

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Installations énergétiques et turbomachines

Par :

REKKAS Lyazid

ACHOUR Adel

Thème

SIMULATION D'UN ECOULEMENT INCIDENT SUR UN DISQUE TOURNANT

Soutenu le 07/10/ 2021 devant le jury composé de:

Mr. DJAMA Amar

Président

Mr. NAIT BOUDA Faïçal

Rapporteur

Mr. ALLOUCHE Moussa

Examineur

Année Universitaire 2020-2021

Remerciement

Nous remercions d'abord «Dieu » le tout puissant qui nous a aidé et donné le Courage, la patience et la santé au cours de notre travail, c'est grâce à lui qu'on a fait ce travail malgré tous les obstacles. Nous tenons à remercier fortement nos chers parents qui sont toujours à nos côtés.

*Nous devons également remercier notre encadreur **Mr NAIT BODA Faiçal**, qui a contribué à l'élaboration de ce modeste travail, avec ses conseils et ses critiques et sa disponibilité qui nous ont permis d'évoluer nos connaissances acquises et de les approfondir.*

Nous adressons aussi nos remerciements les plus sincères aux membres du jury, Pour avoir accepté de juger et d'examiner notre travail.

Nous remercions aussi tous nos enseignants pour leurs efforts ainsi que les Responsables pédagogiques. Enfin nous remercions tous nos amis

A vous tous on vous dit :

« MERCI ».

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en premier lieu à mes très chers parent en témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation ainsi que ma formation.

Je le dédie également à:

A mes chers frères et chers sœurs

A ma chère grand-mère et à la mémoire de mon cher grand père,

A l'ensemble de mes ami(e) s,

A mon binôme ADEL,

A tous ceux qui ont une relation de prés ou de loin avec la réalisation du présent mémoire, je vous dis :

« MERCI ».

REKKAS Lyazid

Dédicaces

A mes parents qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

*A ma fiancée qui m'a soutenue tout au long de ce projet, et bien sûr à mes frères,
et sans oublier mes grands parents.*

A toute ma famille, et mes amis,

A mon binôme LYAZID.

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit
possible, je vous dis :*

« MERCI ».

ACHOUR Adel.

Sommaire

Remerciement	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iii
Listes des figures	iv
NOMENCLATURE	v
Introduction Générale	1
Chapitre I : [Généralités et Synthèse bibliographique]	2
I.1. Écoulement entraîné par le disque tournant	2
I.2. Équations régissant le mouvement du fluide :	3
I.3. Paramètres du problème:	3
I.4. Écoulement laminaire	4
Synthèse bibliographique.....	5
Chapitre II : [Présentation du problème & formulation Mathématique et numérique]	13
II.1. Introduction.....	13
II.2. position du problème :	13
II.3. Équations générales du mouvement :	14
II.3.1. Conservation de masse :	14
II.3.2. Conservation de quantité de mouvement :	14
II.4. Hypothèses simplificatrices :	14
II.4.1. Équation de continuité :	15
II.4.2. Équations de quantité de mouvement (de Navier Stokes) :	15
II.4.3. Conditions aux limites	15
II.5. Procédure numérique :	16
II.6. Logiciel Ansys Fluent :	16
II.7. Construction de la géométrie :	17
II.8. Le maillage :	18
II.9. Solver fluent « Configuration » :	19
II.10. Procédure numérique :	20
II.11. Conclusion	21

Chapitre III : [Résultats et discussions]	23
III.1. Introduction	23
III.1.1. Propriété de fluide utilisé pour notre étude :.....	23
III.2. Écoulement incident sur un disque fixe :.....	23
III.3. Écoulement incident sur un disque tournant :.....	30
III.4. Comparaison des vitesses axial et radiale entre un disque fixe et tournant a une vitesse d'entrer $W_e = 0.1$ m/s.	40
III.5. Commentaires :.....	42
III.5.1.Distribution de la vitesse:	42
III.5.2.Variation de la vitesse :	42
III.5.2.1.Pour un disque fixe :.....	42
III.5.2.2.Pour un disque tournant :.....	43
III.5.3. Comparaison des vitesses axiale et radiale entre les deux disques fixes et tournants à $W_e = 0.1$ m/s :.....	43
III.6. Conclusion.....	43
Conclusion générale	45
Références Bibliographiques	46
Résumé :	48

Liste des figures

Figure I.1 : Écoulement sur un disque tournant de rayon infini.....	2
Figure I.2 : Géométrie de problème [18].....	8
Figure I.3 : Dispositif expérimental. $R = 140$ mm et h est ajustable entre 3 et 16 mm. [11].	9
Figure I.4 : Perspective tridimensionnelle des valeurs paramétriques successive, nombres de Reynolds Re et le rapport d'aspect γ (2750,1.58) ;(2800, 2.90) ;(2150,3.5) [25].....	10
Figure I.5 : Dispositif expérimental utilisé dans la référence [28].....	11
Figure II.1 : Géométrie du problème disque fixe.	13
Figure II.2 : Logiciel ANSYS fluent.	17
Figure II.3 : Géométrie du problème représenté sur logiciel Ansys fluent.....	17
Figure II.4 Détail du maillage utilisé.....	18
Figure II.5 : Sélections nommées.	19
Figure II.6 : Choix de l'écoulement axisymétrique.....	20
Figure II.7 : Choix des conditions aux limites pour un disque fixe.....	20
Figure II.8 : Choix des conditions aux limites pour un disque tournant.....	21
Figure III.1 : distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $V=0.05$ m/s.....	24
Figure III.2 : distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $V=0.05$ m/s.	24
Figure III.3 : variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.....	25
Figure III.4 : variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.....	25
Figure III.5 : variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.	26
Figure III.6 : variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.	26

Figure III.7 : distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $V=0.1\text{m/s}$	27
Figure III.8 : distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $V=0.1\text{ m/s}$	27
Figure III.9 : variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.....	28
Figure III.10 : variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.	28
Figure III.11 : variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.	29
Figure III.12 : variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.	29
Figure III.13 : Distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.	30
Figure III.14 : distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.	30
Figure III.15 : Distribution de la vitesse tangentielle pour un écoulement incident sur un disque tournant.	31
Figure III.16 : variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.....	32
Figure III.17 : variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.....	32
Figure III.18 : variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.....	33
Figure III.19 : variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.	33
Figure III.20 : variation de la vitesse tangentielle en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.	34
Figure III.21 : Variation de la vitesse tangentielle critique en fonction de la rotation de disque tournant avec une vitesse de 1 rad /s	34

Figure III.22 : Distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.	35
Figure III.23 : Distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.	35
Figure III.24 : Distribution de la vitesse tangentielle pour un écoulement incident sur un disque tournant.	36
Figure III.25 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.	37
Figure III.26 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.	37
Figure III.27 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.	38
Figure III.28 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.	38
Figure III.29 : Variation de la vitesse tangentielle en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.	39
Figure III.30 : Variation de la vitesse tangentielle critique en fonction de la rotation de disque tournant avec une vitesse de 1 rad /s.	30

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
H	: Hauteur de cylindre	m
R	: RAYON	m
P	: Pression	Pa
Re	: Nombre de Reynolds $Re = \frac{\Omega R^2}{\nu}$	-
W_e	: Vitesse d'entrer	m/s
V_T	: Vitesse tangentielle	m/s
Symboles grecs		
μ	: Viscosité dynamique	Kg /m.s
Ω	: La vitesse de rotation	rad/s
ρ	: Masse volumique	Kg /m ³
ν	: Viscosité cinématique	m ² /s

[Introduction Générale]

Introduction Générale

Le problème d'écoulements au-dessus d'un disque, à fait l'objet d'un intérêt constant de la part de la communauté scientifique depuis les travaux de Von Karman (1921) qui étudia l'écoulement laminaire au dessus d'un disque tournant de rayon infini dans un fluide initialement au repos. On rencontre ce type d'écoulements dans les domaines industriels tels que la thermique (échangeurs de chaleur) ; le génie chimique (cellule d'électrolyse) ; le génie mécanique (pompes, ventilateurs). La plupart de ces études théoriques menées par Rogers et al (1960), Cochran (1934), Bodewat (1940) ou Batchelor (1951) décrivant ce problème suppose la dimension radiale des deux disques infinie alors qu'en pratique ils ont toujours un rayon fini.

Ce problème de stabilité des écoulements tournants est très délicat, du fait de deux effets antagonistes : (1) Un effet stabilisant, lié à une décroissance des perturbations selon la direction de l'axe de rotation ; ainsi la rotation tend à bidimensionnaliser l'écoulement. (2) Des effets déstabilisants, liés à un déséquilibre des forces centrifuges, à cause par exemple du frottement aux parois, on parle alors d'instabilités centrifuges. Ces difficultés rendent quasiment impossible une recherche de solutions exactes. Dans ce contexte, les expériences ou les simulations numériques s'avèrent indispensables pour étudier l'influence des caractéristiques physiques et géométriques sur les différentes contraintes hydrodynamiques, thermiques et mécaniques qu'ils supporteront. La stabilité des écoulements tournants, en s'appuyant sur une analyse en termes de mécanismes physiques élémentaires. Ce domaine de recherche est particulièrement actif en monde, tant du point de vue numérique qu'expérimental.

L'intérêt est d'abord théorique pour des géométries infinies, des solutions exactes en similitude des équations de Navier-Stokes peuvent être obtenues pour un écoulement de base laminaire, axisymétrique et stationnaire. Les écoulements se sont ensuite devenus complexes : écoulement entre deux disques parallèles infinis, géométries finies, turbulence, flux imposé.

Dans le présent travail nous avons fixé l'objectif de traiter le cas on s'intéresse aux écoulements incidents sur un disque axisymétrique d'un fluide newtonien, premièrement on va étudier un écoulement incident sur un disque fixe, ensuite on va étudier l'écoulement

incident sur un disque tournant (disque en rotation). En examinant l'aspect théorique à travers la présentation des équations de base (équation de conservation de la masse ou équations de continuité et équations de conservation de quantité de mouvements ou équations dynamiques), et les hypothèses de base.

Pour schématiser notre problème et atteindre les différents objectifs, nous avons organisé notre travail selon le plan suivant :

- ✚ Le premier chapitre nous avons présenté les généralités et les synthèses bibliographiques sur les écoulements incidents sur un disque tournant et les équations qui régissent le mouvement de fluide sous une forme générale.
- ✚ Le deuxième chapitre concerne le positionnement du problème à étudier, et le développement des équations qui nous conduiront à résoudre notre problème. Ainsi que le choix de la méthode de la résolution et son application qui se termine par la procédure numérique suivie sous le logiciel Ansys fluent.
- ✚ Le troisième chapitre est consacré à la présentation des différents résultats obtenus par la simulation numérique, et pour finir on termine notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

**[Généralités et Synthèse
bibliographique]**

Généralités et Synthèse bibliographique

I.1. Écoulement entraîné par le disque tournant

L'écoulement entraîné par un disque tournant (D) de rayon R est caractérisé par sa vitesses de rotation (Ω), voir Fig.1.1. La rotation de disque joue un rôle important comme moteur de l'écoulement.

Pour étudier ce genre d'écoulement en distingue deux écoulements :

Écoulement incident sur un disque fixe sur un plan (2D) qui se caractérise par sont rayon R et ($\Omega = 0$).

Écoulement incident sur un disque tournant sur un plan (3D) qui se caractérise par sont rayon R et ($\Omega \neq 0$).

Ce type d'écoulement (problèmes) est généralement axisymétrique, l'axe de symétrie étant l'axe z dans un repère cylindrique (r, θ, z).

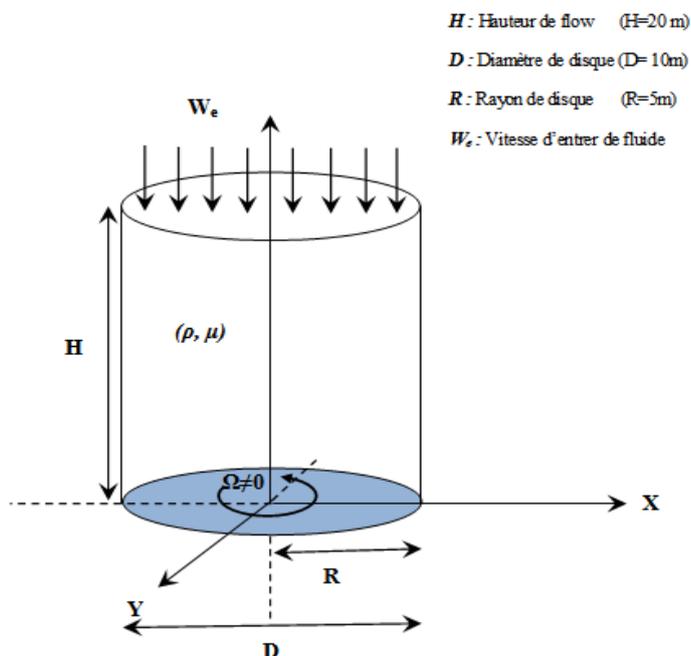


Figure I.1 : Écoulement sur un disque tournant de rayon infini.

I.2. Équations régissant le mouvement du fluide :

Dans la suite on cherche à décrire le mouvement d'une particule fluide repérée par ses coordonnées cylindriques (r, θ, z) .

La dynamique est décrite par les équations de Navier-Stokes qui, compte tenu des hypothèses d'incompressibilité et d'axisymétrie, s'écrivent de la façon suivante :

$$\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{U}{r} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + V \nabla U - \frac{V^2}{r} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} = \nu (\Delta U - \frac{U}{r^2}) \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \nabla V + \frac{UV}{r} = \nu (\Delta V - \frac{V}{r^2}) \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + V \nabla W + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = \nu \Delta W \quad (1.4)$$

Ou

$$\vec{V} \nabla = U \frac{\partial}{\partial r} + W \frac{\partial}{\partial z} \quad (1.5)$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (1.6)$$

Avec

ρ : La masse volumique.

ν : La viscosité cinématique du fluide.

(U, V, W) : les composantes radiale, tangentielle et axiale de la vitesse.

P : La pression.

I.3. Paramètres du problème:

On considère le domaine fluide D compris incident sur un disque (D) de rayon R, espacés d'une distance H.

Dans le cas de disques animés d'un mouvement de rotation différentielle caractérisé par les vitesses angulaire ($\Omega \neq 0$).

L'écoulement dépend de cinq grandeurs physiques caractéristiques : $(R, H, \Omega, \rho, \mu)$ qui se réduisent à trois paramètres :

- Le nombre de Reynolds R_e avec
$$R_e = \frac{\Omega R^2}{\nu} .$$

- Le rapport de forme a avec $a = \frac{H}{R} .$

I.4. Écoulement laminaire

On dit qu'un écoulement est laminaire lorsque le mouvement des particules fluides se fait de façon régulière et ordonnée. Ce type d'écoulement apparaît lorsque le nombre de Reynolds est faible ($R_e < 2000$) est lignes de courant sont stationnaires.

Pour des faibles vitesses, ce régime d'écoulement est le plus adapté à la simulation.

$$R_e = \frac{\Omega R^2}{\nu}$$

Synthèse bibliographique

[Walfrid Ekman.1905] [1], Dans l'année 1905 par le physicien suédois Walfrid Ekman [1], qui y vit l'influence de la force de Coriolis. En effet, pour un observateur lié à la Terre en rotation, un mouvement rectiligne apparaîtra comme une trajectoire courbée, déviée vers la droite dans l'hémisphère Nord. Ainsi le vent, en entraînant les masses d'eau sur une certaine profondeur, d'une centaine de mètres environ, leur imprime une déviation vers la droite : c'est là l'origine des grandes circulations océaniques.

En revanche, lorsque le disque ou le fluide ne s'étendent pas à l'infini, d'autres échelles de longueur peuvent intervenir, comme le rayon de cylindre par exemple, ou encore la hauteur de fluide. Si l'on suppose la situation la plus simple où le volume fini du fluide est confiné entre deux disques tournants (le disque supérieur pouvant jouer le rôle de la surface libre du fluide), on peut supposer en toute généralité l'existence de deux couches limites, centrifuge au voisinage du disque le plus rapide et centripète près du plus lent. De ce problème apparemment simple, aucune solution analytique n'est pourtant connue, tant les équations du mouvement sans hypothèse de similitude, même en régime stationnaire, s'avèrent compliquées.

