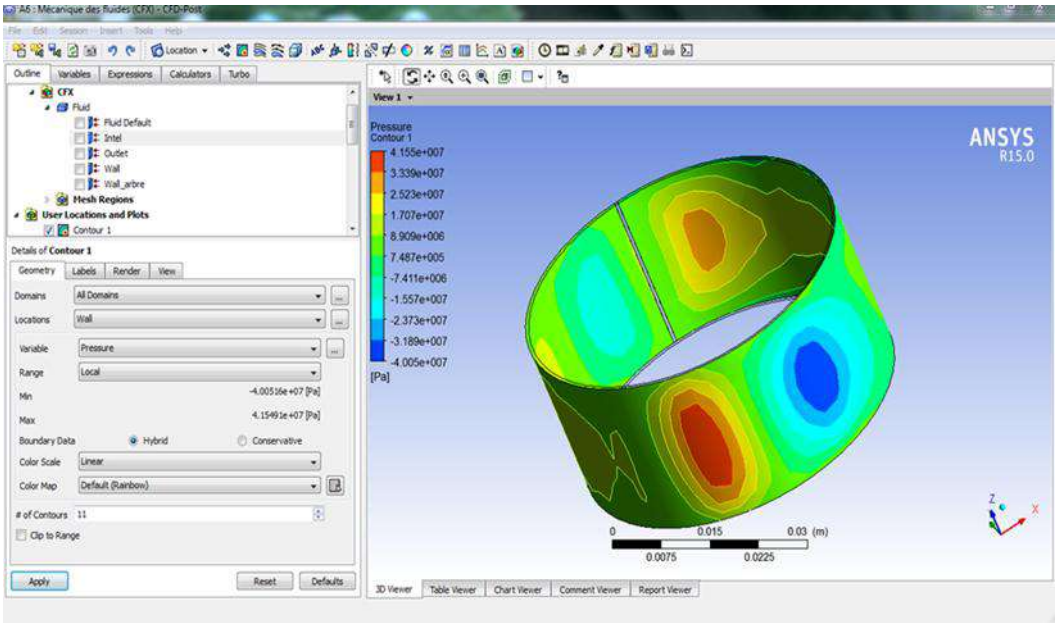


Figure .III.14: interface graphique du module CFX-Post.

IVIntroduction :

Dans ce chapitre, nous allons étudier le champ du pression hydrodynamique sur un palier court, un palier infiniment long et un palier de longueur finie, en utilisons le logiciel ANSYS CFX. Dans ces trois cas, on compare toujours les cas d'un palier peu chargé et frottement chargé

IV.1.Application :

Pour obtenir les résultats des champs des pressions sur les paliers de rapport longueur/diamètre = (0.5, 1, 2) nous allons tout d'abord fixer les surfaces extérieur du palier (on considère un palier encastré dans un structure rigide).

	D_1 mm	D_2 mm	L mm	μ pa.s	ρ kg/m^3	V tr/min	C_P J/kg.c$^\circ$	C mm
Palier 1	50	51	25	0.015	860	2000	2000	0.075
Palier 2	50	51	50	0.015	860	2000	2000	0.075
Palier 3	50	51	100	0.015	860	2000	2000	0.075

On utilise ces valeurs pour tous les exemples pour faciliter la comparaison.

Propriétés de matériaux :

Le matériau constituant le coussinet est généralement le cuivre.

IV.1.1.Palier court L/D= 0.5 :

Pour court faiblement chargé ou l'excentricité est petite (e =0.2).

Le schéma ci-dessous représente les contours de champ de pression d'un palier court par le logiciel ANSYS CFX.

