

Introduction générale

Les paliers à base de fluide (hydrostatiques, hydrodynamiques, aérodynamiques ...) sont des solutions utilisées en construction mécanique pour guider, supporter et amortir les vibrations des rotors. Ils sont aujourd'hui très utilisés dans les machines tournantes fonctionnant à de très grandes vitesses ; comme les compresseurs et les turbines.

Beaucoup de travaux de recherche se concentrent sur le contrôle des vibrations de ce type de machines, pour réduire les amplitudes ou pour éviter les vitesses critiques de leur vibration. Une grande partie de ces travaux considèrent la lubrification hydrostatique comme la solution optimale. L'étude théorique des problèmes de lubrification est généralement basée sur la formulation classique de Reynolds. Pour accéder aux paramètres de la troisième dimension (l'épaisseur) ignorés par la formulation classique, de plus en plus de travaux de recherche proposent le retour à la formulation d'origine basée sur les équations de Navier-Stokes.

Sauf pour les cas idéals où une solution analytique peut être extraite, la résolution des équations issues des deux formulations doit passer par les méthodes de calcul numérique (différences finies, éléments finis ou volumes finis).

Lorsque les géométries considérées ne présentent pas d'importantes courbures, l'utilisation de la méthode des différences finies donne de très bons résultats. L'implémentation de la méthode est relativement simple, et l'écriture de propres codes de calcul est possible. Mais dès que la géométrie du problème considéré devient compliquée le passage par la méthode des éléments finis ou celle des volumes finis s'impose. L'implémentation des deux méthodes est beaucoup moins simple. Des solutions commerciales (et open-sources) sont disponibles pour résoudre des problèmes bien établis comme la mécanique des fluides, mécanique des solides, ...ou leurs interactions. La liste de ces logiciels est très longue.

Néanmoins, la simulation d'un problème nouveau qui nécessite des modifications importantes sur les paramètres physiques, nécessite des modifications aussi importantes sur ces codes de calcul. Ces modifications sont d'une difficulté comparable au développement du logiciel lui-même, et sauf pour les logiciels open-sources elle est quasiment impossible. Une deuxième alternative est l'utilisation de codes de calcul dédiés, qui sont souvent développés dans des universités de réputation historique ou des laboratoires de recherche prestigieux. L'accès à ce genre de code de calcul est quasiment impossible pour beaucoup de raisons : économiques, stratégiques...

Dans cette étude une autre approche est proposée. L'idée c'est d'écrire un code de calcul chargé de la nouvelle partie physique du problème (calcul des raideurs et amortissements, calcul des viscosités en fonction du champs magnétique...) tout en profitant des codes de calcul commerciaux pour les calculs intensifs de la partie bien établie (calcul du champ de pression, calcul des contraintes...). Cette stratégie permet de rendre illimités les problèmes traitables par le logiciel commercial choisi, à savoir Ansys-Workbench.

La solution proposée est composée de trois parties :

1. Un code de calcul développé par nos soins en Langage Fortran pour la partie qui ne peut pas être traitée par Ansys
2. Un programme de définition pour l'exécution du calcul sur Ansys, écrit en langage Python
3. Et un programme global qui supervise l'exécution et la communication des données entre les deux premiers programmes, écrit en langage Visual Basic Application.

Le but de ce travail est l'analyse de l'effet des paramètres physiques sur le profil de pression dans une butée hydrostatique à simple effet pour différentes configurations géométriques.

Le travail effectué est présenté en trois chapitres.

- Le premier est consacré à l'étude bibliographique, où on présente les différents types de paliers fluides et les travaux théoriques et expérimentaux sur les butées hydrostatiques. Ensuite, les types de langages de programmation sont décrits et le principe de la programmation en langages mixtes est expliqué.
- Le second chapitre présente la formulation mathématique des équations de bases traitant le modèle bidimensionnel de Reynolds et le modèle tridimensionnel de Navier-stokes. Il est constitué de deux parties ; analytique et numérique. La solution analytique fera l'objet de la validation du modèle numérique, qui à son tour sera l'outil d'analyse des différents paramètres physiques considérés.
- Les résultats obtenus et leurs discussions sont présentés dans le troisième chapitre.
- A la fin une conclusion générale sur le travail réalisé est tirée et les développements futurs sont proposés.

CHAPITRE I

Etude bibliographie

L'étude de la lubrification moderne relève de l'étude multidisciplinaire, où élasticité, mécanique des fluides et même électromagnétisme sont tous omniprésents.

Bien qu'ignorés pendant plusieurs décennies par la communauté scientifique, les premiers travaux sur la lubrification hydrodynamique sont ceux de Hirn réalisés en 1854.

Osborne Reynolds [1] est le premier à établir les bases de la lubrification hydrodynamique moderne en 1886. Il modélise mathématiquement le problème de la lubrification en posant des hypothèses de la lubrification. Cette modélisation est basée sur les travaux du médecin français Poiseuille entre 1840 et 1846[2]. Il analyse l'écoulement simple entre deux plaques parallèles puis inclinées. Il donne une explication physique du phénomène de portance dû à la conservation du débit. Finalement Reynolds présente une solution approchée de l'équation de lubrification ; la solution est basée sur les développements en série.

La première solution exacte du problème de lubrification est faite en Allemagne en 1904 par Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld. Il utilise un excellent changement de variable afin de décrire le champ de pression dans le cas d'un palier infiniment long, les conditions aux limites proposées ne tiennent pas compte de la rupture du film dans le palier.

En 1914, et toujours en Allemagne, Ludwig Karl Friedrich Gumbel propose de négliger toute la zone où la pression est négative pour la solution de Sommerfeld.

En 1931 Swift et Stieber en 1933[3] [4], présentent indépendamment des conditions aux limites à la sortie du film plus proche de la réalité. Ils déduisent que dans la zone divergente du palier, le film est rompt le long d'une frontière déterminée par des conditions supplémentaires tels que : le long de la frontière, la pression prend la valeur de la pression saturante du fluide et le gradient de pression s'annule. Ces conditions dites conditions aux limites de Reynolds qui sont universellement utilisées aujourd'hui pour les calculs des paliers soumis à des charges constantes.

Les travaux de Gérard en 1949 [5] [6] présentent la réalisation de broches utilisant des paliers hydrostatiques dont la raideur est fonction de la pression d'alimentation.