[Von Karman] [2], Au début des solutions analytiques ont été proposé par le théoricien comme Von Karman [2], par application de la transformation de similitude, les équations partielles sont décomposées en système d'équations ordinaires pour quatre inconnus. Ce problème a d'ailleurs donné lieu à une célèbre controverse de l'histoire de la mécanique des fluides.

[Keith Stewartson] [3], défendait une solution à couche limite unique. Ce n'est que plus tard que fut montré que toute une classe de solutions, incluant celles de Batchelor et Stewartson , pouvait coexister dans cet écoulement. Les solutions analytiques dérivées par ces deux auteurs montrent le comportement qualitativement différent à la limite pour des nombres de Reynolds élevés pour Wijngaarden. Le résultat apparaissons contradictoire déduit de la solution de similitude de von Karman a mené Zandbergen & Dijkstra à faire d'autres études en changeant les paramètres de contrôle.

Dans une installation plus réaliste des conditions aux limites, c.-à-d., les écoulements sur les disques finis, Delgado a déterminé l'importance des conditions aux limites de la paroi latérale sur la nature de l'écoulement intérieur. Pour les écoulements dans le récipient cylindrique avec le disque supérieur tournant et le fond en Co-/contre rotation, Jaluria [8] a observé que la distribution de vitesse est semblable aux types de Batchelor et de Stewartson avec des paramètres choisie.

[Vogel] [4] a déterminé une courbe montrant les limites dans les quelles l'éclatement tourbillonnaire (vortex breakdown en anglais) apparaîtra dans une configuration de base fut constituée d'un cylindre droit contenant le fluide, avec un disque de fond tournant, c'étaient les limites de stabilité dans le plant ($H/R, Re = \Omega R^2/\nu$) où R est le rayon du cylindrique, H sa hauteur et Re le nombre de Reynolds rotationnel.

[Ronnenberg. 1977][5] avait rapporté des mesures de la structure entière du fluide avec $H/R=1.59, \Omega R^2/\nu =1.58$, ce qui correspond avec un état de vortex breakdown révélé dans les expériences de Vogel en confirmant les conclusions de ce dernier, et en démontrant quantitativement qu'un phénomène de pompage d'Ekman avait lieu, en presque accord avec l'analyse de Von Karman de l'écoulement de fluide en contact avec un disque tournant infini. Le disque tournant exerce sur le fluide une force d'attraction le long de la région centrale et en le dirigeant radialement vers l'extérieur dans une couche limite d'épaisseur ($1/\sqrt{Re}$) dite, "couche d'Ekman". Près de la paroi latérale de cylindre, le fluide tourne et suit des spirales en se dirigeant vers l'autre extrémité du cylindre, en dehors des zones pariétales (loin des parois) générera un équilibre entre les forces centrifuges et le gradient radial de pression, et a comme conséquence la présence d'un écoulement secondaire qui est la recirculation méridienne.

[Escudier .1984] [6] en 1984 a utilisé la technique dite Laser-induced fluorescence (fluorescence induite par laser) pour visualiser l'écoulement tourbillonnaire d'un fluide (glycérine/eau) occupant toute le volume d'une enceinte cylindrique avec un fond tournant ,il a découvert le comportement de l'écoulement avec une , deux, et trois bulles du vortex breakdown et établissait un diagramme de stabilité (rapport d'aspect du cylindre H/R et le nombre de Reynolds en rotation $\Omega R^2/\nu$.

Les limites du nombre de Reynolds au delà desquelles l'écoulement est oscillatoire et même pour les grands nombres de Reynolds, où le vortex breakdown peut se manifester avec une, deux ou trois bulles stationnaires successivement. Une autre observation qu'apportait les expériences d'Escudier est la perte négligeable de la symétrie axiale au sein de l'écoulement permanent, ce qui justifier notre hypothèse de l'axisymétrie de l'écoulement en question.

[Stevens et al]. [7] Pour mettre en évidence des états oscillatoires qui existent dans le fluide d'un écoulement confiné dans un cylindre de rapport d'aspect $\gamma = 2.5$, un travail expérimental et numérique mené par Stevens et al. Ont identifié trois états oscillants, deux d'entre eux sont périodiques et le troisième et quasi-périodique avec une fréquence de modulation beaucoup plus petit que la fréquence de base. La gamme des nombres de Reynolds pour lesquels l'écoulement est quasi-périodique existe entre les deux états périodiques. L'analyse harmonique des signaux temporels expérimentaux et numériques par la densité de spectre d'énergie (Power Spectrum Density) fournissait les descriptions quantitatives des états déjà mentionnés et leurs périodes adimensionnelles d'oscillations $\tau = \Omega T_{cyc}$. (T_{cyc} est le temps en secondes nécessaire pour un cycle complet) en terme de la vitesse angulaire de rotation Ω .

[Xue et al]. [8] ont utilisé la méthode de volume fini pour simuler l'écoulement viscoélastique tridimensionnelle. Confiné dans un cylindre avec le fond tournant rempli avec Polyacrylamide de base viscosité (PPA) (Fig. I-3).ils ont comparé leur investigation numérique avec des résultats expérimentaux, les même résultats ont été observés pour le développement reproduits pour les écoulements Newtoniens. Ils ont étudié aussi l'influence de l'élasticité sur les processus vortex breakdown. Confirmant numériquement que le domaine d'existence de vortex breakdown se produit sensiblement plus grand que dans les fluides Newtoniens à cause de la force centrifuge qui le mènent à l'écoulement tourbillonnaire en fluides Newtoniens et équilibrée par les efforts normaux en fluides élastique. En conséquence, l'écoulement tourbillonnaire sera sensiblement retardé ou même supprimée avec l'augmentation d'élasticité

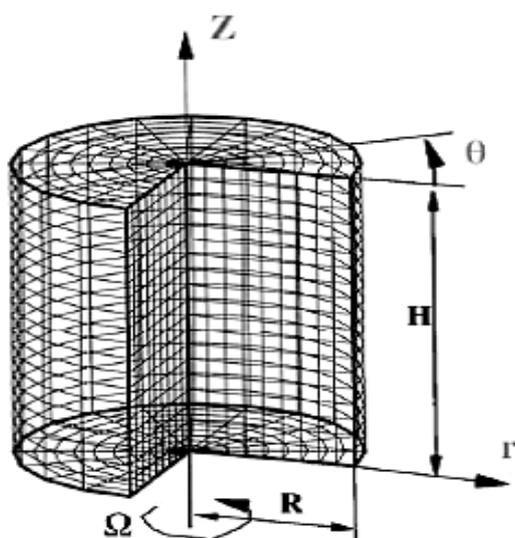


Figure I.2 : Géométrie de problème [8]

[Sotiropoulos et Ventikos] [9] ont étudié numériquement l'écoulement du fluide contenu dans une enceinte cylindrique. Ils ont utilisé la méthode des volumes finis avec un schéma de second ordre pour tous les termes, en résolvant les équations de Navier-Stokes transitoires, tridimensionnelles, ils avaient expliqué l'origine de ces asymétries, clarifié les mécanismes de remplissage et de vidange à l'intérieur des bulles stationnaires du vortex breakdown, et aussi montré que les particules au sein de ces bulles stationnaires exposent des trajectoires chaotiques.

[Mullin et al]. [10], Pour contrôler ce type d'écoulement dans les applications industrielles, Mullin et al. annonçaient les résultats d'une étude expérimentale et numérique de la création de points de stagnation du champ d'écoulement tournant de fluide dans un cylindre à extrémité en rotation, et ils ont montré que le fait d'ajouter un petit cylindre le long de l'axe de l'écoulement ou incliner sa paroi latérale (petit cylindre à l'intérieur), peut intensifier ou supprimer la recirculation.

[Gauthier et al]. [11] ont étudié expérimentalement l'écoulement entre deux disques parallèles proches enfermés par un cylindre et tournant indépendamment l'un de l'autre (Fig. I-4). Cet écoulement est très instable et fait apparaître une grande richesse de structures. Ils ont présenté un diagramme dans le plan (Re_h, Re_b) des différentes structures rencontrées.

Ils ont observé que si l'écoulement en Co-rotation est similaire à l'écoulement rotor-stator et l'écoulement en Contre-rotation présente de nouvelles structures.

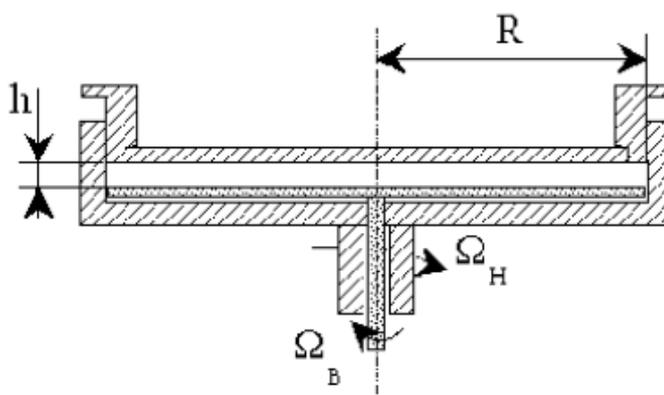


Figure I.3 : Dispositif expérimental. $R = 140$ mm et h est ajustable entre 3 et 16 mm. [11].

[Thompson et Hourigan]. [12] Dans le cadre de contrôler la physique de l'écoulement, Thompson et Hourigan ont dirigé une étude numérique pour expliquer les observations expérimentales récentes employant des techniques visualisations par traceur, puis ont proposé que même pour les écoulements de faibles nombres de Reynolds, la bulle stable du vortex breakdown dans le cylindre tournant ait une asymétrie, ainsi l'effet des imperfections dans la géométrie du conteneur est examiné numériquement, et particulièrement la détermination quantitative de l'effet d'un mauvais alignement très léger entre l'axe de rotation du disque tournant et l'axe du cylindre. Ils ont montré que des mauvais alignements même légers (non mesurables expérimentalement) peuvent produire les détails principalement visibles des bulles de vortex breakdown asymétriques, qui ont été observés dans plusieurs expériences.

[Mununga et al]. [13] Alors d'autres études dans le même cadre de contrôler l'écoulement mené par Mununga et al. avaient présenté expérimentalement une méthode non-intrusive de contrôle de l'écoulement avec un petit disque ($r=0.15R$) en rotation monté en bas en face du couvercle tournant dans l'enceinte cylindrique afin de précipiter ou retarder le début du vortex breakdown (en co-rotation ou contre-rotation), car la co-rotation augmente les dimensions radiales et axiales de la bulle en la décalant vers l'amont, la contre-rotation a tendance de

réduire la taille de la bulle, ou la supprimer complètement et la dirigeant vers la direction aval. Cette solution a aussi montré que l'emploi de petit disque en co-rotation est plus efficace que l'utilisation de fond tournant dans la manipulation de la bulle du vortex breakdown.

[Pivaa et Meiburg]. [14] ont simulé le mouvement stable d'un fluide visqueux dans un conteneur cylindrique avec un disque de fond partiellement tournant et une surface libre au moyen de la résolution des équations de Navier-stokes axisymétriques, l'écoulement méridien est dominé par un vortex au-dessus du disque en rotation et un autre contre-tournant au-dessus de la partie stationnaire du fond. Ces simulations étaient conduites pour divers rapports d'aspect (H/R_d) et des nombres de Reynolds, pour évaluer les changements résultants des configurations du vortex breakdown, et puisque le rapport du rayon du cylindre au disque ($D= R_c/R_d$) augmente au-dessus d'une valeur d'environ (2.3), l'influence de la paroi latérale de cylindre sur les particularités du l'écoulement central au voisinage du disque tournant devient insignifiante. Cela est du à la décroissance exponentielle de la vitesse azimutale au-delà du bord du disque.

[Lopez et al]. [15] ont utilisé la méthode spectral-Galerkin pour résoudre les équations de Navier-Stokes tridimensionnelles d'un écoulement incompressible dans une enceinte cylindrique avec un fond tournant (Fig. I-3). Ils ont avec succès appliqué un code numérique ou ils ont obtenu plusieurs états tridimensionnels bifurqués, avec un comportement spatial et temporel complexe, en bon accord avec les expériences



Figure I.4 : Perspective tridimensionnelle des valeurs paramétriques successive, nombres de Reynolds Re et le rapport d'aspect γ (2750,1.58) ;(2800, 2.90) ;(2150,3.5) [15]

[Moisy et al]. [16] Afin d'étudier les instabilités de l'écoulement entre deux disques tournants, Moisy et al. ont mis au point au laboratoire le dispositif expérimental représenté en (Fig. I-4). Il est constitué de deux disques en vis-à-vis, chacun de rayon $R=14$ cm et distants d'une épaisseur h pouvant varier entre quelques mm et 3 cm environ. Le disque supérieur constitue le couvercle d'un récipient cylindrique tourné indépendamment du disque inférieur. Ce disque supérieur est en verre, ce qu'ils permettent de visualiser l'écoulement par le dessus. La visualisation est rendue possible en ensemençant l'eau de petites paillettes microscopiques. En suivant l'écoulement, les paillettes s'orientent selon la structure du champ de vitesse, et donnent lieu à des variations de l'intensité de la lumière réfléchi. Ainsi, sur les visualisations présentées dans les figures obtenues, les zones claires correspondent à des paillettes majoritairement horizontales, tandis que les zones sombres à des paillettes plutôt verticales. Leur dispositif expérimental a permis, outre une étude détaillée des instabilités de couche limite (qui avaient déjà pu être observées expérimentalement et numériquement), de mettre en évidence un nouveau type d'instabilité, les spirales négatives, présentent uniquement en configuration contre-rotation. Motivés par ces récentes observations expérimentales, des travaux numériques sont venus récemment confirmer leur existence.

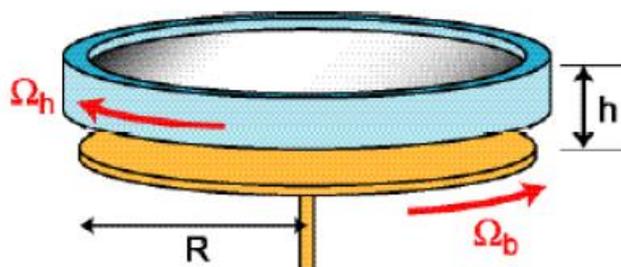


Figure I.5 : Dispositif expérimental utilisé dans la référence [16].

[Batchelor. , 1951]. [17] : à étudié deux nouveaux types d'écoulements. Le premier est constitué d'un disque tournant dans un fluide extérieur en rotation où la vitesse de fluide est inférieure à celle du disque. Le second est constitué d'un fluide entraîné par deux disques infinis parallèles et coaxiaux. Dans ce cas, il prévoit la formation d'une couche limite sur chacun des disques entre lesquelles le fluide tourne en rotation solide.

[Stewartson. , 1953]. [18] : a obtenu une solution différente pour les écoulements entre deux disques infinis, l'un fixe, l'autre en rotation. Il conclut, en s'appuyant sur un développement

asymptotique à grand nombre de Reynolds, qu'il n'existe qu'une seule couche limite située sur le disque en rotation et que l'écoulement extérieur à ce domaine ne tourne pas du tout. De cette controverse historique découlent de nombreux travaux visant à vérifier l'une ou l'autre de ces solutions.

[N. Cousin-Ritemard, 1996]. [19] Elle a étudié la contribution à l'étude des instabilités des écoulements axisymétriques en cavité inter-disques de type rotor-stator, cette étude a concerné la structuration de l'écoulement stationnaire. Dans un premier temps, il semblait judicieux de replacer la famille des écoulements inter-disques dans le cadre des écoulements de similitude pour lesquels l'instabilité convective des couches limite a été mise en évidence. Puis, l'étude de la structuration de la solution stationnaire inter-disques a permis de mettre en évidence les différents points suivants.

– l'épaisseur des couches limites du rotor et du stator est fonction de \sqrt{ReH} ou ReH , est le nombre de Reynolds basé sur la hauteur.

– la zone de validité de la similitude est logiquement la zone qui ne subit pas l'influence des conditions aux limites. Elle est située près de l'axe $r^* \leq H$. La conséquence immédiate de cette localisation est que l'on ne peut donc pas déduire des résultats de stabilité pour la Configuration inter-disques à partir de résultats obtenus pour les écoulements de similitude puisque la zone d'instabilité est située sur la tierce moitié de la couche limite du stator.