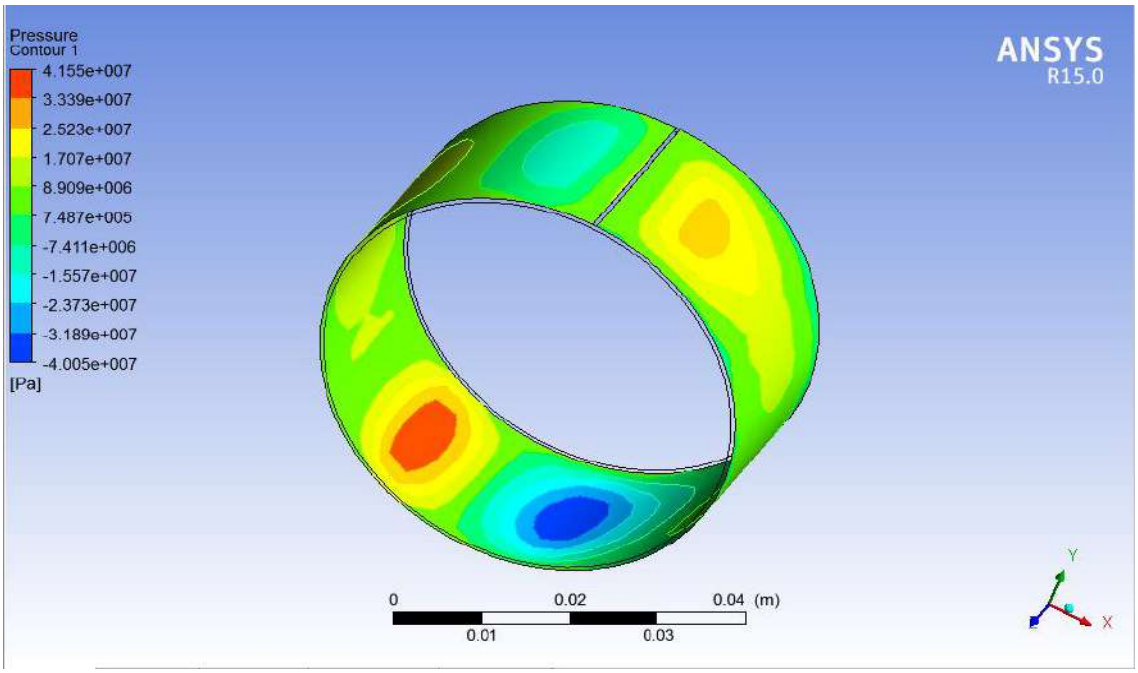


Figure IV.1 : Schéma de pression du palier court.

La représentation graphique de champ de pression à l'entre :