Dès 1949 Shaw et Macks [7] proposent de calculer les caractéristiques statiques d'un palier hydrostatique en supposant des variations linéaires de la pression dans l'espace inter-alvéoles et

entre les alvéoles et le bord du palier. Si les résistances hydrauliques sont des capillaires, on obtient un système linéaire où les inconnues sont les pressions dans les alvéoles. Dans le cas d'orifice en paroi mince, on a un système non linéaire.

L'approche analytique a été par la suite, reprise par Rowe et Chaomleffel [8] pour calculer les coefficients dynamiques d'un palier hybride centré.

En 1962, Stephenson et Osterle appliquent une méthode itérative pour le cas d'un contact linéaire. En partant d'une excentricité donnée, ils obtiennent la pression par la résolution de l'équation de Reynolds. Avec ce champ de pression ils déduisent l'épaisseur du film. On déduit alors un nouveau champ de pression et les itérations sont continuées jusqu'à la convergence sur le champ de pression. Si en plus la charge obtenue par intégration du champ de pression correspond à la charge donnée, alors la solution est trouvée, sinon, l'excentricité est modifiée et les calculs sont repris.

En 1973, Wechsler [9], utilise la méthode des différences finies pour la discrétisation et la méthode de Gauss-Seidel avec sur-relaxation pour la résolution rapide du système obtenu par la discrétisation de l'équation de Reynolds.

Le calcul des coefficients dynamiques peut être traité par différentiation numérique, qui est la méthode la plus utilisée grâce à la simplicité de sa mise en œuvre, ou à partir d'une méthode de perturbation, Lund [10]. Cette dernière entraîne des calculs analytiques supplémentaires mais permet de déterminer les coefficients dynamiques du palier sans avoir à se fixer des valeurs de déplacement et de vitesse pour les incréments et sans avoir à s'imposer des précisions de calcul très sévères [11]. Cette méthode s'impose dès que l'influence de la compressibilité du fluide dans les alvéoles est prise en compte.

En 1976, Rohde et Ezzat [12] montrent que la prise en compte de la compressibilité du fluide située dans les alvéoles modifie les coefficients dynamiques du palier. Les raideurs directes du palier augmentent avec la fréquence d'excitation tandis que les amortissements diminuent et tendent vers zéro. Des résultats similaires ont été obtenus par San Andres et Ghoh et Viswanath [13]. Dans son approche analytique, San Andres met en évidence une fréquence critique au-delà de laquelle l'amortissement direct a été réduit de moitié par rapport à sa valeur correspondante au cas de fluide incompressible.

En 1984, Rerbal [14] analysé l'influence du régime d'écoulement (laminaire et non laminaire) sur les performances des butées hydrodynamiques. De plus, il constate que les butées à patins à

échelons présentent des avantages de point de vue portance sur les butées à patins inclinés, et que la charge maximale supportée par un patin à échelon est 29 % plus grande que celle supportée par un patin incliné.

Nous pouvons dire que les études numériques paramétriques sur les la distribution de la pression ont commencé au début des années 90. Velthuis et San Andres [15] effectuant l'une des premières analyses de flux laminaire incompressible dans deux évidements bidimensionnels.

En 1996, Osman [16] a étudié théoriquement et expérimentalement les paliers hydrostatiques pour évaluer leurs performances et leurs caractéristiques, il a utilisé deux configurations géométriques, l'une avec une alvéole et l'autre avec quatre alvéoles ainsi que trois types de surfaces convexe, plane et concave pour chaque configuration, **Figure I.1**. De plus, l'auteur compare ses résultats théoriques avec ceux expérimentaux et montre que la pression ayant une valeur constante dans l'alvéole et tend vers zéro aux bords de la butée, la pression dans l'alvéole est plus élevée dans le cas d'une surface concave par rapport à la surface plane par contre pour l'autre surface convexe elle est inférieure, **Figure I.2 (b)**. Enfin, il a montré que l'épaisseur du film d'huile diminue lorsque la charge augmente, et s'élève lorsque la pression d'alimentation augmente, **Figure I.2 (a)**. Il a trouvé une bonne concordance entre la théorie et l'expérimental.

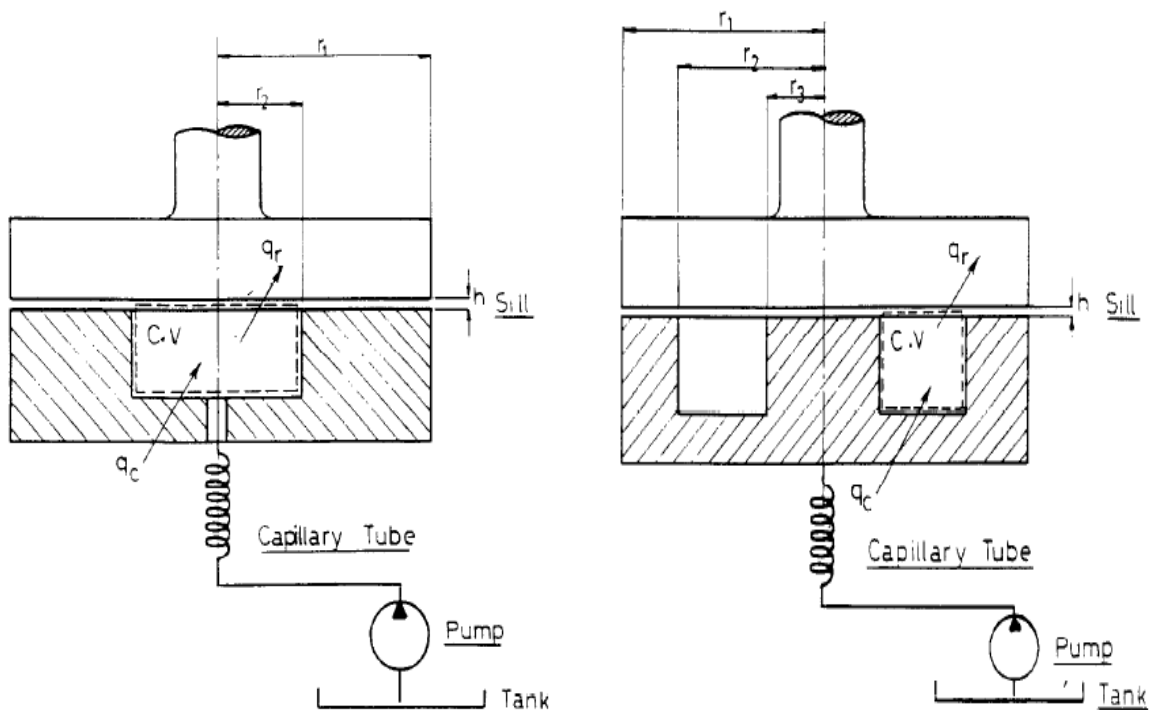


Figure I.1 : Configuration de contrôle du volume de l'alvéole.