Chapitre II

**[Présentation du problème
&
Formulation mathématique
et
Numérique]**

Présentation du problème & formulation

Mathématique et numérique

II.1. Introduction

Ce chapitre est dédié à la mise en équations du problème physique considéré en utilisant les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement. Ces dernières expriment des principes fondamentaux de la physique. On commence par l'écriture des équations sous leurs formes générales, puis on passera aux différents traitements de ces équations pour les adapter au cas étudié. Pour cela on doit prendre en considération les hypothèses simplificatrices nécessaires ainsi que les conditions aux limites associées.

La procédure numérique, consiste à définir le modèle géométrique. Puis la discrétisation du domaine, c'est-à-dire le maillage du domaine suivant les propriétés de la géométrie et de l'écoulement. Finalement on cherche la méthode convenable pour la résolution du problème

II.2. position du problème :

On propose d'étudier le comportement d'un fluide newtonien, incident sur un disque tournant ($\Omega \neq 0$) et un disque fixe ou ($\Omega = 0$).

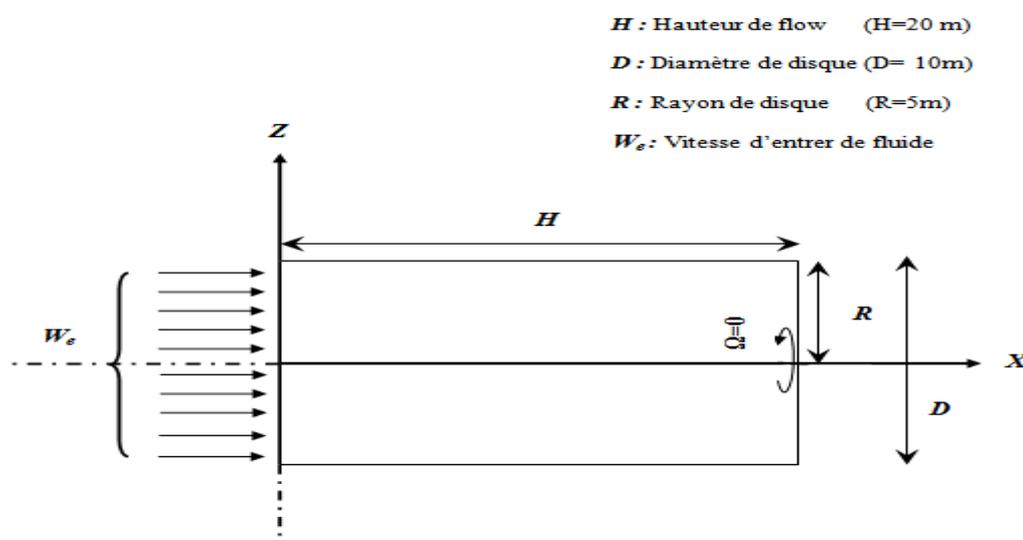


Fig.2.1 : Géométrie du problème disque fixe.

- **Remarque :** Dans le cas de la simulation numérique pour une géométrie 2D, le logiciel Ansys Fluent ne tolère l'axisymétrie que sur l'axe X.

II.3. Équations générales du mouvement :

Le traitement du comportement dynamique du fluide fait appel aux équations du mouvement déduites des principes de conservation de la masse, et de la quantité de mouvement.

II.3.1. Conservation de masse :

L'équation de conservation de la masse est donnée par :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \overline{\nabla \cdot (\rho \vec{v})} = 0 \quad (2.1)$$

II.3.2. Conservation de quantité de mouvement :

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \overline{\nabla}) \cdot \vec{v} = \vec{F} - \overline{\nabla} \cdot P + \mu \overline{\nabla^2} \vec{v} \quad (2.2)$$

Où :

p : Est la pression,

F : Représente le vecteur des forces extérieures appliquées au fluide (forces volumiques)

II.4. Hypothèses simplificatrices :

- Fluide incompressible.

- Écoulement axisymétrique.

- Régime stationnaire.

- Régime d'écoulement et laminaire.

Compte tenu de l'ensemble des hypothèses énoncées précédemment et après projection des équations suivant les coordonnées cylindriques $(\mathbf{r}, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{z})$; Les équations de conservation qui régissent l'écoulement s'écrivent comme suit :

II.4.1. Équation de continuité :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rU)}{\partial r} + \frac{\partial(W)}{\partial z} = 0 \quad (2.3)$$

II.4.2. Équations de quantité de mouvement (de Navier Stokes) :

Suivant r :

$$U \frac{\partial U}{\partial r} - \frac{v^2}{r} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} - \frac{U}{r^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right] + g_r \quad (2.4)$$

Suivant $\boldsymbol{\theta}$:

$$U \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{UV}{r} + W \frac{\partial V}{\partial z} = \nu \left[\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} - \frac{V}{r^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right] + g_\theta \quad (2.5)$$

Suivant z :

$$U \frac{\partial W}{\partial r} + W \frac{\partial W}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} - \frac{W}{r^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right] + g_z \quad (2.6)$$

II.4.3. Conditions aux limites :

➤ 1^{ère} cas :

- Disque fixe :

$$Z = 0 \quad 0 \leq r \leq R \quad \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \vec{0}$$

Par adhérence : $U = 0$, $V = 0$

Par imperméabilité de la part du disque : $W = 0$

$$Z = H \quad W = W_e$$

➤ 2^{ème} cas :

- Disque tournant :

$$Z = 0 \quad 0 \leq r \leq R \quad \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \Omega R \\ 0 \end{pmatrix}$$

Par adhérence : $U = 0$, $V = \Omega r$

Par imperméabilité de la part du disque : $W = 0$

$$Z = H \quad W = W_e$$

II.5. Procédure numérique :

Dans la simulation numérique, la première étape consiste à définir le modèle géométrique représentant le domaine sur lequel la solution numérique devra être calculée. On procède ensuite à la discrétisation du domaine, c'est-à-dire le maillage du domaine suivant les propriétés de la géométrie et de l'écoulement. Par la suite, on choisit un schéma de discrétisation approprié pour chaque terme du système. Une fois les équations sont discrétisées, on cherche la méthode convenable pour la résolution du système d'équations algébriques résultant.

➤ 1^{ère} cas :

- Disque fixe :

II.6. Logiciel Ansys Fluent :

C'est un pré processeur intégré pour l'analyse en CFD (Computation Fluide Dynamics). Il permet à l'utilisateur de construire la géométrie du domaine de calcul et de subdiviser ce dernier en petits volumes de contrôle ou cellules de calcul. L'ensemble de ces volumes élémentaires constitue le maillage. La définition des conditions aux limites appropriées, au niveau des cellules qui coïncident ou touchent la frontière du domaine de calcul, se fait également à ce niveau. Il permet de créer plusieurs types de maillage suivant la géométrie et de spécifier le type de matériau (fluide ou solide). Les défauts sont détectés à l'aide de son interface comportant plusieurs fenêtres d'outil de création, génération, vérification de maillage du modèle étudié.

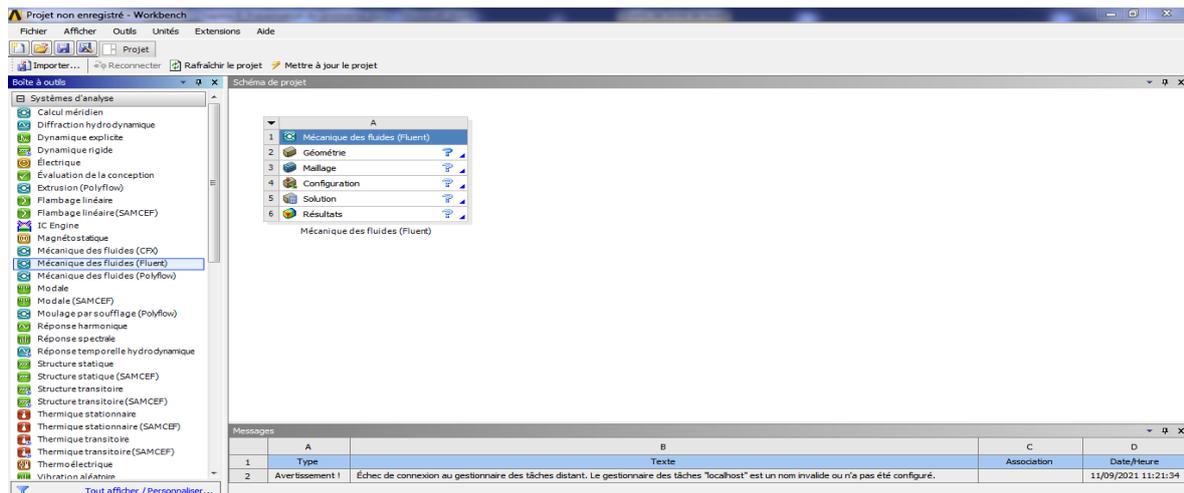


Figure II.2 : Logiciel ANSYS fluent

II.7. Construction de la géométrie :

La finalité de la construction de la géométrie est de définir le domaine de calcul qui sera caractérisé par des faces dans un problème en deux dimensions, pour ce là on a tracé une géométrie qui caractérise notre problème.

On à utiliser les mesures suivantes pour dessiner notre géométrie: $r = 5$ m et $H = 20$ m.

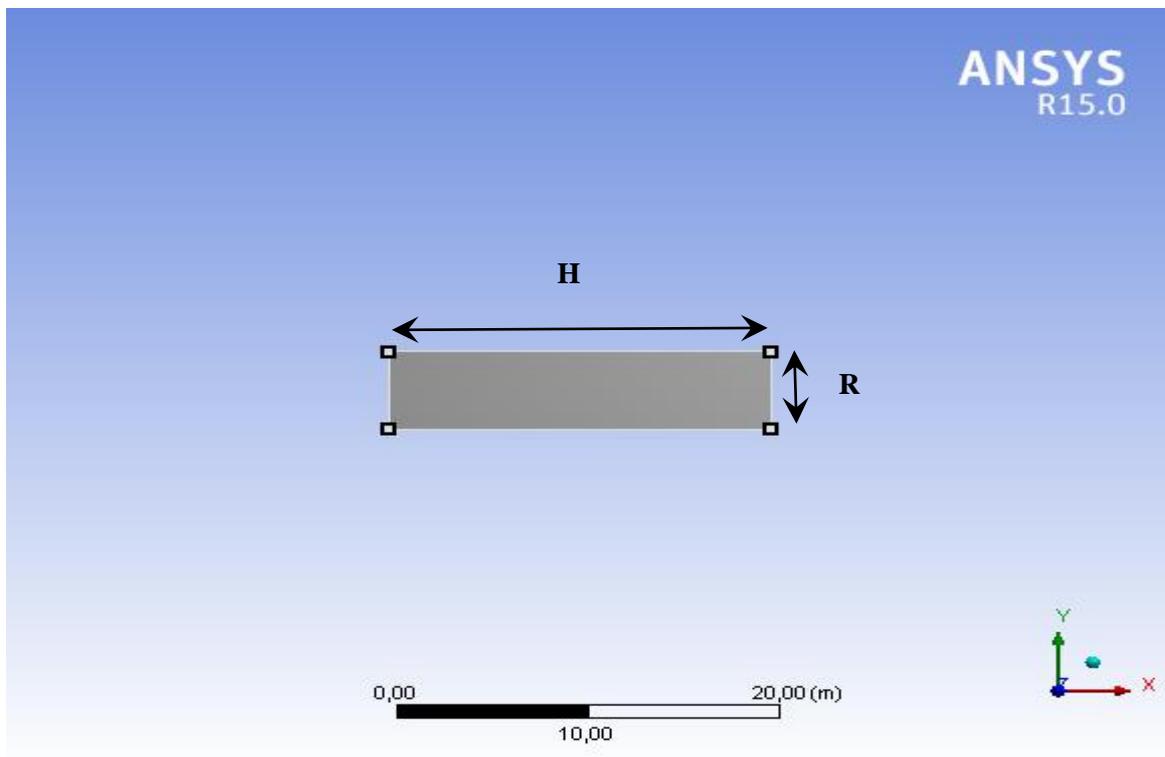


Figure II.3 : Géométrie du problème représenté sur logiciel Ansys fluent.

II.8. Le maillage :

Le maillage est la discrétisation spatiale d'un milieu continu, ou aussi, une modélisation géométrique d'un domaine par des éléments proportionnés finis et bien défini dans l'optique d'une simulation numérique ou d'une représentation graphique.

Il est principalement caractérisé par sa dimension (2D ou 3D), son volume totale (nombre de cellule) et les géométries des cellules (en 2D : triangle quadrilatères "parallélogrammes, rectangles, carrés") et polygones. En 3D : tétraèdre, prismes, hexaèdres (parallélépipèdes, cubes), polyèdres. Ainsi à partir de ces caractéristiques il existe plusieurs types de maillages structurés, non structurés ou hybrides. Étant donné que la géométrie du problème est régulière (rectangulaire ou circulaire par exemple), le choix de maillage est simple.

Pour notre cas on a choisi un maillage de 500 selon r et 200 selon Z, le maillage est très raffiné au niveau du disque comme le montre la figure.

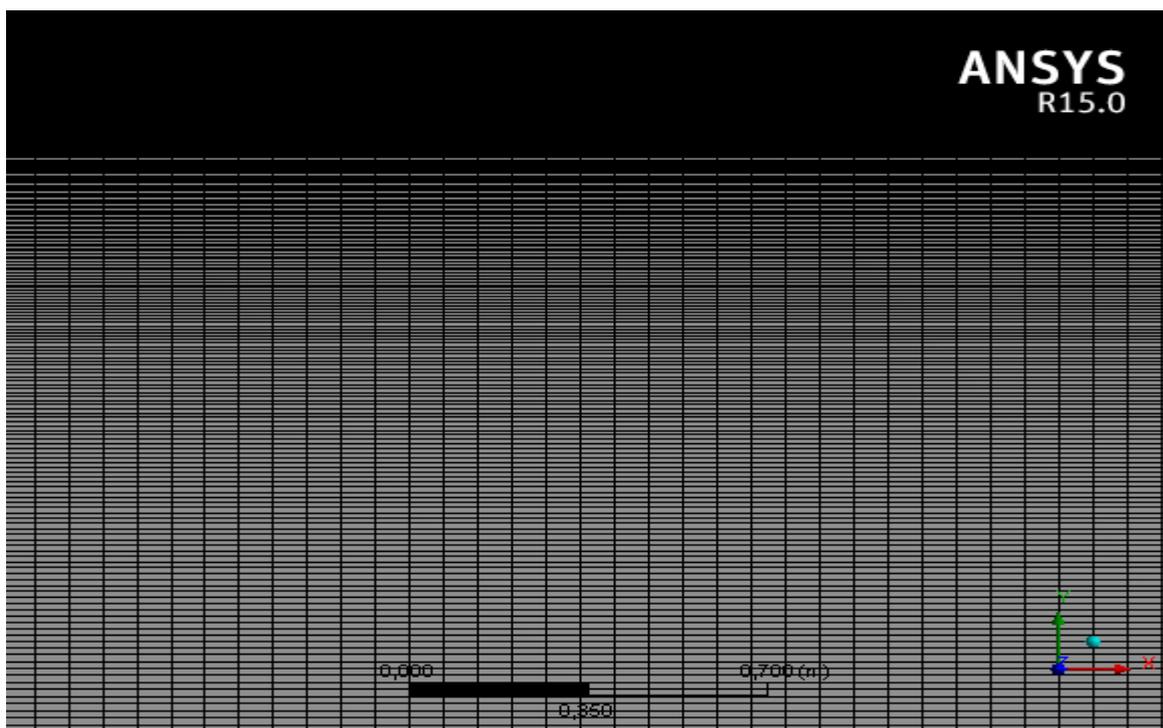


Figure II.4 : Détail du maillage utilisé

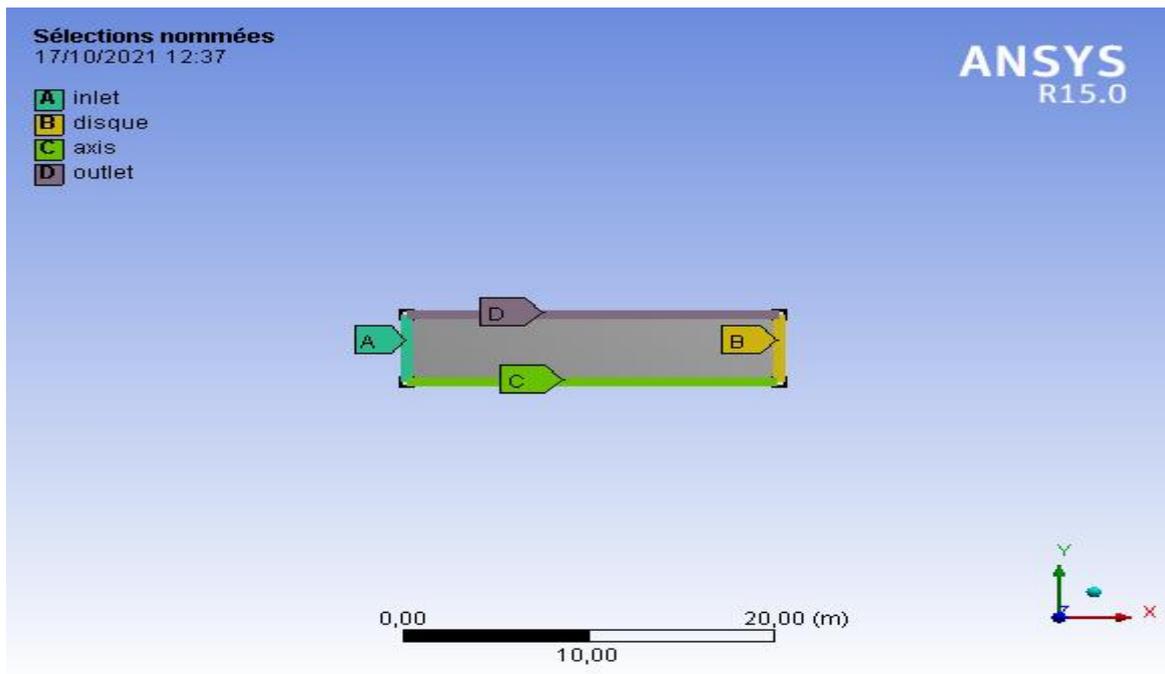


Figure II.5 : Sélections nommées

II.9. Solver fluent « Configuration » :

L'interface de FLUENT est relativement simple dans sa prise en main. Il faut commencer par importer un maillage dans la section de la configuration sur lequel on travaille auparavant. Une fois le maillage en place, on définit les paramètres nécessaires pour le calcul. On choisit le modèle physique du problème. On donne les paramètres initiaux. On règle les conditions initiales et aux limites. Selon le modèle. Ensuite on lance le calcul.