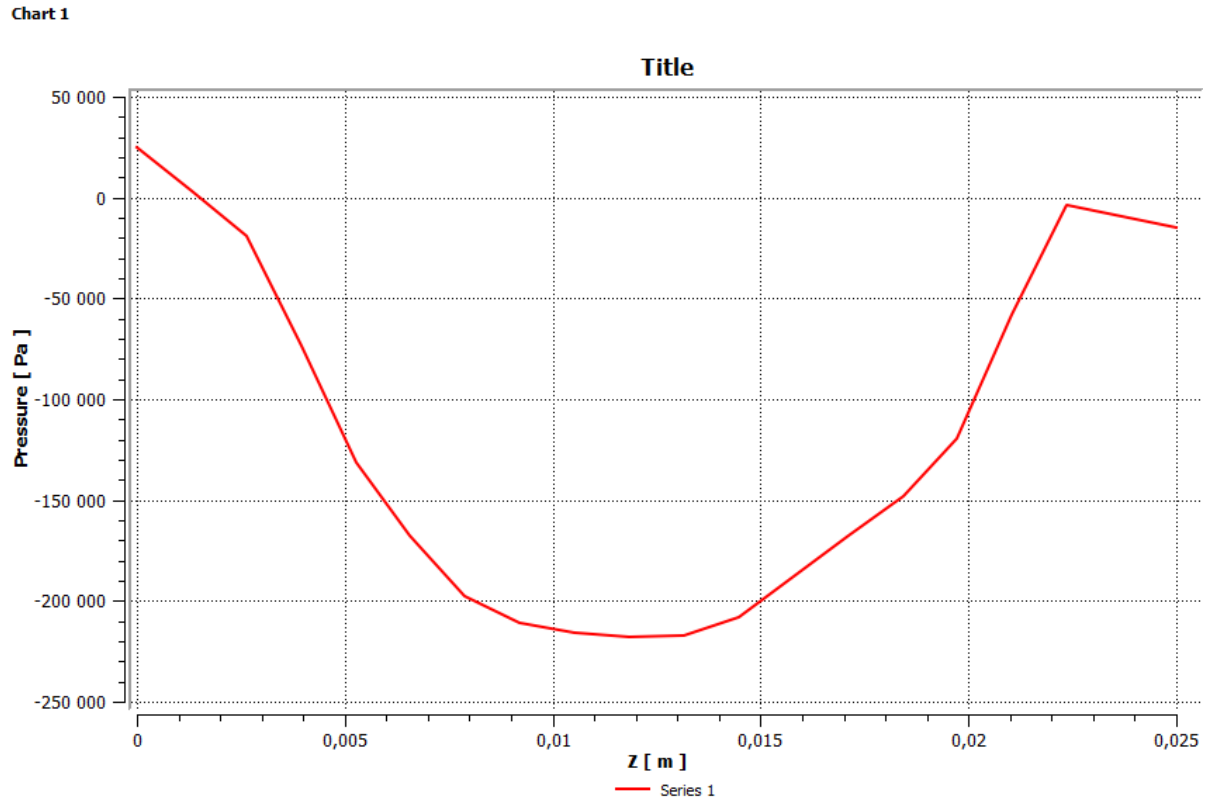


Figure IV.2 : Champ de pression radiale à l'entre d'un palier court.

La représentation graphique de champ de pression à milieu de palier :

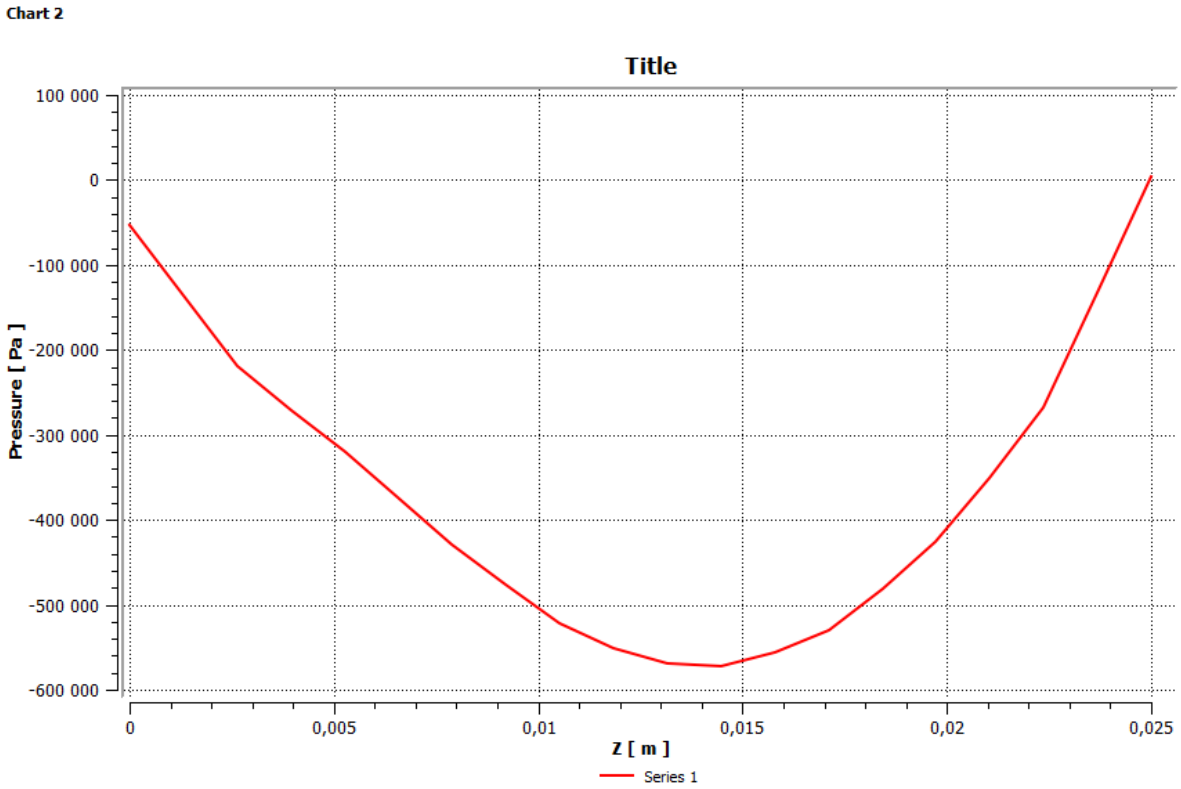


Figure IV.3 : Champ de pression radiale au milieu d'un palier court.

a) Discussion des résultats :

Dans les figures (2, 3) nous avons présenté le champ de pression hydrodynamique dans le cas d'un palier lisse circulaire court L/D = 0.5 et cela pour une excentricité relative égale 0.2.