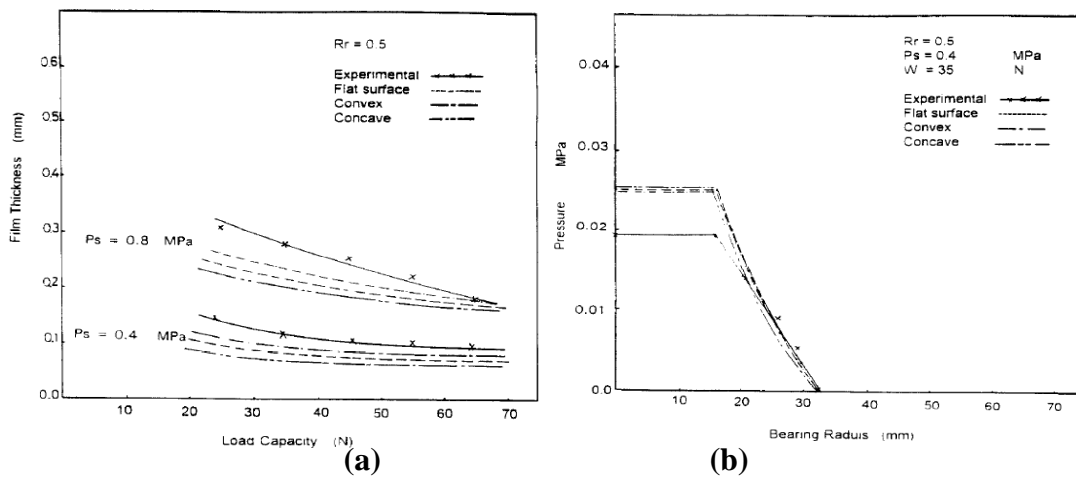


Figure I.2 : Comparaison entre les résultats expérimentaux et analytiques.

Wiesław, Graboń et al [17] ont expliqué les principales méthodes numériques qui sont utilisées pour résoudre des équations en tribologie basé sur la théorie de la lubrification hydrodynamique annoncée par Reynolds, et ils ont créés un programme basé sur la méthode des différences finies pour calculer la distribution de la pression hydrodynamique dans les paliers radiaux.

Panday et al [18] ont étudiés les Caractéristiques et les performances d'un palier lisse lubrifié, par la résolution des équations de Navier Stokes compressibles à l'aide de code de calcul Ansys Fluent. En tenant compte de la gravité et l'effet de la turbulence.

Boukhatem [19] a fait une Analyse théorique et numérique sur l'influence des propriétés rhéologiques des fluides lubrifiants dopés sur les performances des butées fonctionnant en régime de lubrification hydrostatique. L'analyse théorique est basée sur l'application de la théorie des milieux continus de V. K. Stokes dans le cas d'écoulement de films minces visqueux entre parois fixe et mobile. Le comportement du fluide est décrit par une équation différentielle scalaire appelée équation de Reynolds modifiée. Le champ de pression dans le fluide est déterminé à partir d'une discrétisation spatiale de l'équation de Reynolds modifiée en utilisant la méthode des éléments finis.

I.1. Généralités sur les butées et les paliers

Les butées et les paliers sont des éléments de machines qui servent à supporter et à guider des axes ou des arbres soit dans la direction radiale (paliers), soit dans la direction axiale (butées).

I.1.1. Différentes classes des paliers

I.1.1.1. Paliers à roulements

Dans ce type de paliers le glissement de l'arbre sur le coussinet est remplacé par le roulement de

corps intermédiaires (billes, rouleaux et aiguilles). Ils supportent de plus fortes charges tout en réduisant l'usure et le frottement à cause de leur coefficient de frottement très faible au démarrage.

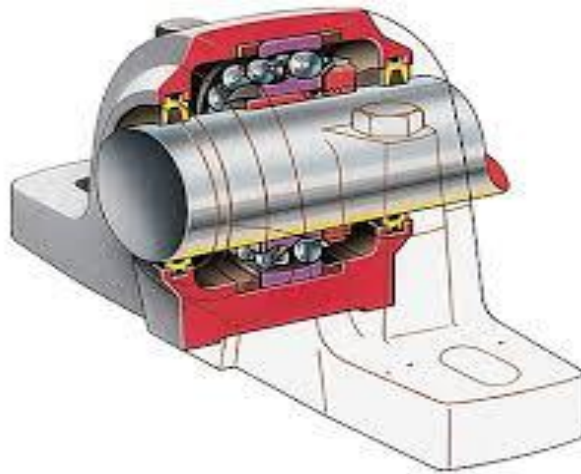


Figure I.3 : Paliers à roulements.

I.1.1.2. Paliers secs

Ces paliers sont généralement constitués d'une matrice (résine, métal, carbone) imprégnée de graphite. Ils sont utilisés sans apport extérieur de lubrifiant. Le frottement à sec est particulièrement dangereux pour les organes qui sont soumis.

Le dégagement de chaleur peut provoquer une amorce de fusion entre les surfaces en contact et aboutir au grippage. Ils ne sont utilisés que pour des systèmes fonctionnant rarement à une vitesse réduite et faible charge, et doivent être envisagés dans toute application où la présence et le maintien du film lubrifiant est impossible (vide spatial, par exemple).

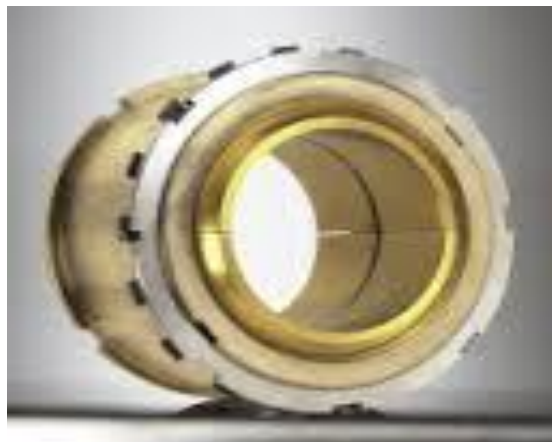


Figure I.4 : Paliers secs.

I.1.1. 3. Paliers poreux

Les paliers à coussinets poreux sont dits auto-lubrifiants car c'est le coussinet imbibé d'huile qui joue le rôle de réservoir de lubrifiant. La couche auto-lubrifiée est constituée par une poudre frittée à haute température (bronze, fer, cuivre).