La génération du calcul dans «Fluent» passe par les étapes :

- 1- Démarrer la version 2D de Fluent.
- 2- Le solver fluent charge automatiquement la géométrie et le maillage. par contre si la géométrie été faite par d'autre logicielles comme GAMBIT : **File** → **import** → **mesh**.
- 3- Écoulement axisymétrique. **General** → **2D space** → **axisymmetric swirl**.

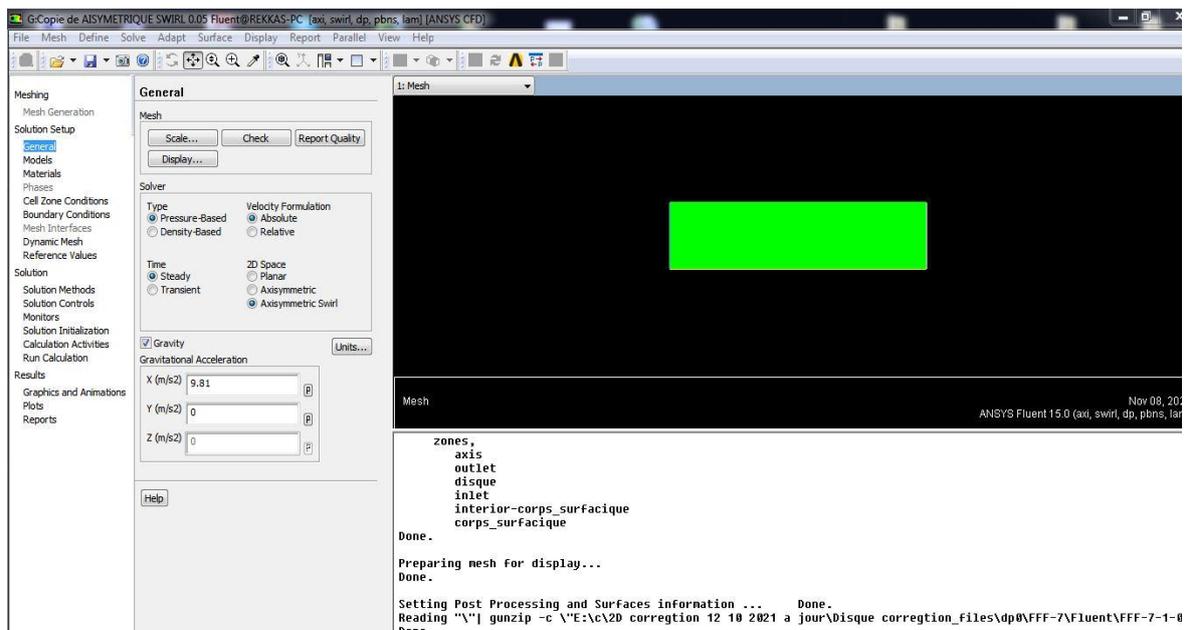


Figure II.6 : Choix de l'écoulement axisymétrique swirl.

4- Vérification du maillage. **General** → **Check**.

5- Définir la Matière. **Materials** → **Fluid (Newtonian: water liquid)**

6- Définir les conditions aux limites. **boundary conditions (disque : Stationary Wall, axe : axis, périphérie : pressure-outlet)**

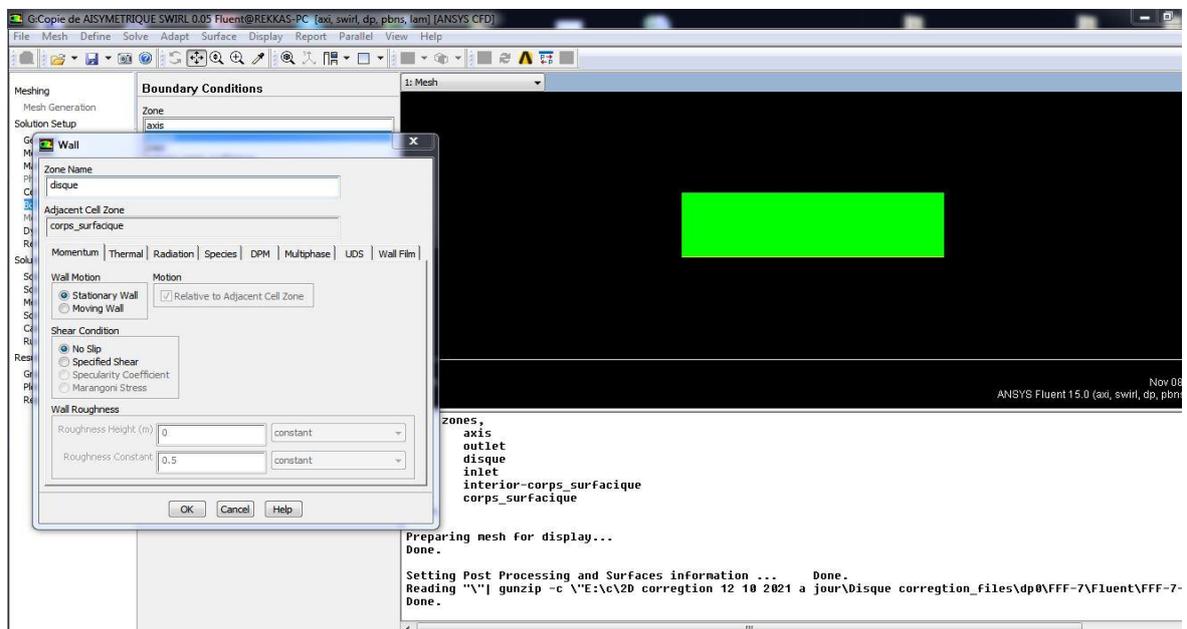


Figure II.7 : Choix des conditions aux limites pour un disque fixe.

7- Enregistrer les informations liées au problème. **File** → **export** → **Case & data**.

8- Le fichier Case (regroupe toutes informations liées à la géométrie).

9- Le fichier data (contient tous les paramètres et données des calculs).

10- Initialiser le calcul. **Solution Initialization** → **Initialize**.

11- Vérifier les résidus des calculs. **Monitors** → **Residual**.

12- Choisir du nombre des itérations et lancer les calculs. **run calculation** → **nombre of iterations** → **calculate**.

13- Post traitement des résultats. (Display, Plot, Report etc.)

➤ 2^{ème} cas :

- Disque tournant :

II.10. Procédure numérique :

C'est la même procédure que la simulation en pour un disque fixe, sauf que le disque devient tournant avec une vitesse de rotation $\Omega = 1$ rad/s.

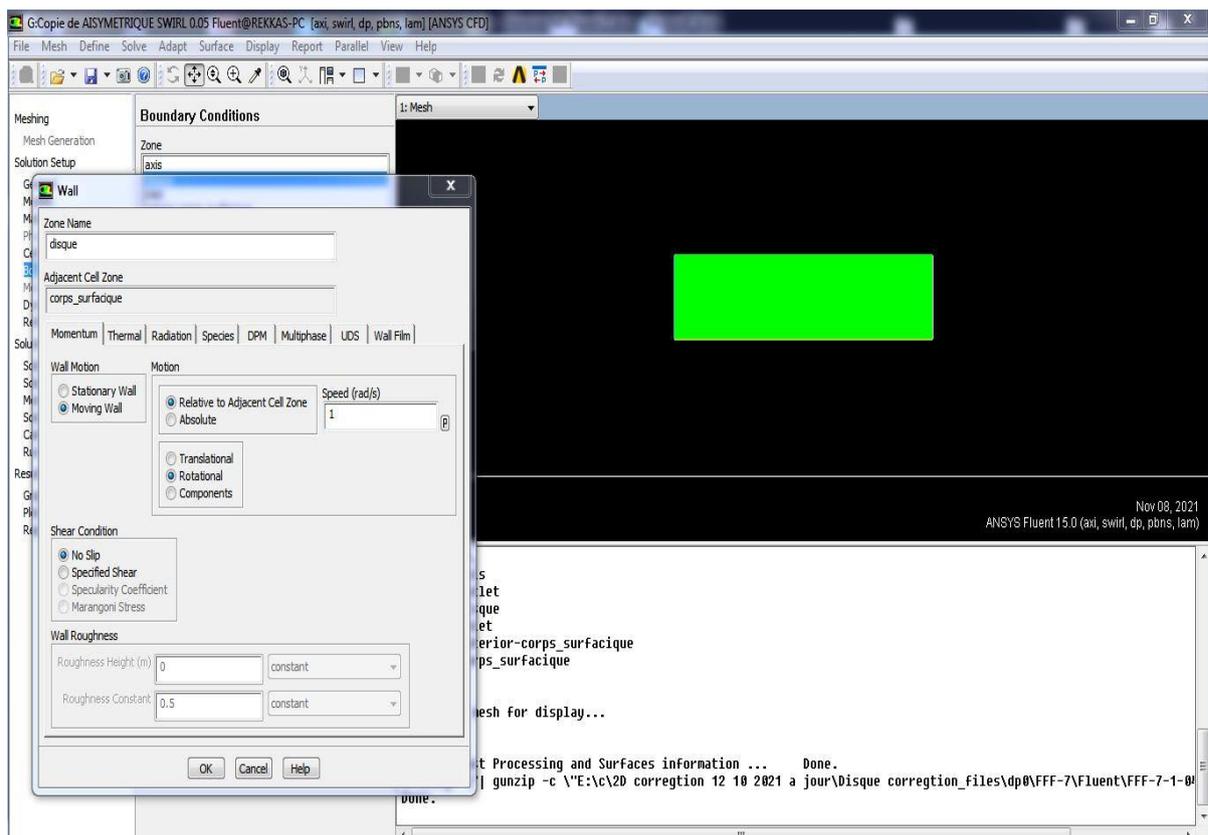


Figure II.8: Choix des conditions aux limites pour un disque tournant.

II.11. Conclusion

Ce chapitre a été divisé en deux parties, la première partie consiste à la présentation de l'ensemble des formules mathématique ainsi que les hypothèses simplificatrices du problème posé pour les deux cas étudiés.

La deuxième partie consiste le déroulement de la procédure numérique, nous avons présenté la géométrie, le maillage, la méthode de simulation et le logiciel utilisé pour l'écoulement sur un disque fixe et tournant.

Chapitre III

[Résultats et discussions]

Résultats et discussions

III.1. Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation des différents résultats obtenus et leurs interprétations. Ces résultats concernant essentiellement la distribution du champ de vitesse axiale et radiale et tangentielle. Pour les deux cas étudier :

- Écoulement incident sur un disque fixe.
- Écoulement incident sur un disque tournant.

III.1.1. Propriété de fluide utilisé pour notre étude :

On a pris comme fluide l'eau liquide (H₂O), il est défini par les caractéristiques suivantes :

- la viscosité $\mu = 0.01 \text{ Kg/m.s}$
- la masse volumique $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$

Pour cet écoulement on a effectué deux essais pour deux vitesses d'entrée différentes : ($W_e = 0.1 \text{ m/s}$ et l'autre a $W_e = 1\text{m/s}$) pour un disque fixe ($\Omega = 0$) et un disque tournant ($\Omega \neq 0$). Ensuite on a tracé les graphes de la distribution de champ de vitesse (axial, radial et tangentielle). a Mi-hauteur ($Z=10 \text{ m}$), et a Mi-rayon ($r = 2.5 \text{ m}$).

III.2. Écoulement incident sur un disque fixe :

Les figures ci-dessous montrent la distribution de champ de vitesse (axial, radiale) pour un disque fixe.

- Premièrement à $W_e = 0.05 \text{ m/s}$.

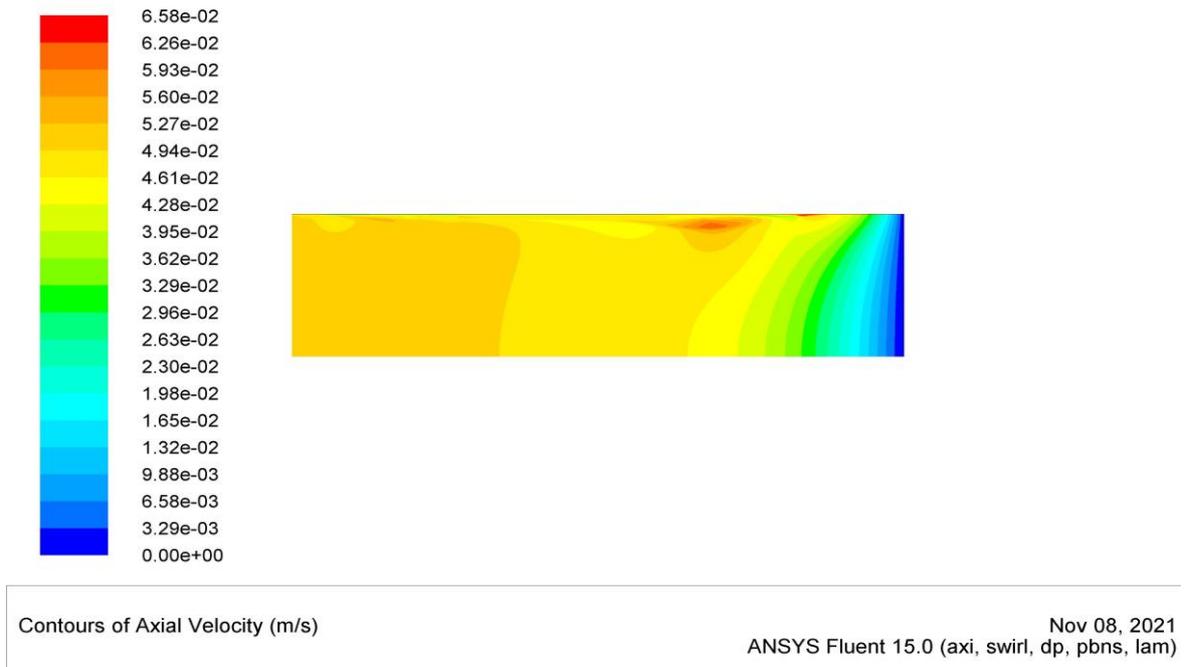


Figure III.1 : Distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $W_e = 0.05$ m/s.