Le premier cas dans la zone de l'entré du lubrifiant tandis que ce deuxième par la zone du l'épaisseur minimale au film.

On remarque que la pression est toujours élevée au milieu du palier.

Aussi la pression augment lorsque l'épaisseur du film lubrifiant se diminuant.

Max = 991984 [Pa].

IV.1.2Palier 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 frottement chargé avec une l'excentricité plus grande

(e = 0.8).

Le schéma ci-dessous représenté les contours de champ de pression d'un palier longueur finie par le logiciel ANSYS CFX.

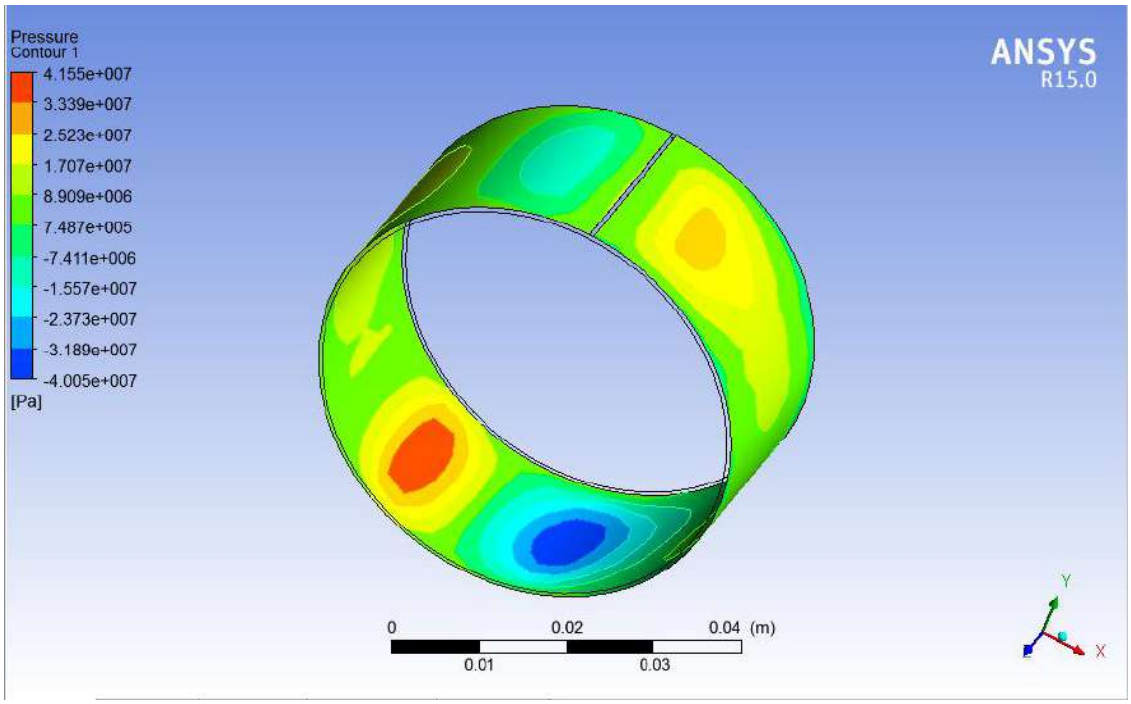


Figure IV.4 : Schéma de pression du palier à longueur finie.

La représentation graphique de champ de pression à l'entre :