Ces paliers comportent des pores remplis d'huile avec un volume qui représente de 16 à 36% du volume total. Dans un palier poreux, l'huile circule d'une part dans le jeu, circonférentiellement et axialement, et d'autre part dans le coussinet, la zone de pression élevée vers la zone de basse pression **figure I.5 (a)**.

L'utilisation de ces paliers est limitée par la température de fonctionnement.

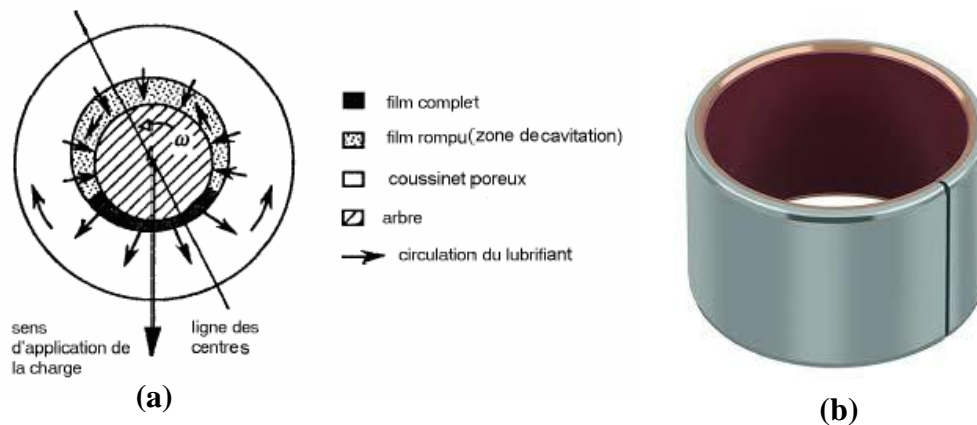


Figure I.5 : Paliers poreux(a) le champ de pression, (b) exemple de paliers poreux.

I.1.1.4. Paliers magnétiques

Les paliers magnétiques permettent de supprimer tout contact entre un arbre et un bâti, d'éliminer les lubrifiants et tous les problèmes de frottement. Ces paliers ont une très grande précision de guidage. Ils peuvent fonctionner dans le vide et sont utilisables dans une large gamme de températures (-200°C à 450°C) avec une dissipation d'énergie mécanique pratiquement nulle.



Figure I.6 : Paliers magnétiques.

I.1.1.5. Paliers et butées fluides

Il existe deux grandes classes de paliers et butées fluides :

- Les paliers et butées hydrodynamiques où la portance résulte de la géométrie du film lubrifiant et de la cinématique des surfaces
- Les paliers et butées hydrostatiques où la portance est principalement due à l'existence d'une source extérieure de fluide sous pression.

a). Paliers et butées hydrodynamiques

Dans ce cas, un fluide visqueux sépare totalement les surfaces en présence. Ce fluide peut être un liquide pratiquement incompressible ou un gaz compressible. La pression dans le film est créée par le déplacement relatif des surfaces et la géométrie du contact.

➤ *Paliers hydrodynamiques*

Les paliers hydrodynamiques sont fréquemment utilisés pour supporter des charges radiales, pour le guidage des rotors de dimensions importantes. Ces paliers sont conçus pour fonctionner dans des conditions sévères (charges et fréquences de rotations élevées). Par conséquent, pour remplir leur fonction dans de parfaites conditions, les paliers hydrodynamiques doivent être soigneusement conçus.



Figure I.7 : Paliers hydrodynamiques.

➤ *Butées hydrodynamiques*

Les butées hydrodynamiques sont utilisées pour supporter des charges axiales et immobiliser en translation les rotors des machines tournantes. L'axe du rotor peut être soit vertical, soit horizontal. Cette position joue un rôle significatif dans la conception de la butée. Pour un rotor horizontal, on utilise généralement une butée à double effet schématisée sur la **Figure I.8 (a)**.

Lorsque la charge axiale a une direction déterminée la contre face est destinée à supporter les inversions transitoires de charge, chaque butée est alors dimensionnée différemment en fonction de son rôle. Pour un rotor vertical, la charge est généralement due au poids et on utilise une butée à simple effet, **Figure I.8 (b)**.

La génération d'une pression hydrodynamique impose l'effet simultané de vitesse et d'espace convergent. Dans le cas de butées le secteur circulaire est en général divisé en un ensemble discontinu de surfaces appelées patins.

Il existe trois tendances pour l'alimentation en fluide lubrifiant :

- Par barbotage : la butée étant immergée dans un bain d'huile.
- Par circulation forcée du fluide.
- Par alimentation sous pression de fluide frais au niveau de chaque patin au travers d'orifices judicieusement situés.

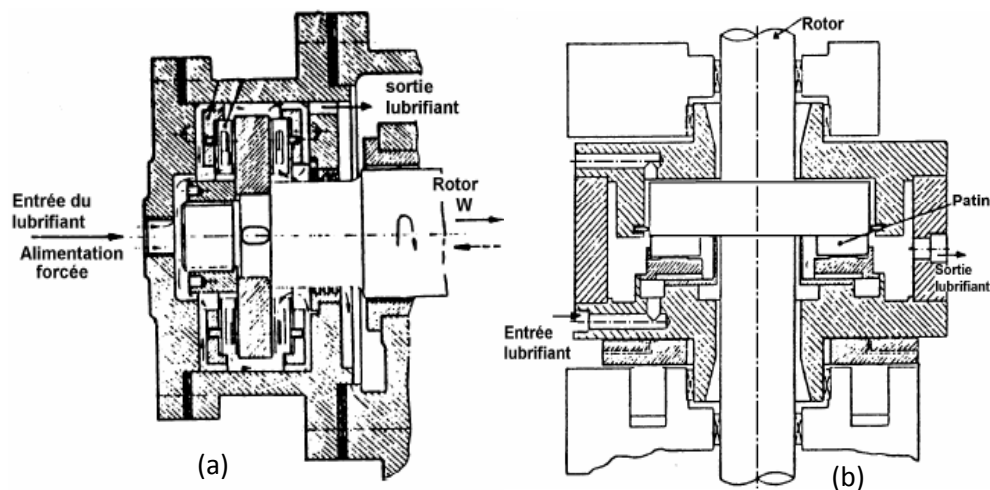


Figure I.8 : Butées hydrodynamiques (a) Butée double effet (b) Butée simple effet [20]

b). Paliers et butées hydrostatiques

Dans les systèmes hydrodynamiques tels que les paliers et les butées, la capacité de charge réside dans la vitesse de glissement de la surface de l'arbre par rapport au coussinet. Dans les paliers hydrostatiques, il en va différemment. La charge résulte d'une pression engendrée par un système extérieur au contact (pompe ou compresseur). Ces paliers sont employés lorsque les conditions cinématiques ne sont pas suffisantes ou stables pour obtenir une portance hydrodynamique (démarrages fréquents, oscillations de l'arbre).