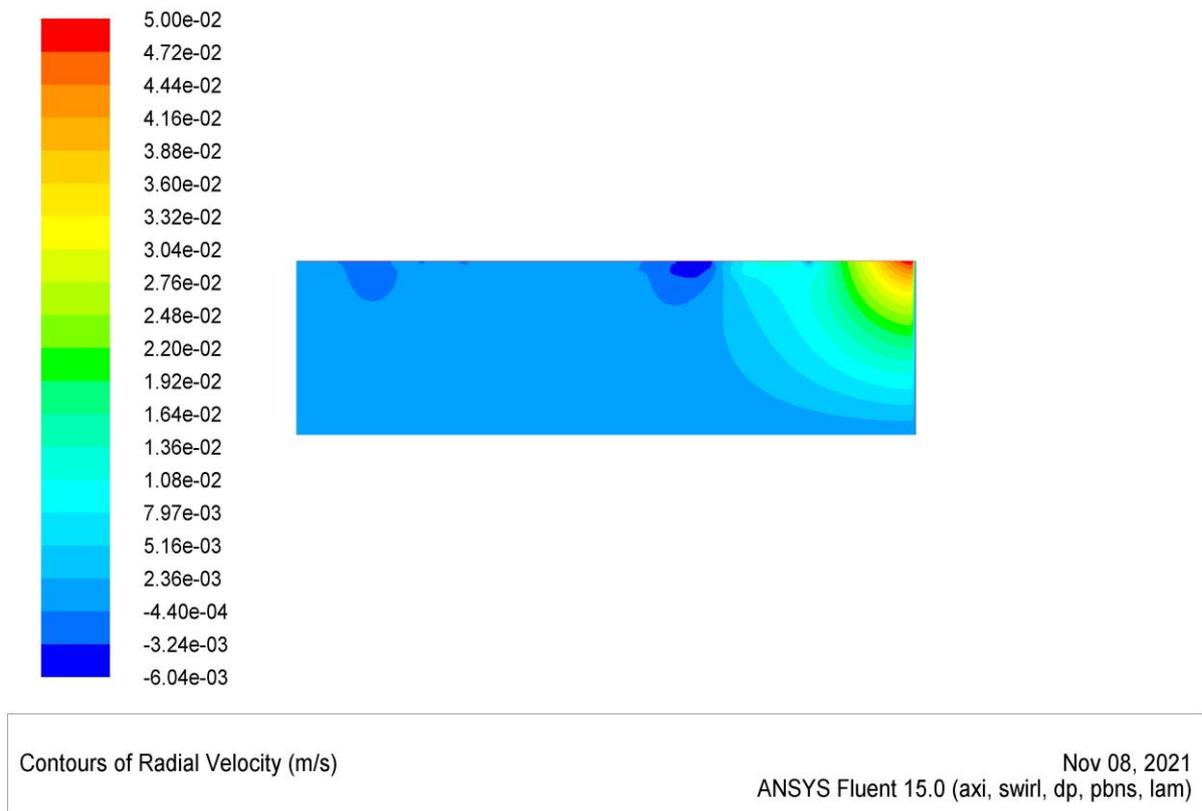


Figure III.2 : Distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $W_e = 0.05$ m/s.

Les courbes suivantes montrent la variation des vitesses (axiale, radiale) en fonction de la hauteur de l'écoulement et le disque fixe (D) à $W_e = 0.05$ m/s.

Mi-hauteur :

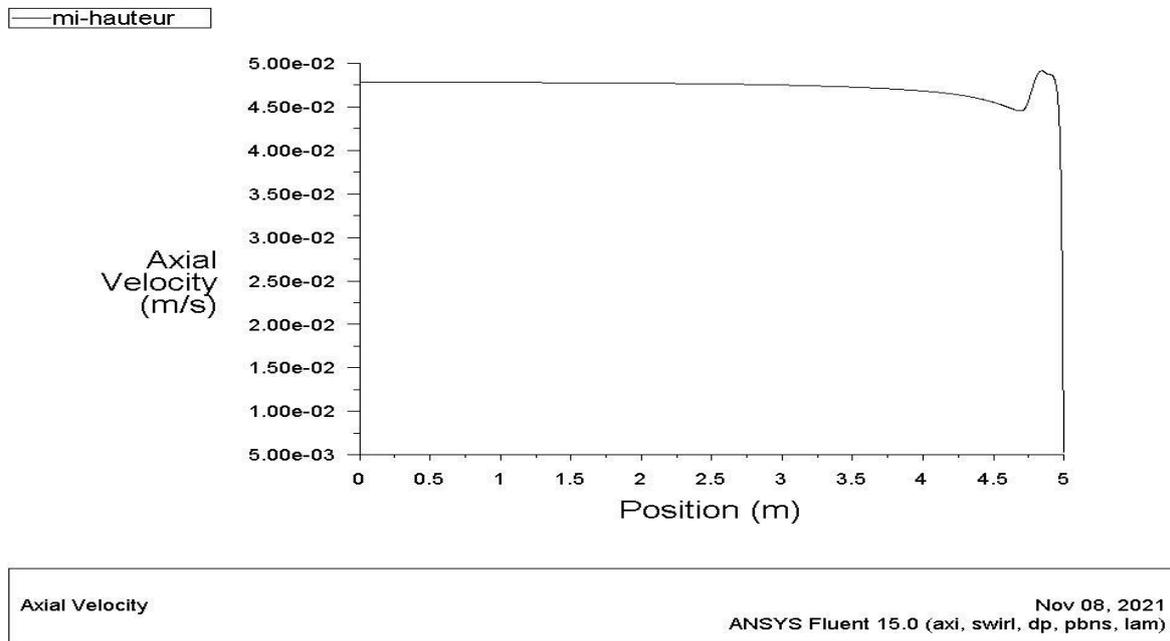


Figure III.3 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.

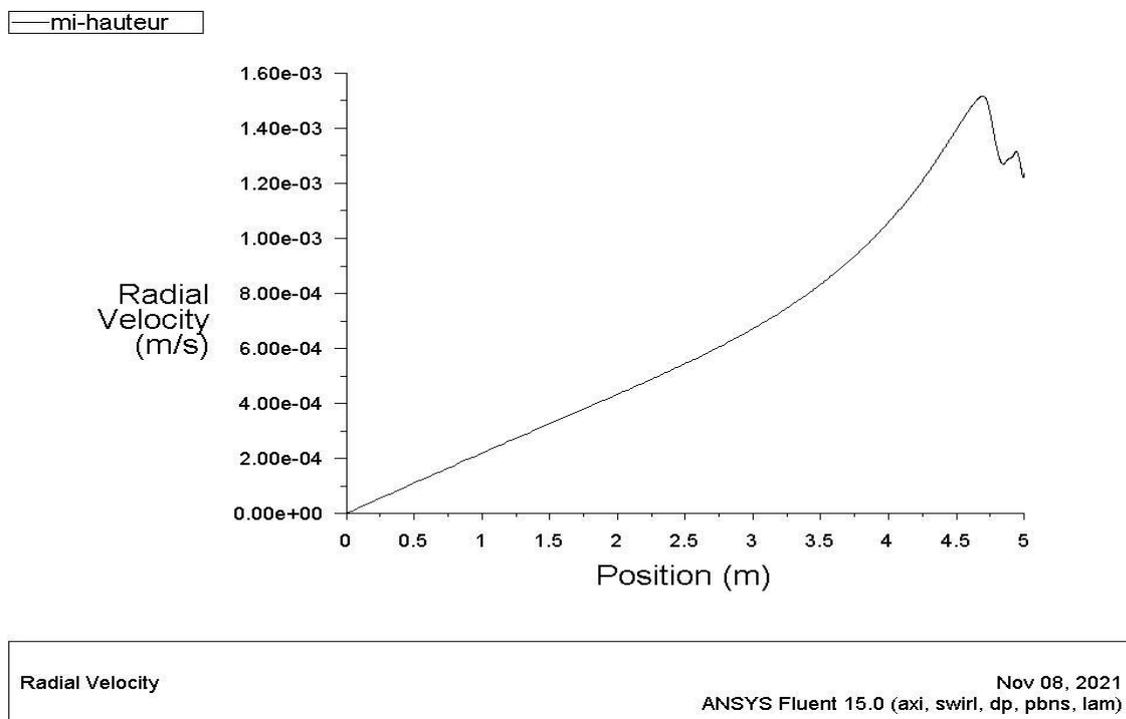


Figure III.4 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.

Mi-rayon :

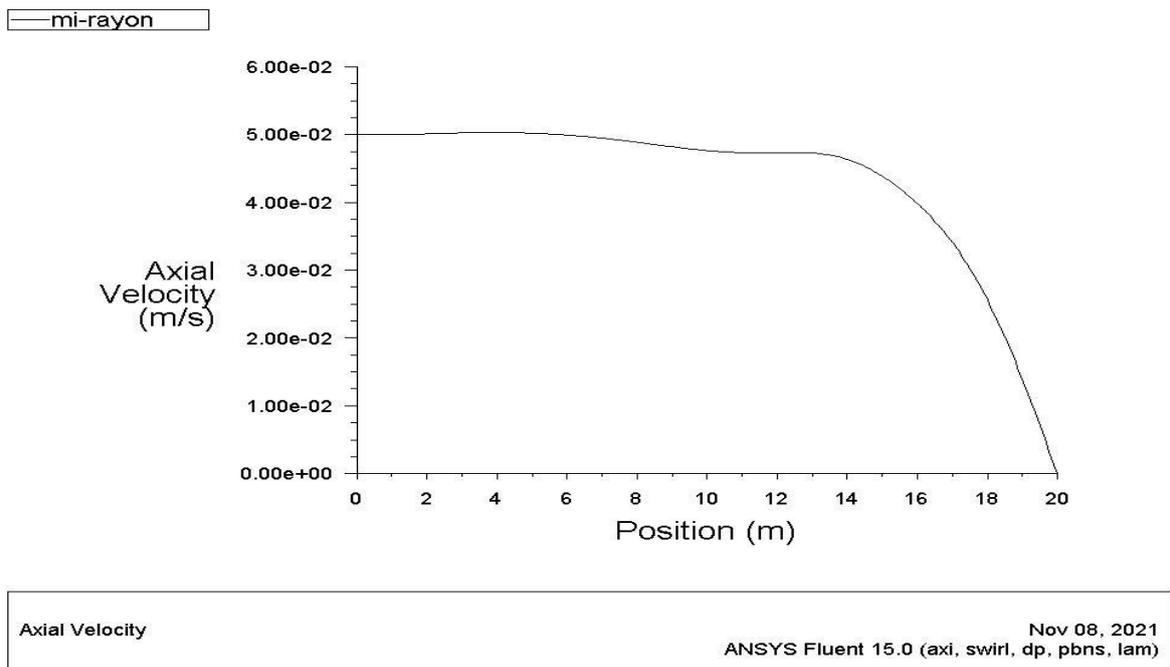


Figure III.5 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.

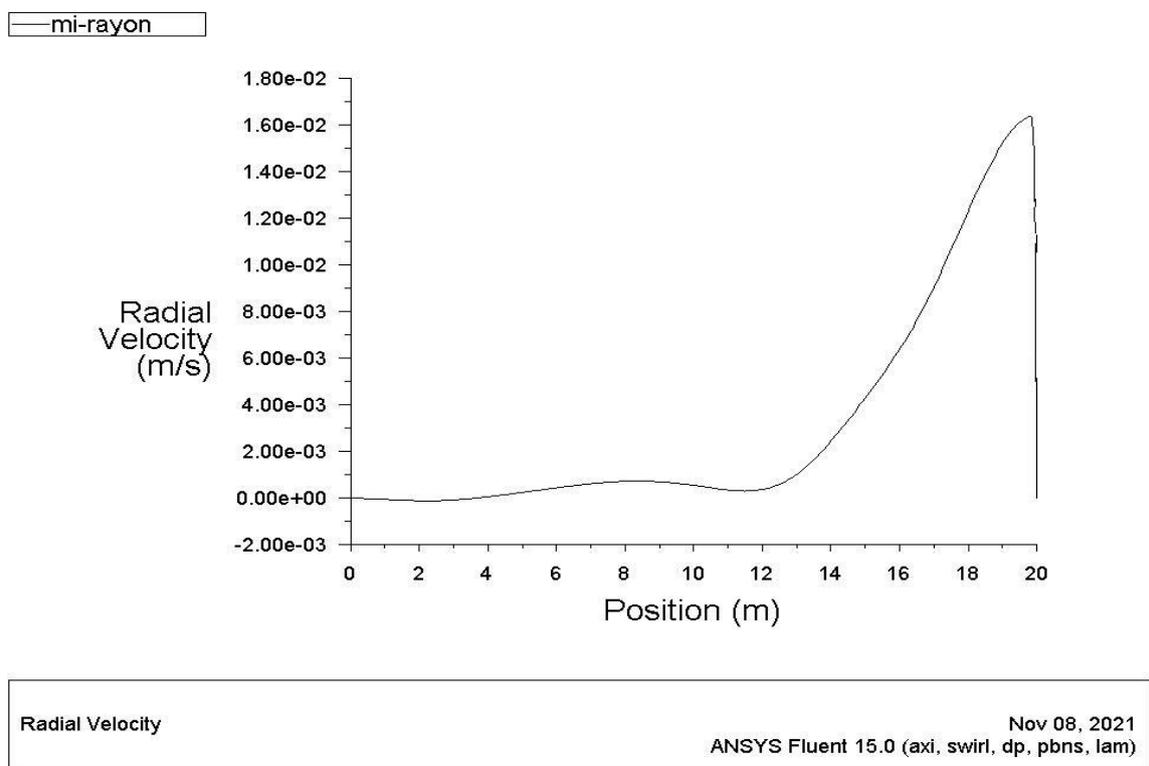


Figure III.6: Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.

- Deuxièmement à $W_e = 0.1$ m/s.

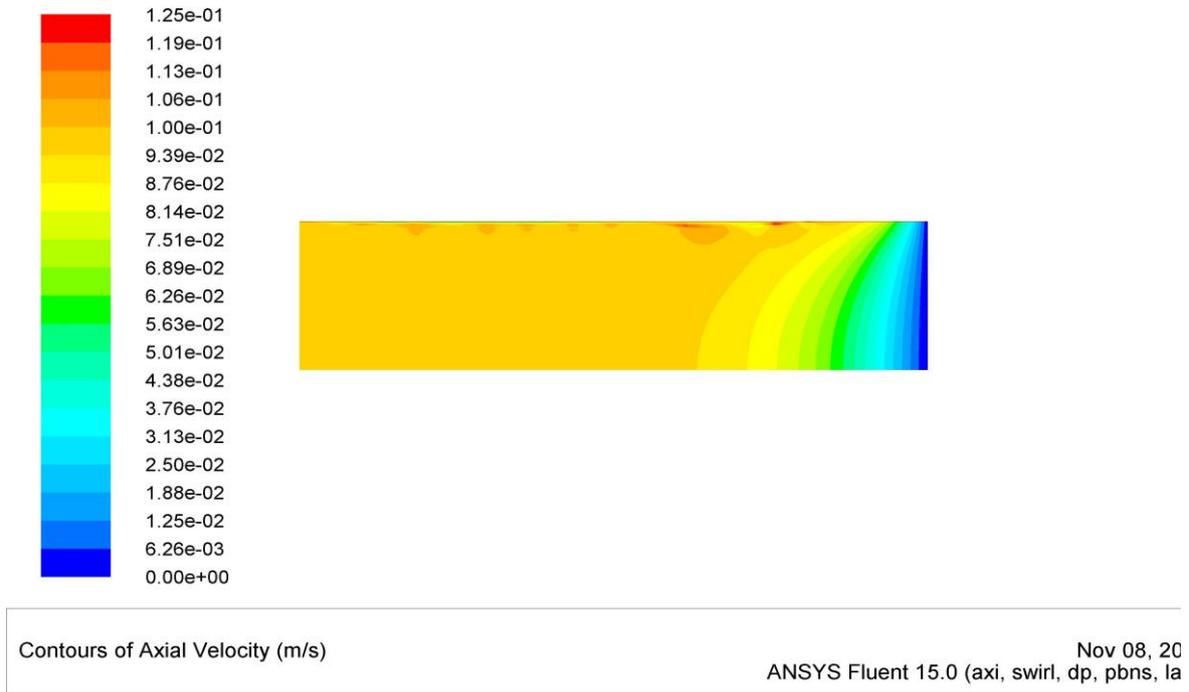


Figure III.7: Distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $W_e = 0.1$ m/s.