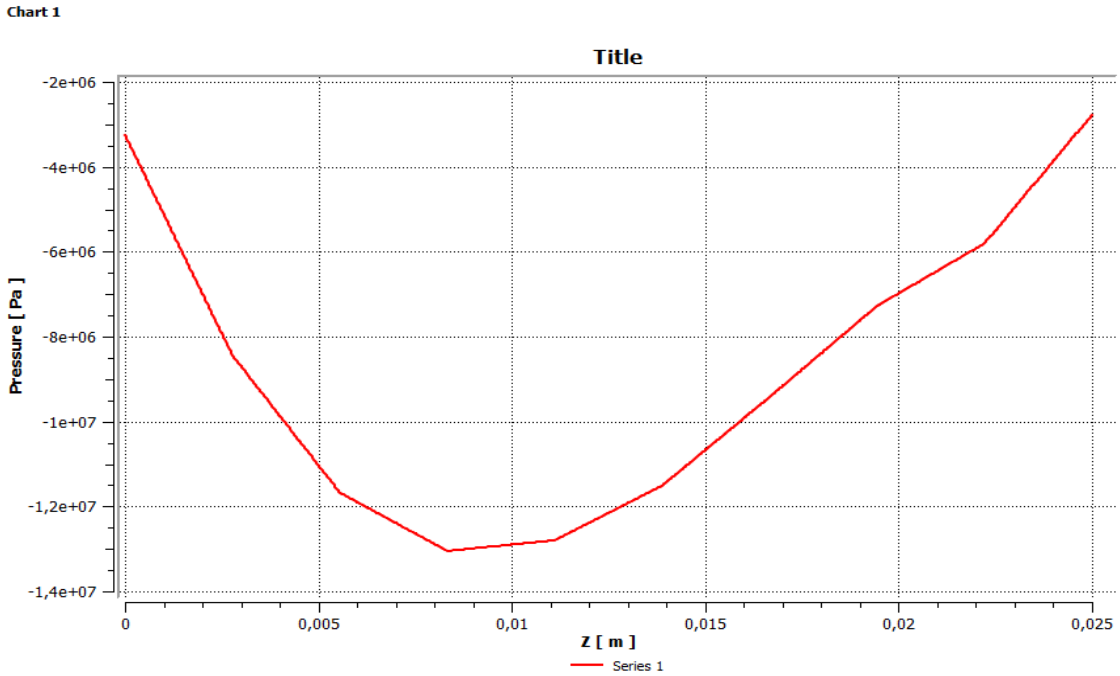


Figure IV.5: Champ de pression radiale à l'entre d'un palier à longueur finie.

La représentation graphique de champ de pression à milieu de palier :

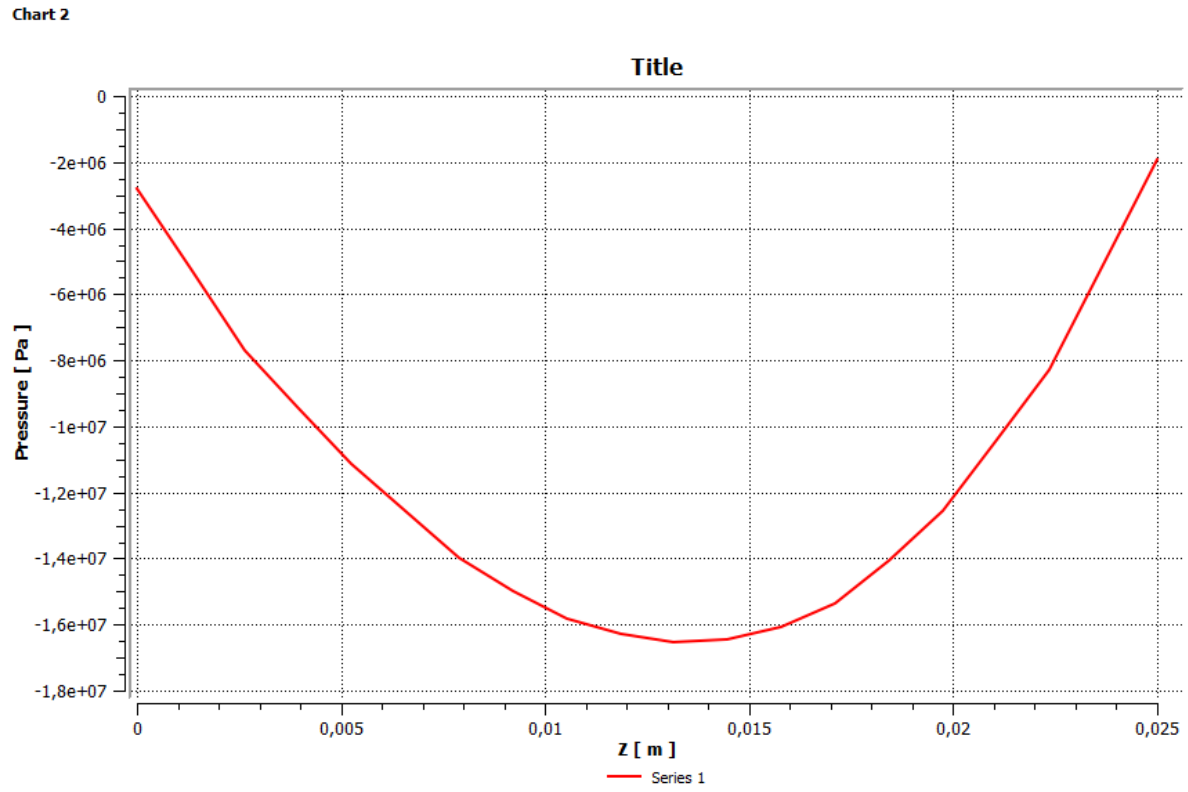


Figure IV.6 : Champ de pression radiale au milieu d'un palier à longueur finie.