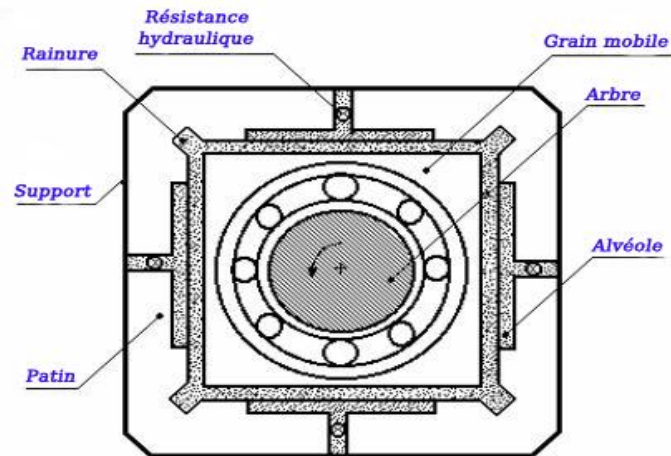


Figure I.9 : Palier hydrostatique à quatre patins[21].

➤ *Principe de la lubrification hydrostatique*

Dans tout dispositif hydrostatique une des surfaces est lisse tandis que l'autre compte une ou plusieurs cavités ou alvéoles reliées à un générateur de pression.

L'introduire du fluide à l'intérieur des alvéoles peut se faire de deux façons différentes :

- **Alimentation à débit constant**

Ce type de lubrification est seulement valable pour les liquides (fluides incompressibles) **Figure I.10.**

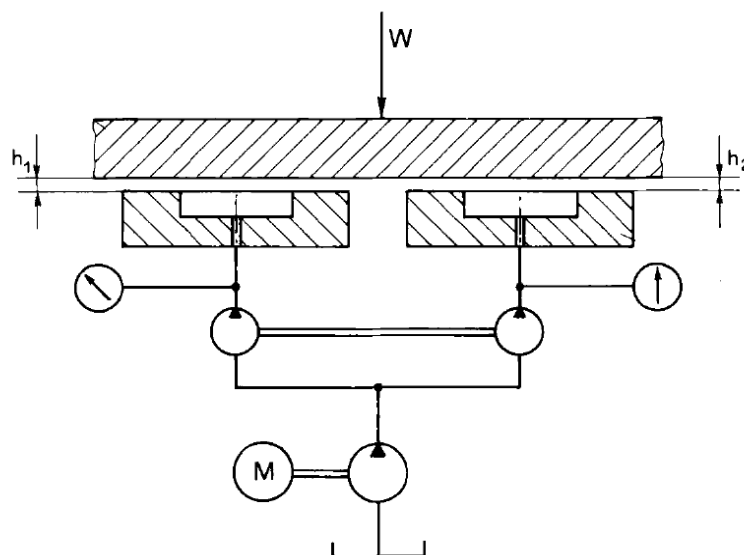


Figure I.10 : Alimentation d'une butée hydrostatique à débit constant [22].

- Alimentation à pression constante

Dans les mécanismes à pression constante, on place une résistance hydraulique (un tube capillaire, par exemple) entre l'alvéole et la source d'alimentation (pompe) **Figure I.11**.

La résistance hydraulique a pour rôle de faire varier le débit en fonction de la chute de pression.

Dans ce mode d'alimentation, une pompe à débit constant est utilisée, lorsque le mécanisme comporte plusieurs alvéoles.

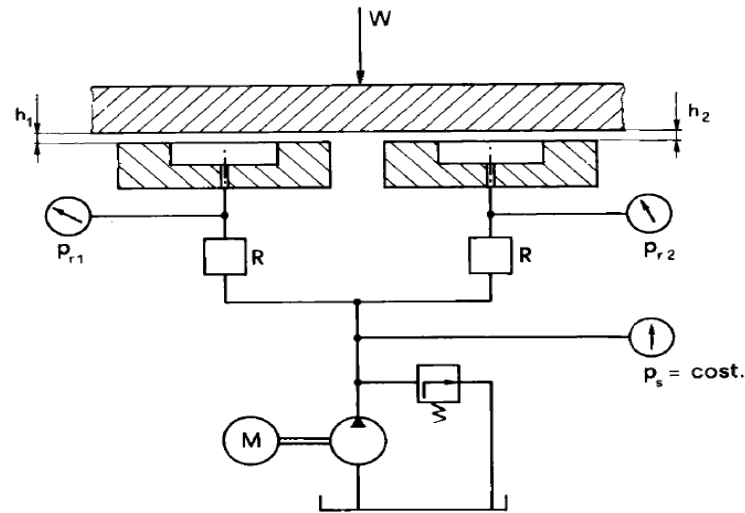


Figure I.11 : Alimentation d'une butée hydrostatique à pression constante [22].

Ces alvéoles peuvent être alimentées soit individuellement par une pompe soit par l'utilisation d'un régulateur à débit constant qui permet de distribuer le fluide à partir d'une seule pompe.

Ce mode d'alimentation est peu utilisé compte tenu du coût et de la complexité de l'installation. L'utilisation de système à pression constante est préférée.

➤ **Principe d'une butée hydrostatique**

Un palier hydrodynamique présente l'inconvénient de ne fonctionner en état de frottement fluide que lorsque la vitesse est suffisamment élevée. Afin de créer le film fluide déjà à l'arrêt, on injecte le lubrifiant sous pression à l'aide d'une pompe dans des poches **Figure I.12** où il crée une pression qui soulève la charge, il s'échappe ensuite par les lèvres des poches. L'espace de fuite se règle automatiquement en fonction de la pression et de la charge appliquées. Il est nécessaire de prévoir des restrictions dans les tuyaux d'amenée du fluide aux poches afin de stabiliser la position de la pièce mobile.