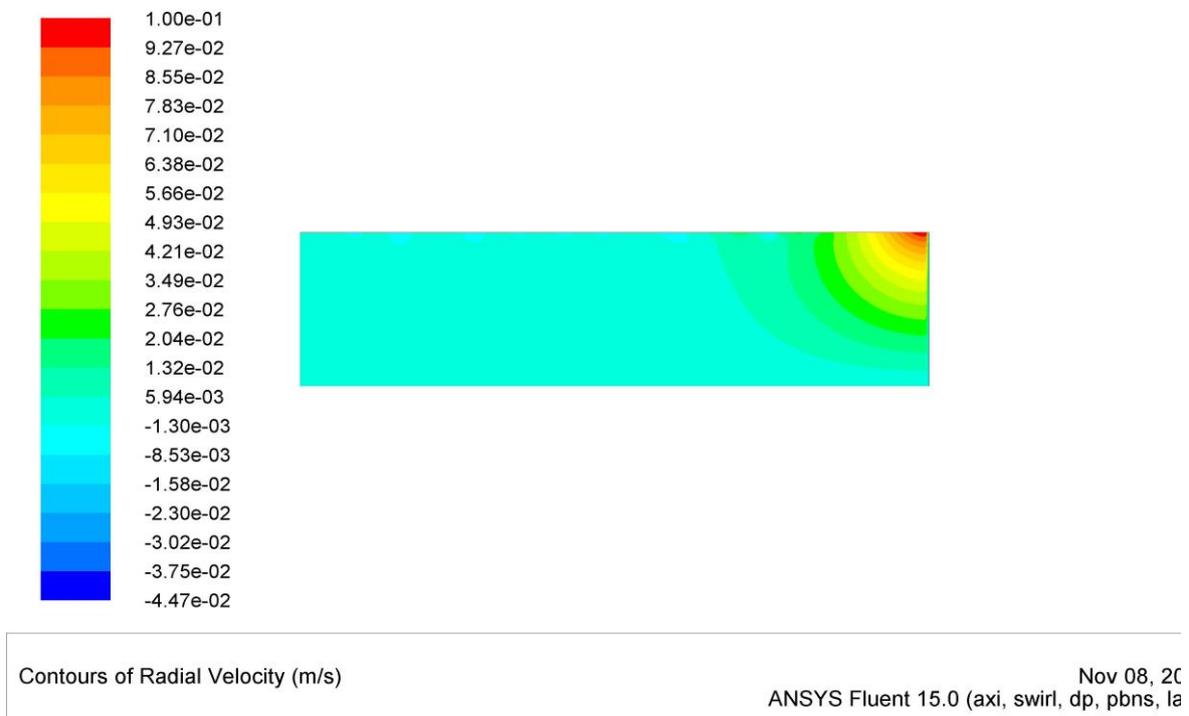


Figure III.8: Distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque fixe à $W_e = 0.1$ m/s.

Les courbes suivantes montrent la variation des vitesses (axiale, radiale) en fonction de la hauteur de l'écoulement et le disque fixe (D) à $W_e = 0.1$ m/s.

Mi-hauteur :

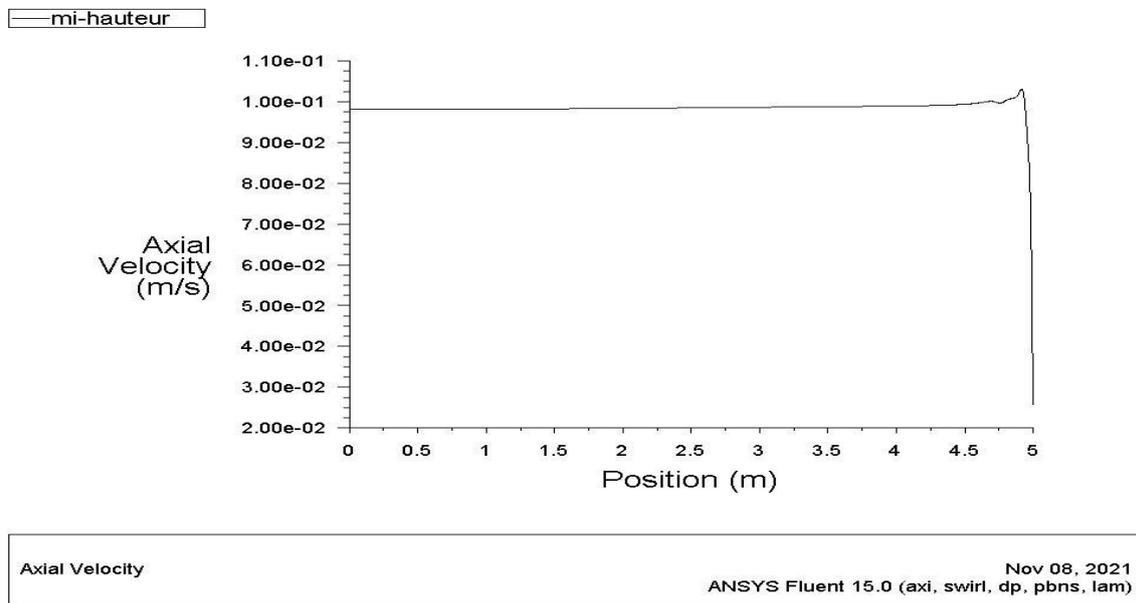


Figure III.9 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.

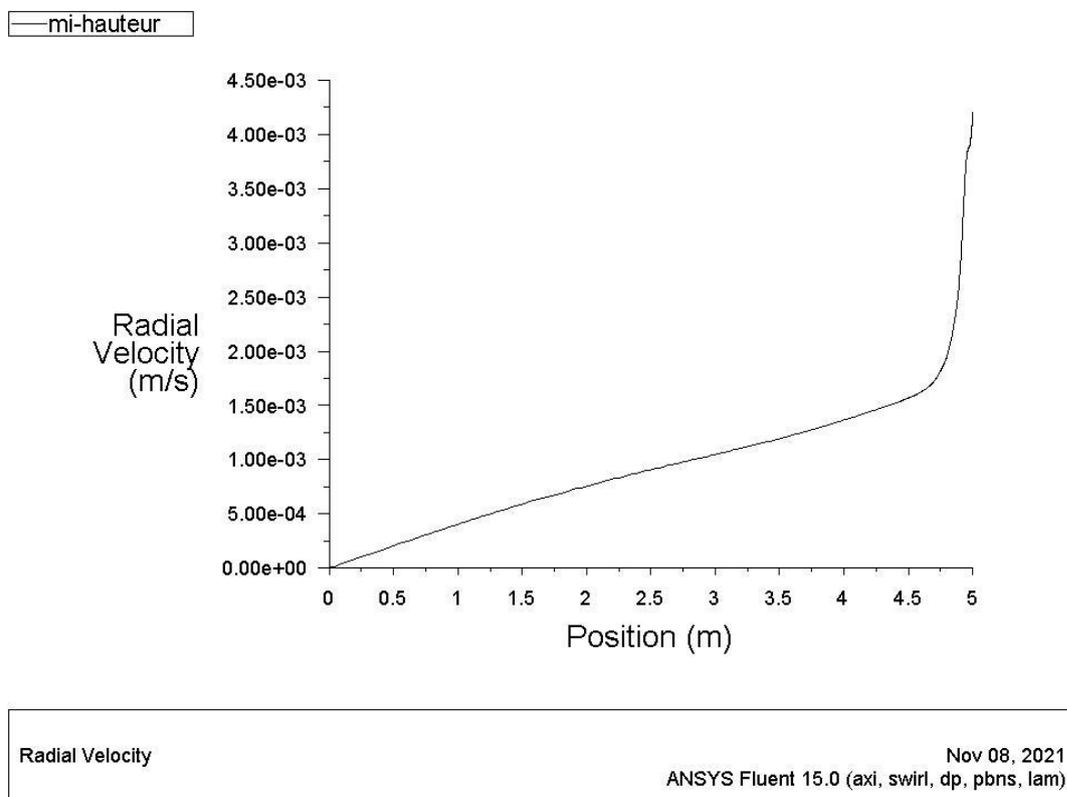


Figure III.10 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.

Mi-rayon :

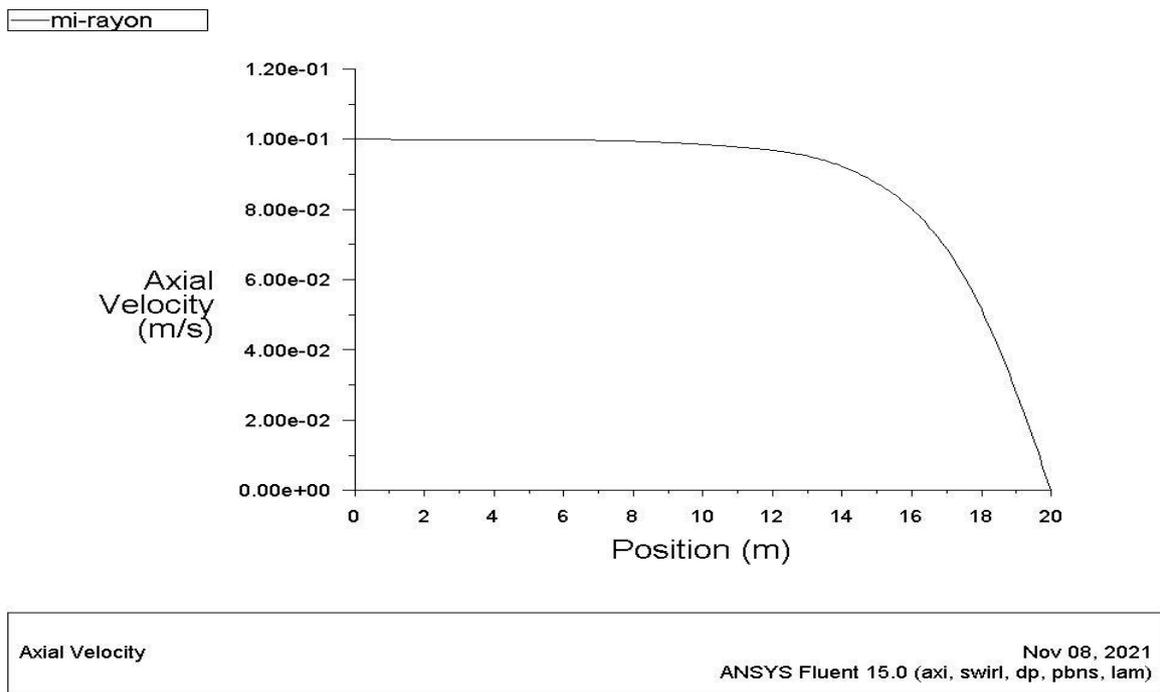


Figure III.11 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.

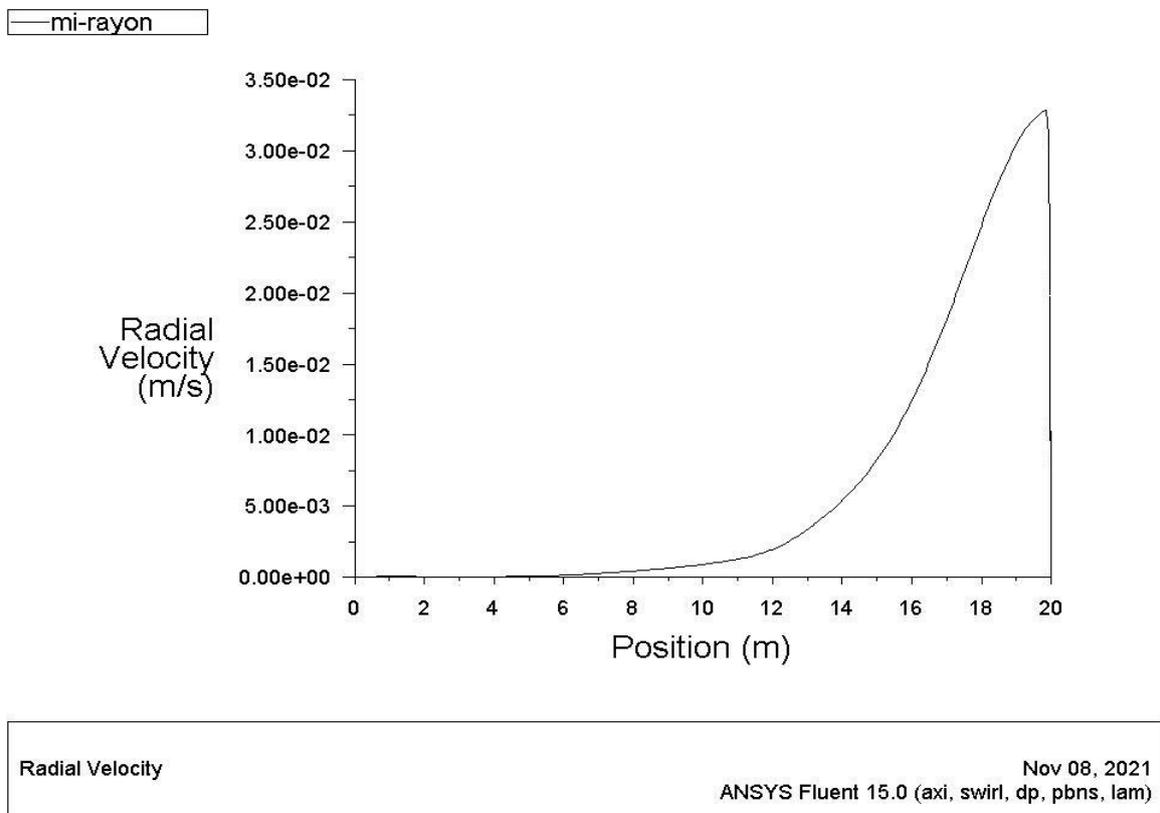


Figure III.12 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.

III.3. Écoulement incident sur un disque tournant :

Les figures ci-dessous montrent la distribution de champ de vitesse (axial, radiale et tangentiel) pour un disque tournant.

- Premièrement à $W_e = 0.05$ m/s.

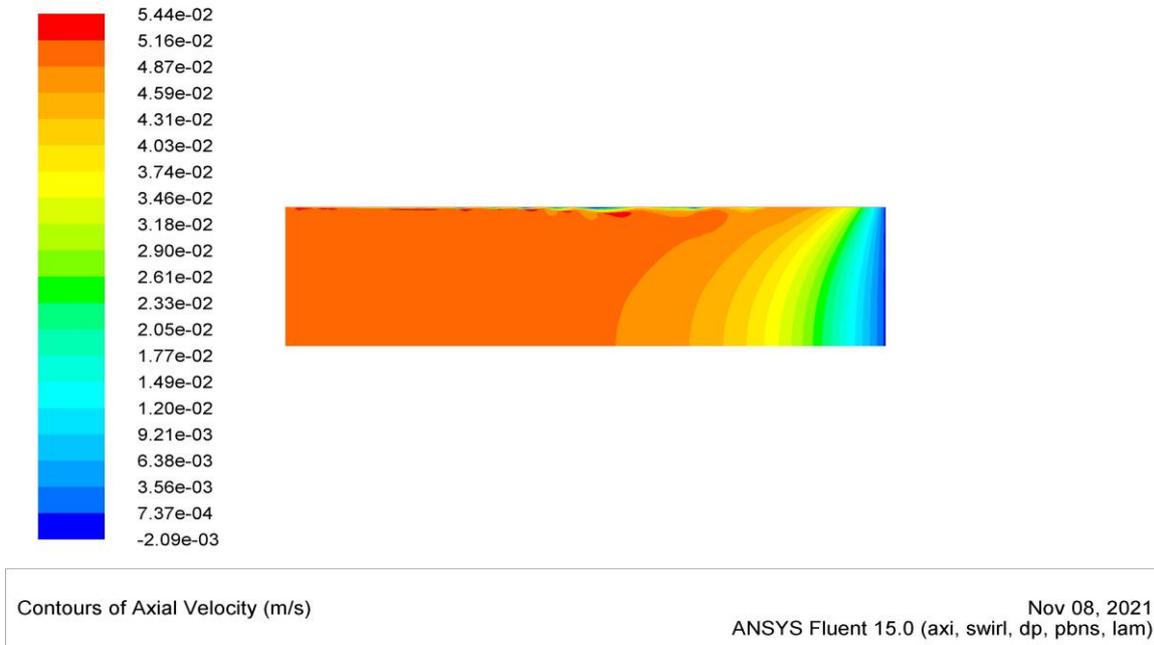


Figure III.13: Distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.