b) Discussion des résultats :

Les graphes (5, 6) représentent champ de pression pour du palier L/D = 1 dans cas l'excentricité égal 0.2.

Le premier cas dans la zone de la rentré du lubrifiant tandis que le deuxième dans la zone du l'épaisseur minimale du film.

On remarque que la pression maximale du palier est toujours élevée au milieu du palier.

Max = 1.65. 10^7 [Pa].

IV.1.3.Palier long L/D = 2 :

Il ya un champ de pression sur cette application :

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

Le schéma ci-dessous représenté les contours de champ de pression d'un palier à long charge par le logiciel ANSYS CFX.

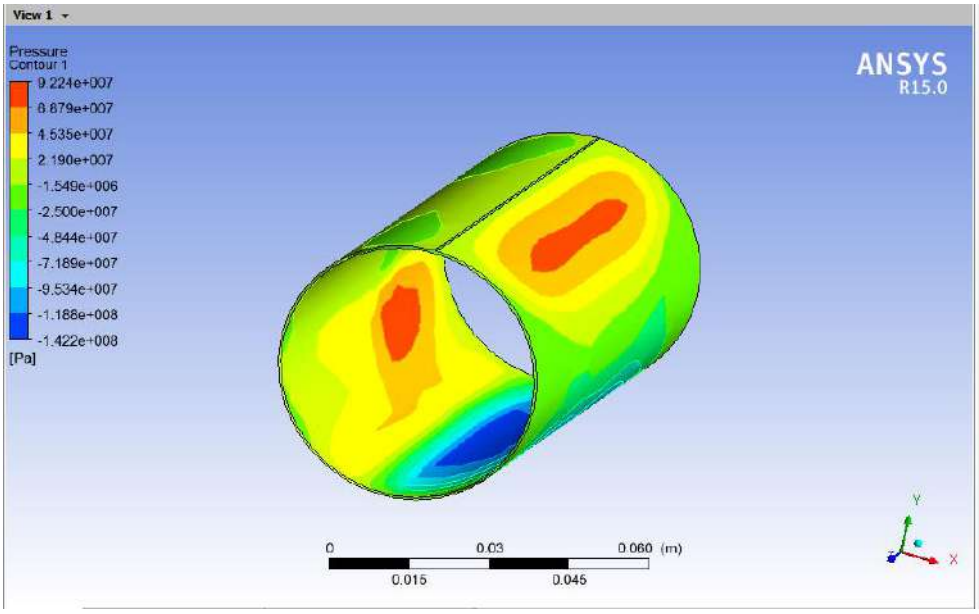


Figure IV.7: Schéma de pression du palier à long charger.

La représentation graphique de champ de pression à l'entré :