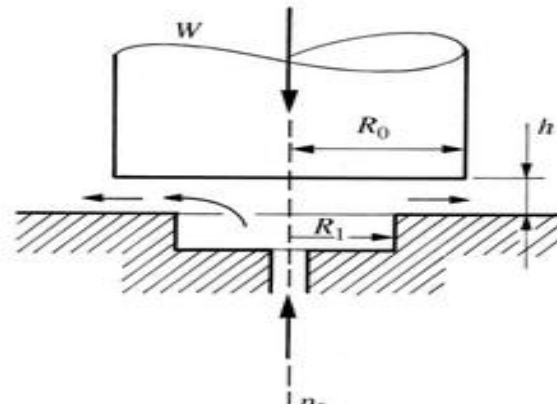
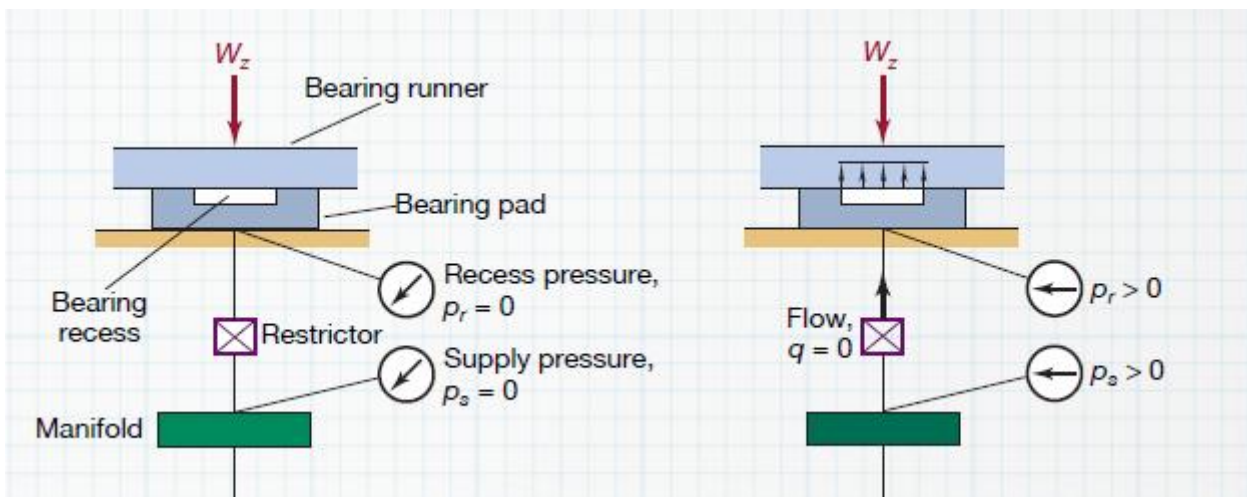


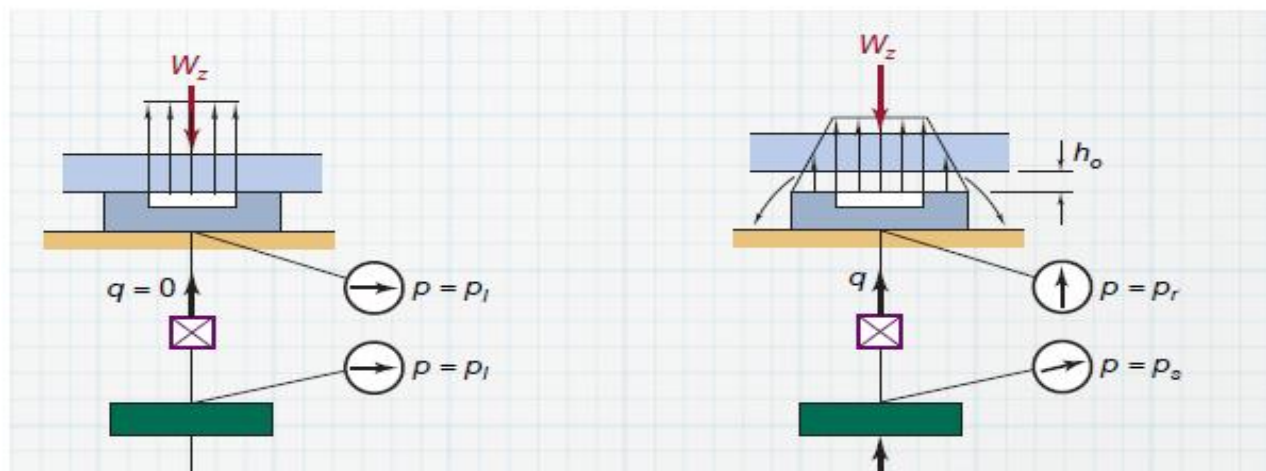
Figure I.12 : Principe d'une butée hydrostatique.

➤ Etapes de fonctionnement



(a)

(b)



(c)

(d)

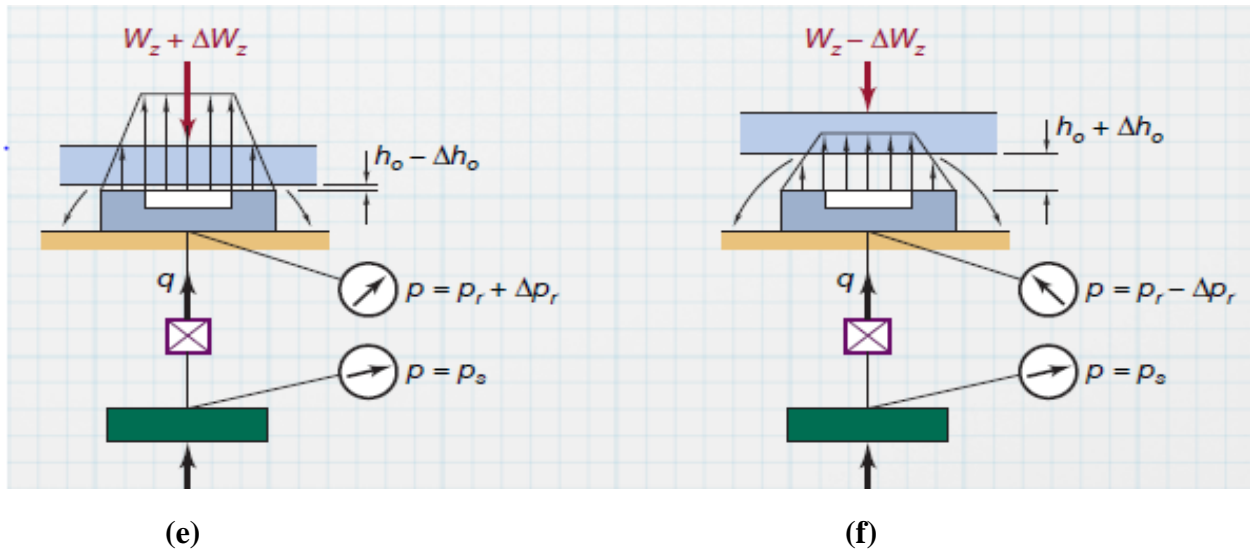


Figure I.13: Opération de fonctionnement d'un palier de butée hydrostatique [23].