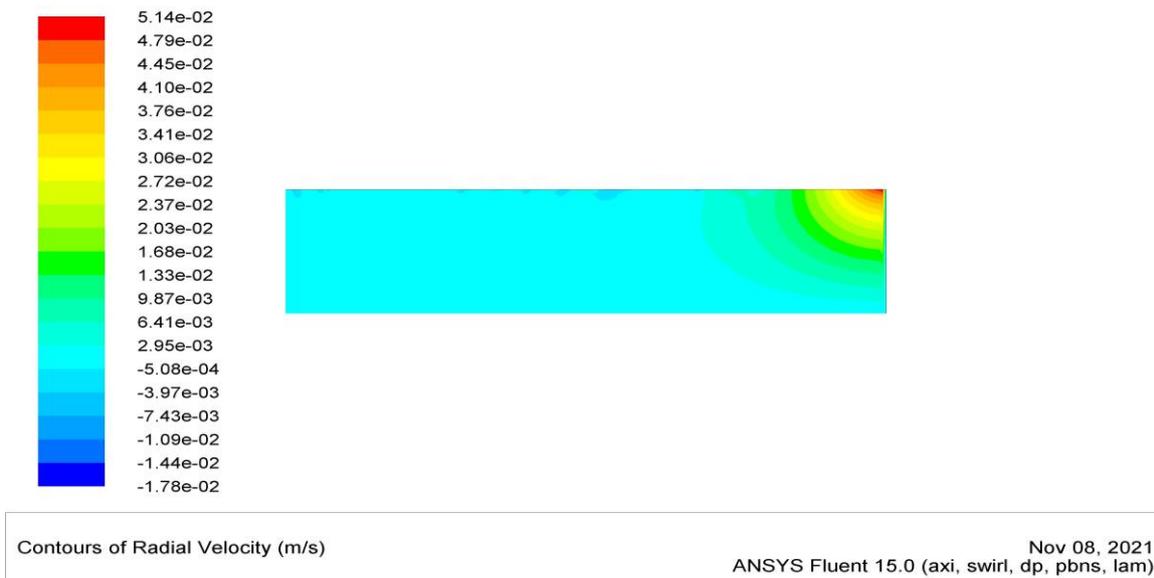


Figure III.14 : Distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.

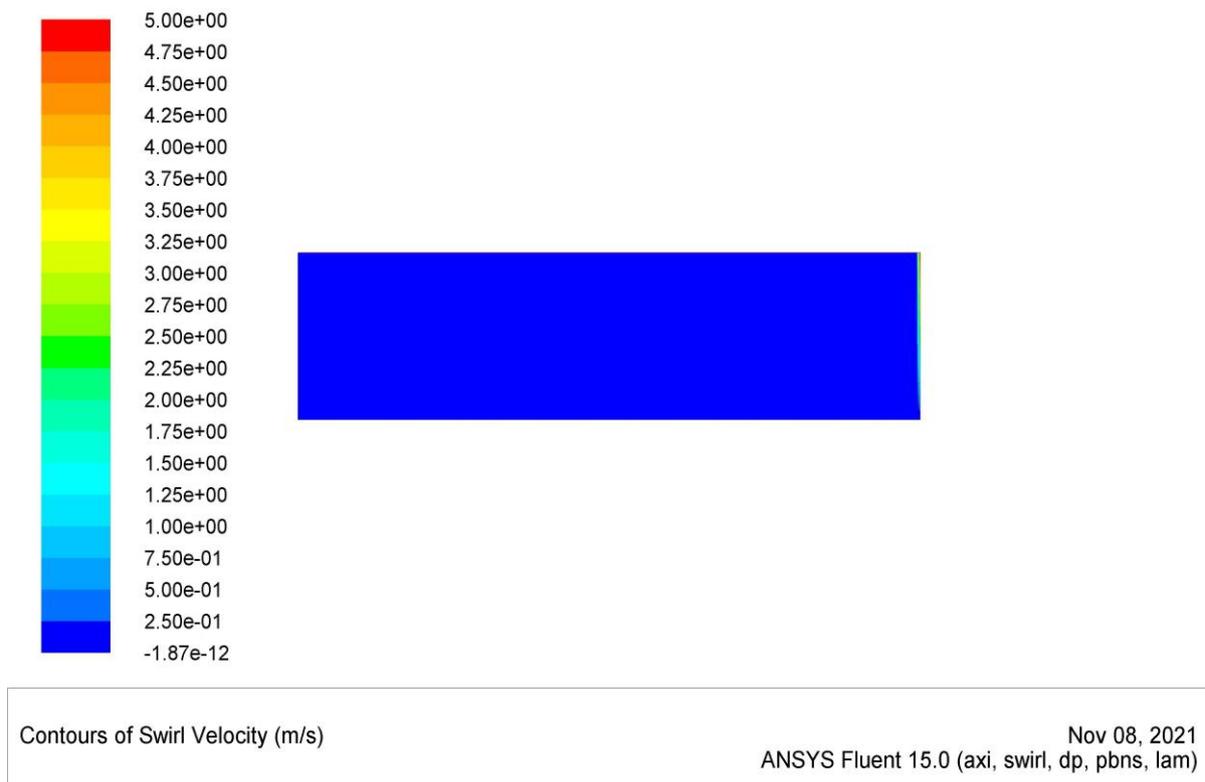


Figure III.15 : Distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.

Les courbes suivantes montrent la variation des vitesses (axiale, radiale) en fonction de la hauteur de l'écoulement et le disque tournant (D) à $W_e = 0.05$ m/s.

Mi-hauteur :

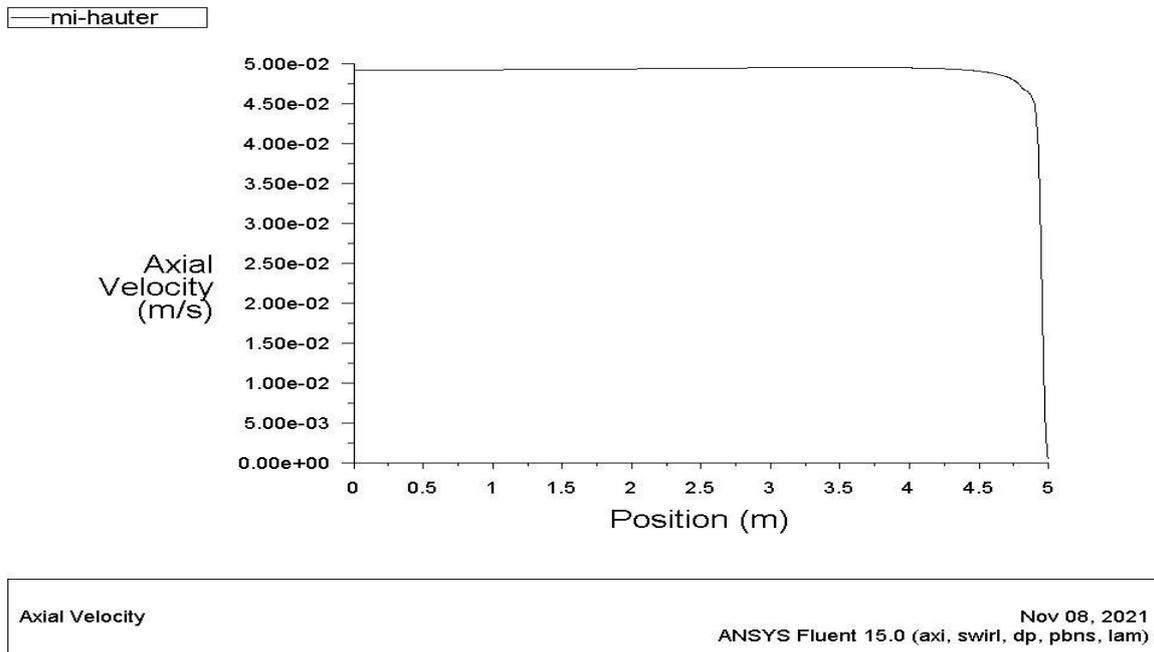


Figure III.16 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.

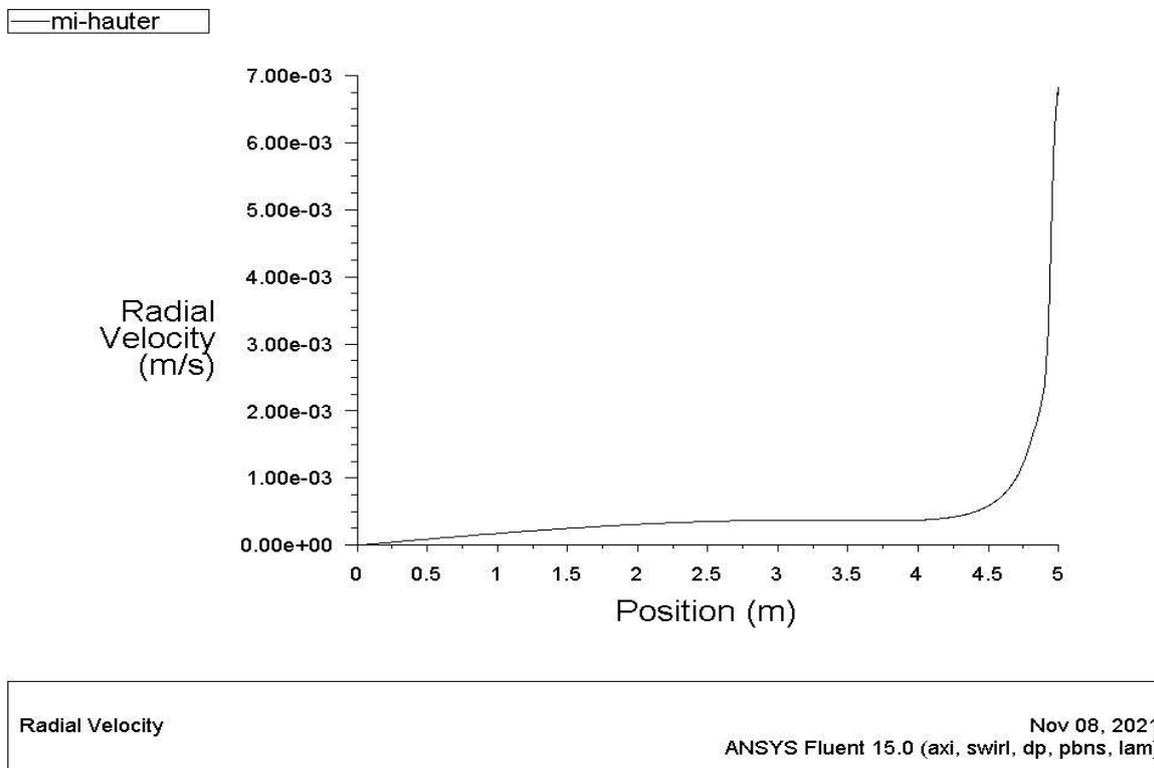


Figure III.17 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.

Mi-rayon :