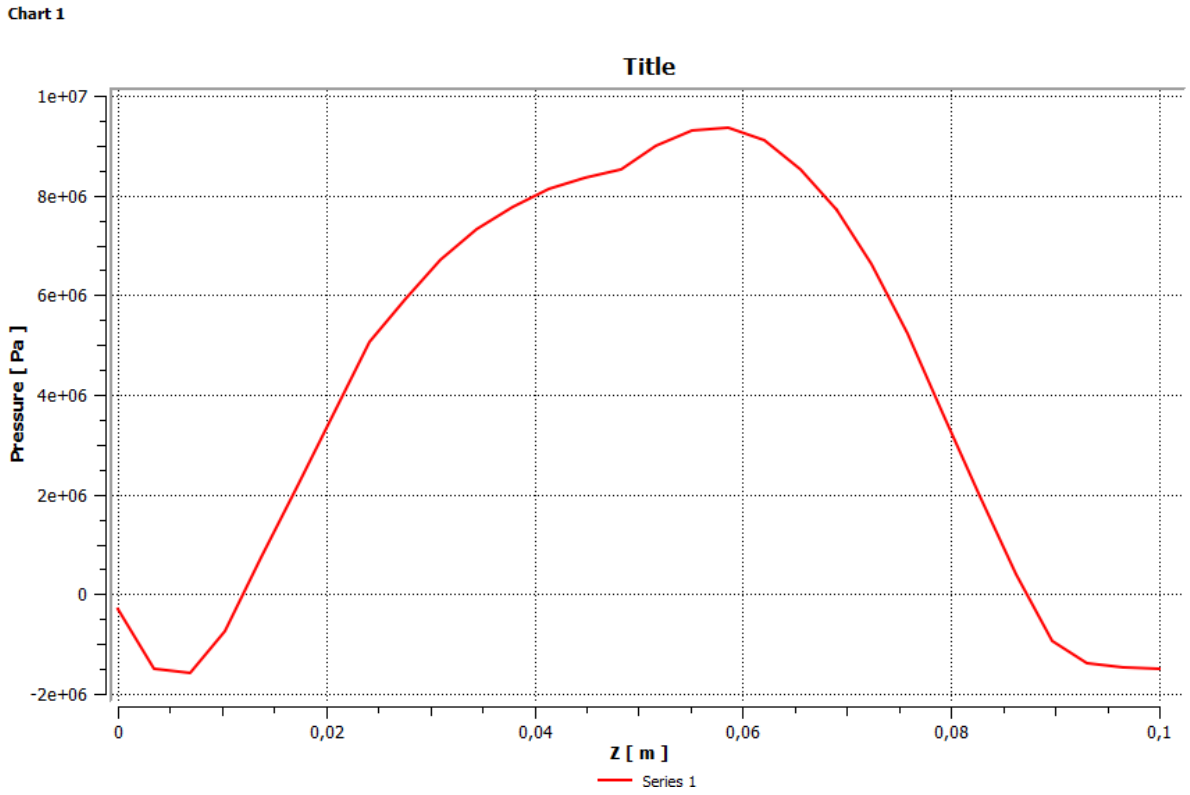


Figure IV.8: Champ de pression radiale à l'entre d'un palier à long charger.