➤ Avantages et inconvénients des paliers hydrostatiques

✓ Les avantages

Par rapport aux autres types de support, la différence essentielle est qu'il n'y a jamais de contact entre les deux surfaces puisqu'une pompe extérieure permet l'introduction de liquide sous pression à l'intérieur de la zone de contact et assure donc l'existence permanente d'un film lubrifiant même à vitesse nulle. Cela entraîne les avantages suivants :

- L'absence d'usure.
- Coefficient de frottement très faible.
- Pas de frottement saccadé (stick-slip).
- Une très grande raideur, permettant de conserver un positionnement précis malgré des fluctuations de charge importantes.
- L'inexistence de concentrations de contraintes car, la pression étant sensiblement constante dans l'alvéole, la charge est supportée par une grande surface.
- Les défauts de forme des surfaces en présence ayant moins d'importance qu'en régime hydrodynamique, car la pression dans l'alvéole est fonction du débit global, c'est-à-dire de la distribution d'épaisseur de film et non pas de l'épaisseur en un point.
- Des problèmes thermiques au sein du film lubrifiant très souvent secondaires, car on est en présence d'un écoulement forcé à débit important, ainsi, l'hypothèse d'un régime d'écoulement isotherme est justifiée.

Ces avantages montrent que le domaine d'utilisation des paliers hydrostatiques est très vaste. Citons quelques applications particulières :

- Les télescopes et grandes antennes radars, qui doivent se déplacer très lentement et de façon régulière.
- Les cylindres pour broyeurs de minerai, dans lesquels les températures ambiantes sont très élevées.
- Les machines-outils de précision et les machines de contrôle, où une grande précision de centrage et une grande rigidité sont nécessaires.
- Les turbopompes, utilisées pour véhiculer des fluides cryogéniques à très basse température et animées de grandes vitesses de rotation.
- Les dispositifs de mesure sur machines d'essai, qui nécessitent d'isoler des éléments afin de mesurer précisément les efforts.

✓ **Les inconvénients**

Les inconvénients majeurs des dispositifs hydrostatiques sont leur coût, car ils nécessitent une pompe, des filtres, des régulateurs de pression, etc., et leur fiabilité, car le moindre incident dans le système d'alimentation peut entraîner la destruction des surfaces.

I.2. Position du problème étudié

L'objectif de notre projet étant l'étude de l'influence des paramètres géométriques sur les propriétés physiques et le comportement d'un palier hydrostatique, trois options s'offrent :

- ✓ La formulation analytique, pour les situations idéales et simples basées sur l'équation de Reynolds.
- ✓ La résolution numérique de l'équation de Reynolds, pour les films minces.
- ✓ La résolution numérique de la formulation basée sur les équations de Navier-Stokes, pour les problèmes plus complexes.

Comme déjà cité, la première option n'est possible que pour les situations idéales comme les paliers infiniment longs ou infiniment courts. Elle n'est, en générale, utilisée que pour comprendre des phénomènes isolés ou pour la validation des modèles numériques.

La deuxième option décrit les écoulements des fluides dans des films minces. C'est une formulation puissante est efficace dans la mesure où elle permet de gagner toute une dimension. Néanmoins, son handicap majeur c'est son incapacité de décrire les écoulements dans la direction de l'épaisseur.

La dernière formulation est la plus complète mais aussi la plus difficile à mettre en œuvre. Jusqu'à maintenant aucune solution analytique n'est connue pour la forme générale des équations de Navier-Stokes. La résolution d'un problème régi par ces équations passe obligatoirement par les méthodes numériques : Différences Finies, Volumes Finis, Eléments Finis, Eléments de Frontière...

Parmi les codes de calculs commerciaux qui sont basés sur ces méthodes on peut citer à titre d'exemple : Ansys. Ce dernier est un logiciel multidisciplinaire qui utilise les méthodes des éléments et volumes finis. L'histoire du logiciel remonte aux débuts des années 70, et dès lors il n'a pas cessé d'évoluer. Néanmoins, comme tout produit commercial il a des limites. Les limites du logiciel deviennent claires dès qu'on veut traiter un problème nouveau qui nécessite des modifications importantes sur les paramètres physiques ; par exemple changement de viscosité de ferro-lubrifiants sous effet du champ magnétique. Là, souvent, la réponse est de se retourner vers la programmation de la résolution du problème à la base, ou lancer une recherche de code de calcul dédié, qui sont souvent développés dans des universités ou des laboratoires de recherche ; donc à accès limité.

L'idée astucieuse proposée dans ce travail est de coder la partie nouvelle du problème en un langage de programmation tout en profitant des performances des codes commerciaux tels qu'Ansys.

Ceci est possible grâce à un intermédiaire très puissant qui est la programmation en langages mixtes.

I.3. Langages de programmation

Avant d'aborder le sujet de programmation en langages mixtes, il faut parler de types de langages de programmation. Un calculateur (ordinateur) fonctionne sous signale logique binaire, qu'on appelle le langage machine. Du fait de la quasi-impossibilité de programmer en langage machine, les langages de programmation sont développés. Le rôle d'un langage de programmation est d'avoir une forme proche du langage humain (exemple : `if (i=1)`) et de compiler les instructions en langage machine.

Plus on veut que le langage de programmation ressemble au langage humain plus on s'éloigne du langage machine. Par conséquent, plus d'opérations pendant la compilation.

Sur la base des opérations faites pour la compilation on peut classer les langages de programmation en niveaux :

- ✓ Les langages de programmation de bas niveau, qui sont les plus proches du langage machine, donc les plus rapides à exécuter ; exemple : Assembleur

- ✓ Les langages de programmation de niveau intermédiaire sont le meilleur compromis entre facilité d'utilisation et rapidité d'exécution ; exemples : FORTRAN, C, ...
- ✓ Les langages de programmation de haut niveau, qui offrent des fonctions nécessitant beaucoup de travail en utilisant des langages de la catégorie précédente ; exemple : Delphi, Visual basic, ...
- ✓ En fin, les interpréteurs, considérés souvent comme des logiciels du fait de leur niveau très loin du langage machine, exemple : Matlab, Python...