La représentation graphique de champ de pression à milieu de palier

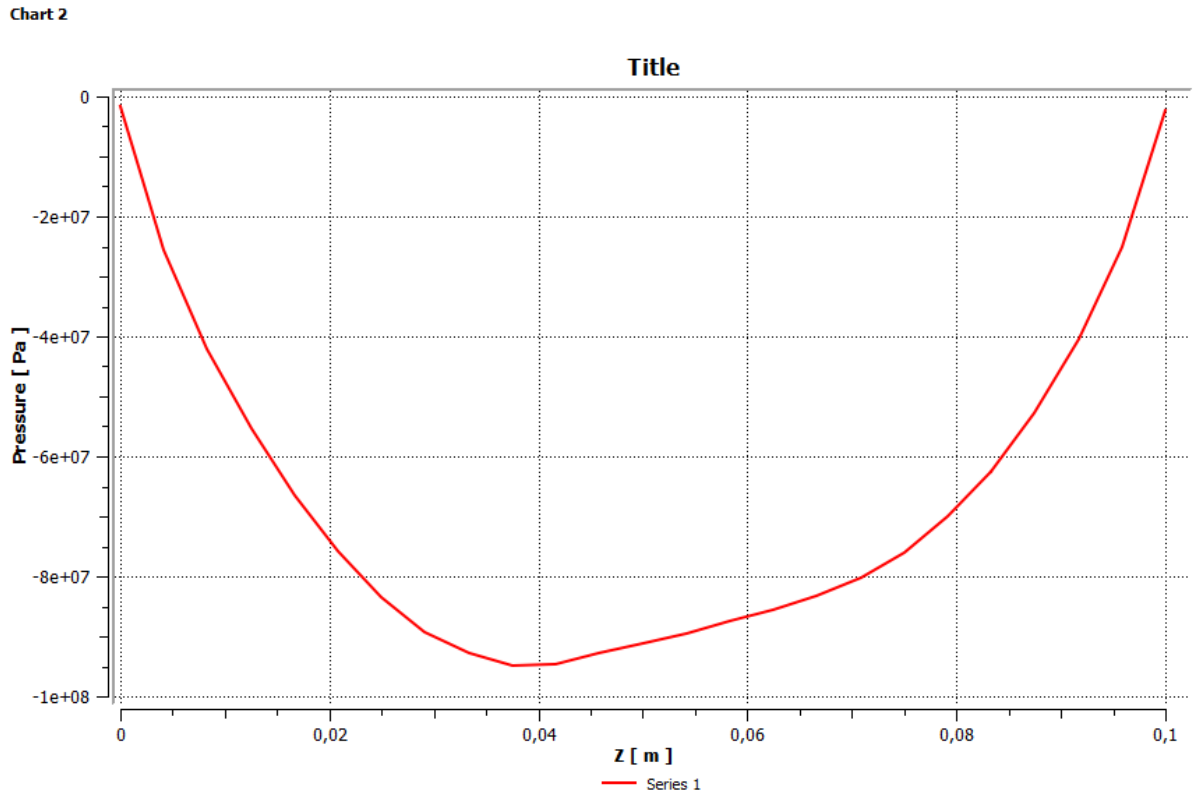


Figure IV.9 : Champ de pression radiale au milieu d'un palier à long charger.

c) Discussion des résultats :

Dans les figures (8, 9) nous avons présenté le champ de pression hydrodynamique dans le cas d'un palier lisse circulaire long charger L/D = 2 et cela pour une excentricité relative égale 0.2.

Le premier cas dans la zone de l'entré du lubrifiant tandis que ce deuxième par la zone du l'épaisseur minimale au film.

On remarque que ici que la pression du palier infiniment long grand à la pression du palier longueur et très grand à la pression du palier court.

Max = $9.22.10^7$[Pa].

IV.3.Conclusion :

Dans ce chapitre, on conclut que les champs des pressions sont plus importantes dans la zone la plus chargé.

Après les trois exemples d'un palier court et de longueur finie et infiniment long : les trois cas des graphes représentent les champs des pressions pour les paliers L/D = 0 ,5 , 1, 2

respectivement dans cas d'excentricité égale 0.2.

On remarque que pour les trois cas, le champ de pression augmente en s'approchant du milieu du palier.

Conclusion générale :

L'objectif principal de notre travail est d'étudier les champs des pressions hydrodynamiques d'un palier circulaire par l'utilisation du logiciel ANSYS CFX.

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

On remarque que le champ de pression est plus important et se rapprochant de plan médian du palier.

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

Introduction générale

Table des matières

Chapitre I :
Etude Bibliographique

Chapitre II :
Présentation des problèmes

Chapitre III :

Présentation des outils de simulation

Chapitre IV :
Résultats et Discussion

Table des figures

Conclusion Général

Bibliographique

Bibliographique :

[1] http//fr.wikipidia.org/wiki/tribologie. Noël Brunetière «introduction à la tribologie» sur université de Poitiers 2016

[2] Frene J., Nicolas, D., Degueurce, B., Berthe, D., Godet, M., "Lubrification hydrodynamique : Paliers et butées". Ed.Eyrolle, 1990.

[3] [PFE] Yanes Safia Benkhorchef Lamia (Détermination de la déformation d'un champ de pression hydrodynamique en utilisant le logiciel ANSYS APDL) 2017.

[4] Jean- michel chercheurs de tribologie et dynamique des systèmes publié par Mathilde clénat.

[5] [PFE] mehala kadda (lubrification industrielle) université dès la technologie d'Oran «Mohammed Boudiaf ».2016

[6] [PFE] Nassim zerrouni (Eude de l'interaction fluide visquex - structure d'un palier fluide soumis A' des soollicitation temporlles).2009

[7] http // Joho monsite. Orange.Fr/ lubrification : les huiles.

[8] [PFE] ben Tiba abir (les paliers lisses).

[9] René Gras. Tribologie principes et solutions industrielles.

[10] Dj. Boukhelef , « Etude elastohydrodynamique du comportement en mode. Dynamique des paliers a' très hautes vittesses » thése de doctorat ès sciences , UST MB , Oean ,2013.

[11] [PFE] ZERAIGUI Billal. Khemissat Rafiq (Utilisation d'une méthode semi analytique pour le calcul d'un champ de déformation dans un palier circulaire). 2017

[12] Fondamontai of fluid filmlubrifiation Hamrock, B. Schimd, Jacobson, B. Edition 2004 ISBN 082475372.

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

Bibliographique

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