Le choix d'un langage de programmation est dicté par le type de problème traité. Si le problème nécessite de longs calculs avec une gestion efficace de la mémoire le choix doit pencher vers le niveau bas. Si le problème est beaucoup plus orienté vers l'aspect visuel comme la visualisation des données ou la conception d'interface d'utilisateur graphique le choix doit basculer vers le haut niveau.

Conçu dans les débuts des années 50 et toujours sous-développement, FORTRAN est toujours le choix préféré des spécialistes en calculs scientifiques et ingénierie.

Mais si on veut développer une application qui fait des calculs lourds avec une interface utilisateur agréable et des options de visualisation de données riches ?

C'est là qu'intervient la programmation en langages mixte pour éviter tout compromis.

I.3.1. Principe de la Programmation en langages mixtes

En générale, pour mixer deux langages de programmation il faut faire le choix : lequel est « Exploitant » et lequel est « Exploité » ? Par exemple, pour l'intégration d'un programme écrit en FORTRAN dans un autre écrit en Visual Basic, la configuration la plus utilisée est celle qui considère le programme FORTRAN comme programme Exploité ou esclave, et celui du Visual Basic comme exploitant ou maître.

Le logiciel Ansys lui-même fonctionne sous le même principe. Son noyau de calcul est écrit en FORTRAN, la majorité de ses modules en langage Visual C et l'interface principale appelée Workbench en Python.

Pour faire communiquer un programme écrit en FORTRAN avec le logiciel Ansys on dispose de deux possibilités :

- Par fichier DLL
- Par module pour Python.

Le digramme en dessous explique ce principe de communication.

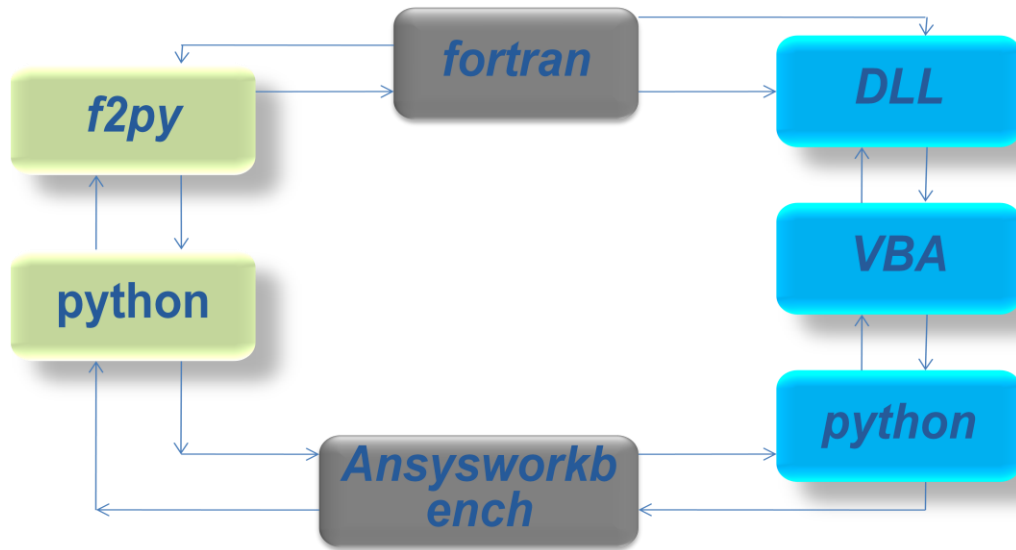


Figure I.14 : Principe de la Programmation en langages mixtes pour la communication avec Ansys.

I.3.2. Fichiers DLL

Les fichiers DLL (Dynamic Link Library) ou « bibliothèque de liens dynamiques » sont des fichiers ayant l'extension « .dll ». Ils contiennent des sous-routines (et/ou des fonctions) et un protocole de communication. Ils peuvent être exploités par des d'autres langages de programmation en fournissant leur chemin et les entrées de calculs. Comme par exemple : le Python, VB et le VBA. Il a tendance à faciliter la vie du développeur.

I.3.3. Langage Python

Python est un langage qui peut s'utiliser dans de nombreux contextes et s'adapter à tout type d'utilisation grâce à des bibliothèques (**Module**) spécialisées. Il est cependant particulièrement utilisé comme langage de script pour automatiser des tâches simples mais fastidieuses. Il est particulièrement répandu dans le monde scientifique, et possède de nombreuses extensions destinées aux applications numériques.

I.3.4. Module F2PY

Python possède un grand nombre de modules pour le calcul scientifique. Il est néanmoins trop lent pour les tâches numériques intensives. Dans ce cas on peut l'interfacier avec C ou Fortran. Cette technique est basée sur un convertisseur de module appelé le F2PY, le but de ce dernier est de fournir une connexion entre Python et langage Fortran ou C. On peut citer quelques fonctionnalités de F2PY :

- Gère tous les types de programme Fortran : fixe ou libre
- Fonctionne avec le F77, le F90 et également des fonctions C.
- Gère les blocs « COMMON » du F77, les modules du F90 ainsi que les tableaux alloués dynamiquement.
- Permet d'appeler des fonctions Python depuis le langage C ou du Fortran.
- Gère les différences de manière de stockage mémoire du langage C et FORTRAN.

I.4 Conclusion

Ce premier chapitre portant sur la recherche bibliographique nous a permis d'exposer l'état de l'art de la modélisation des problèmes de lubrification en générale et la lubrification hydrostatique en particulier. Les différentes formulations mathématiques sont aussi exposées ainsi que les options informatiques de leurs résolutions. Après avoir mis en évidence les handicaps et limitations de chaque option une nouvelle stratégie informatique est exposée. Elle consiste en l'intégration d'un code de calcul écrit en langage de programmation FORTRAN avec un programme de définition de problème de mécanique de fluide sous le logiciel multidisciplinaire Ansys (précisément Ansys-CFX) écrit en langage Python. Le control et la communication entre les deux programmes cités sont assurés par un troisième programme écrit en langage Visual Basic Application. L'intégration d'autant de langage de programmation est possible grâce à l'art de la programmation en langage mixte.

Dans le chapitre suivant, on va d'abord valider le modèle numérique 3D d'une butée hydrostatique en comparant ses résultats avec ceux obtenus analytiquement pour des configurations idéales. Le modèle validé servira ensuite à l'étude des caractéristiques statiques et dynamiques des différentes configurations géométriques où la solution analytique est impossible à obtenir.