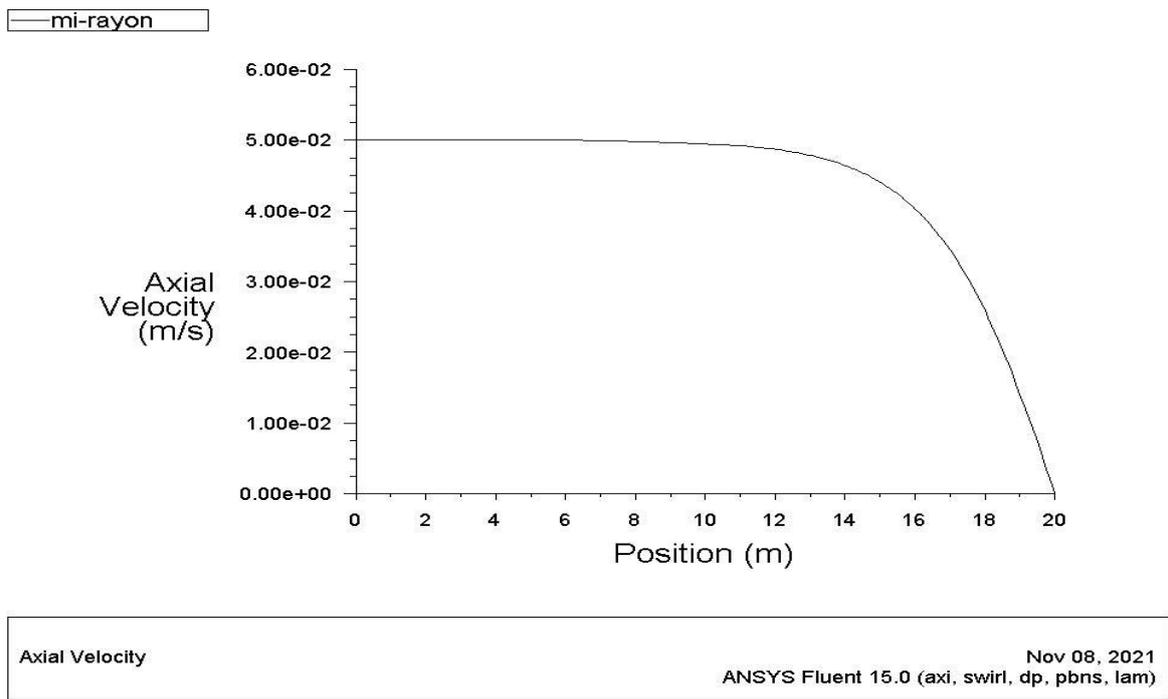


Figure III.18 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

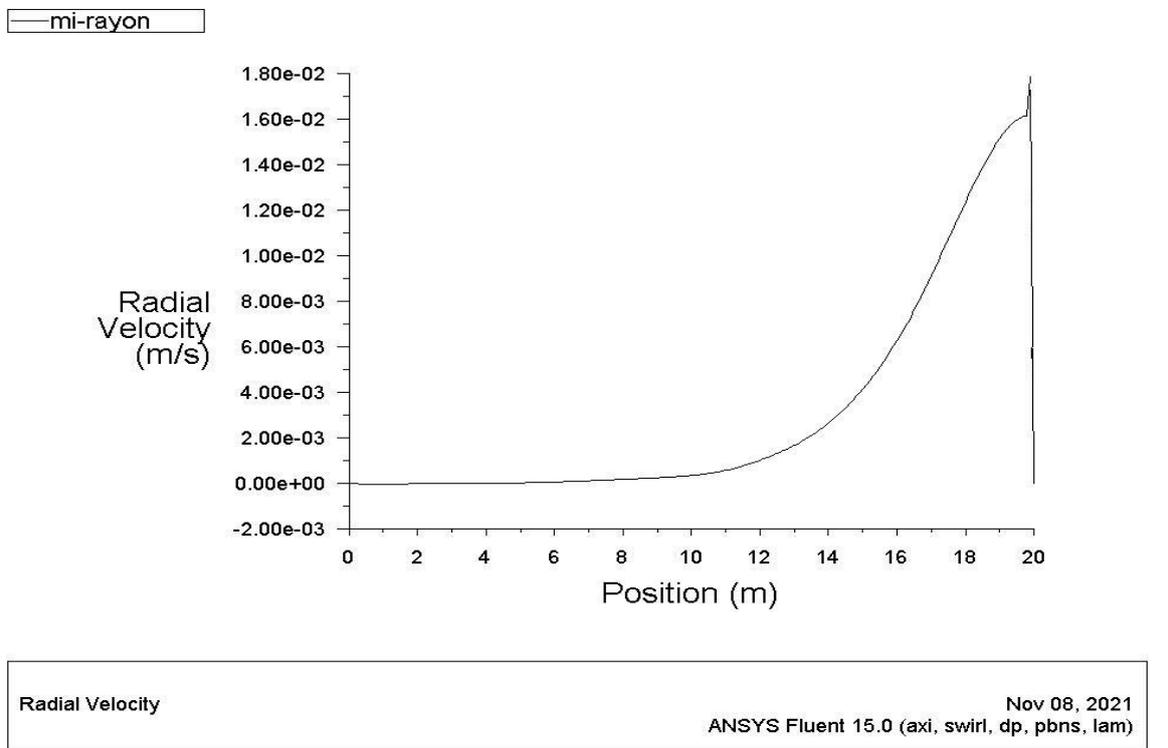


Figure III.19 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

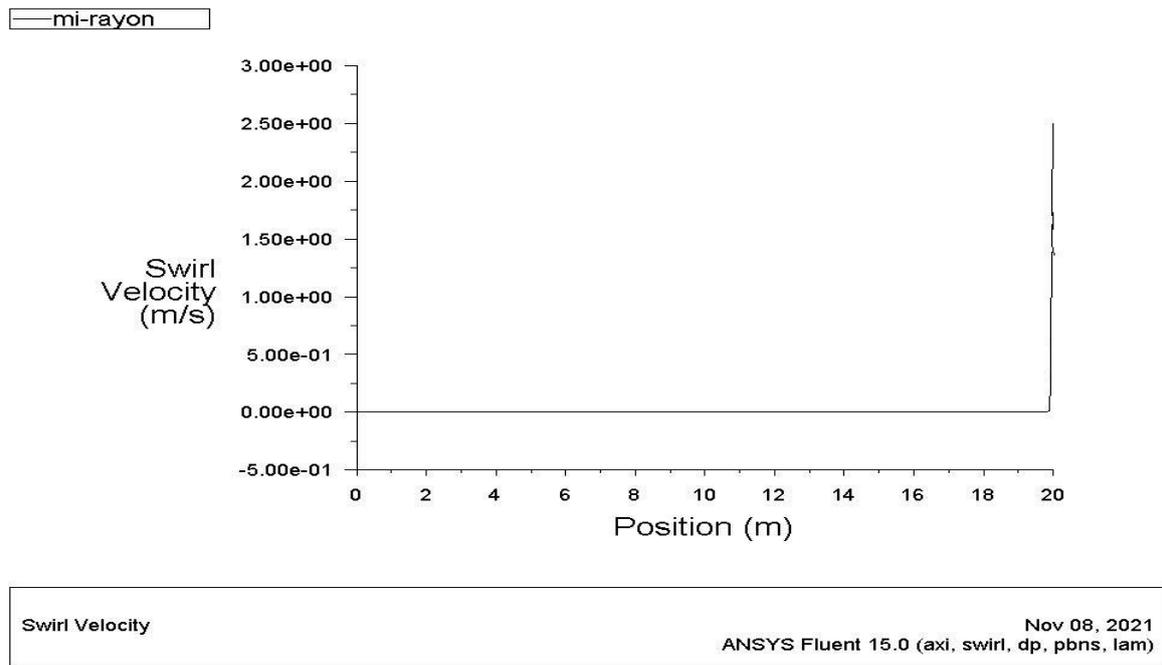


Figure III.20 : Variation de la vitesse tangentielle en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

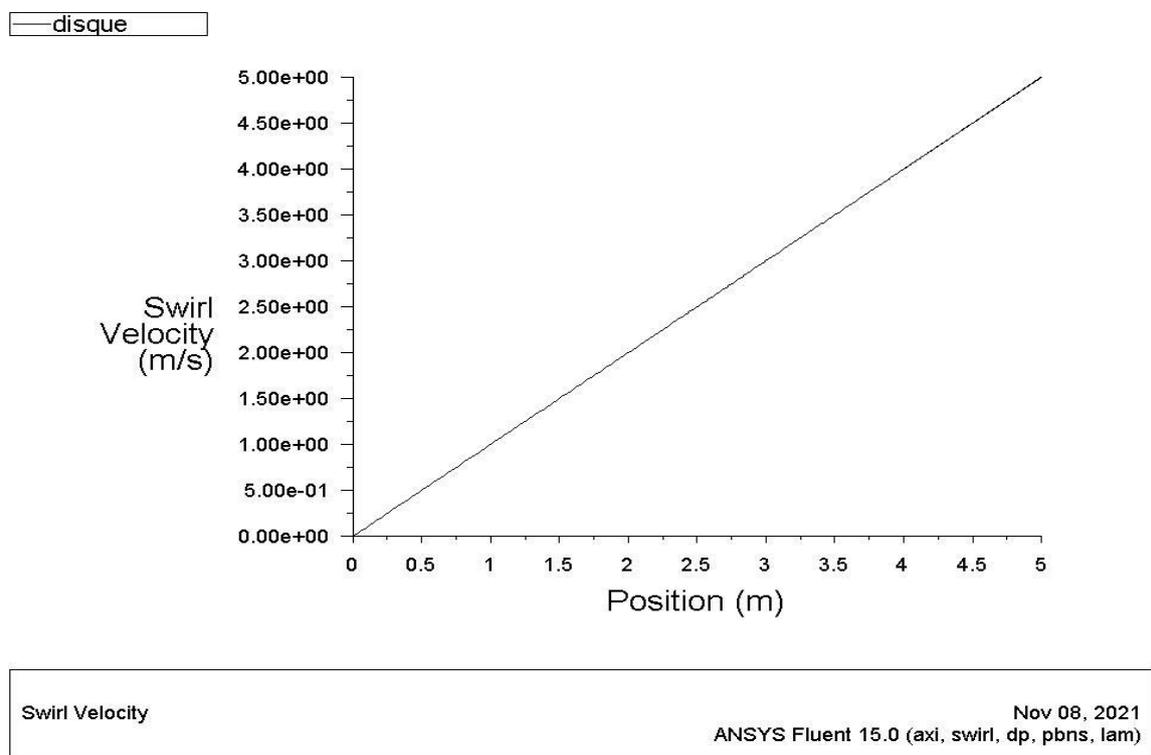


Figure III.21 : Variation de la vitesse tangentielle critique en fonction de la rotation de disque tournant avec une vitesse de 1 rad /s.

- Deuxièmement à $W_e = 0.1$ m/s.

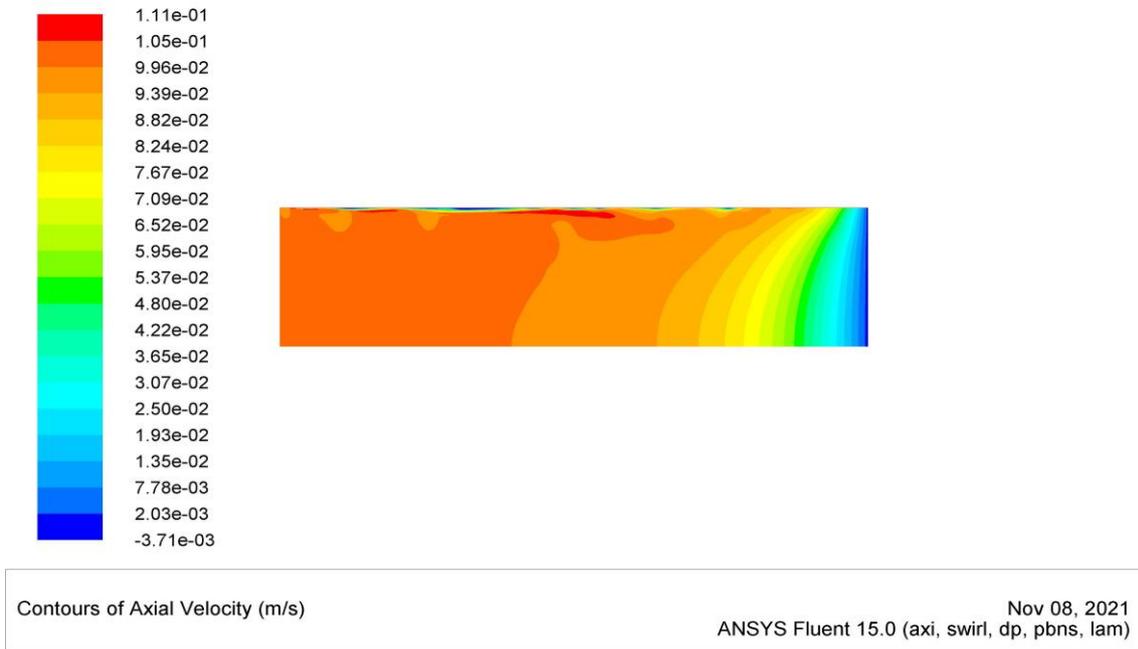


Figure III.22 : Distribution de la vitesse axiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.

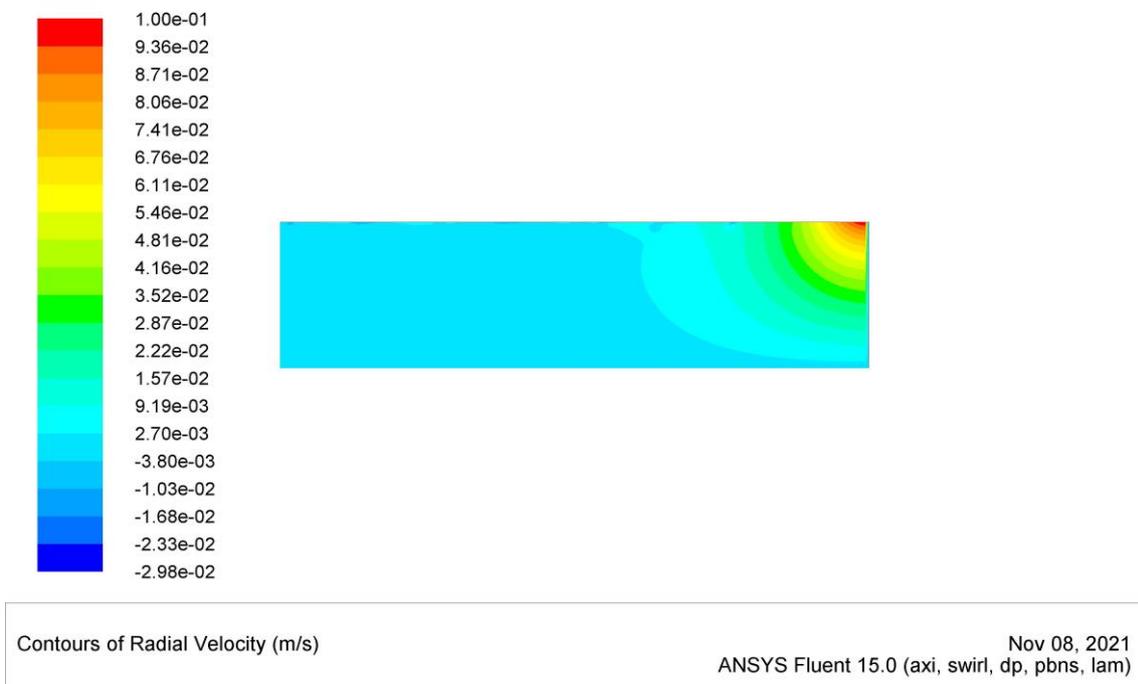


Figure III.23 : Distribution de la vitesse radiale pour un écoulement incident sur un disque tournant.

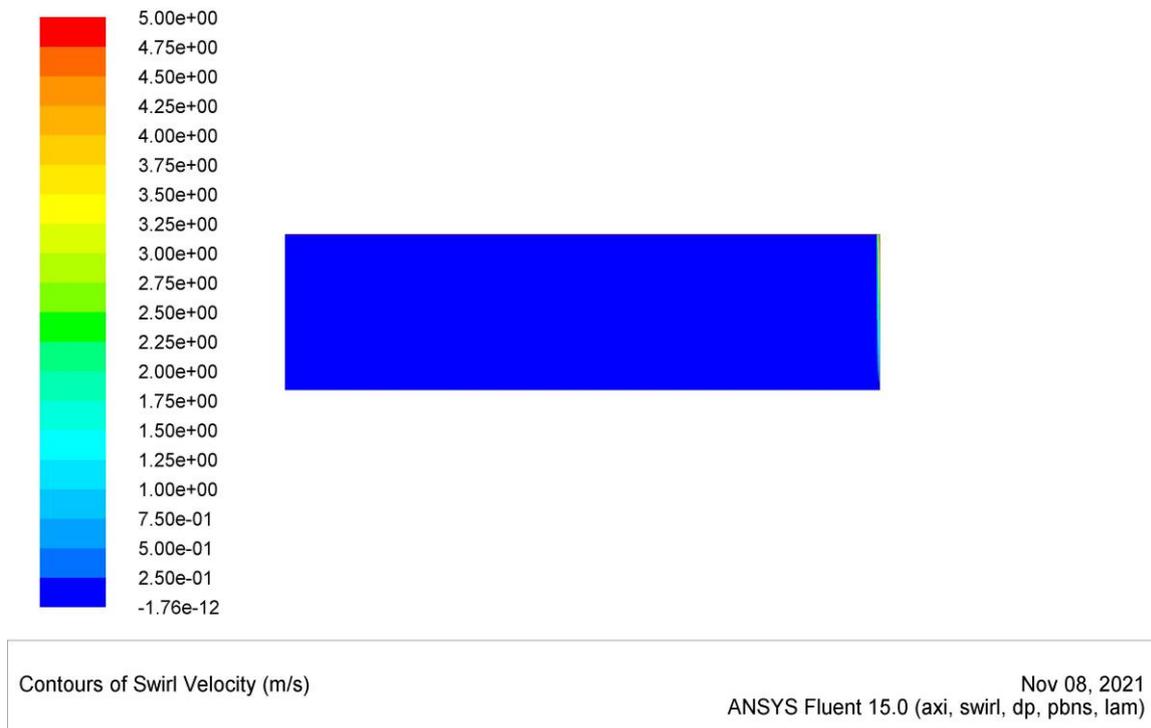


Figure III.24 : Distribution de la vitesse tangentielle pour un écoulement incident sur un disque tournant.

Les courbes suivantes montrent la variation des vitesses (axiale, radiale) en fonction de la hauteur de l'écoulement et le disque tournant (D) à $W_e = 0.1$ m/s.

Mi-hauteur :

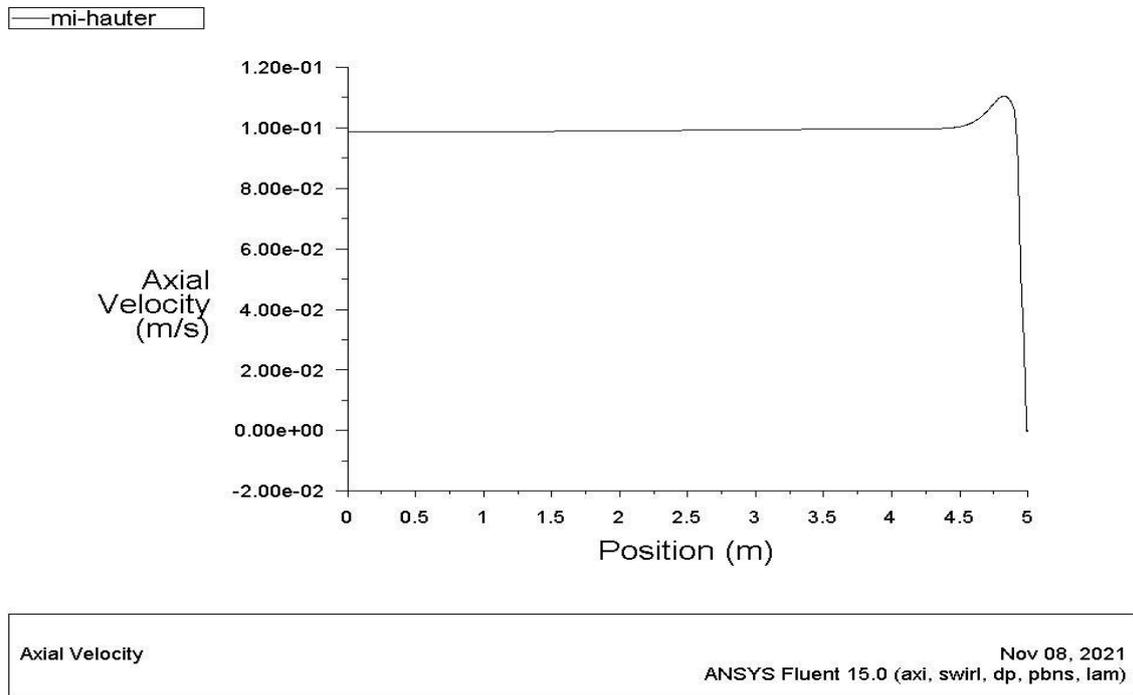


Figure III.25 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.

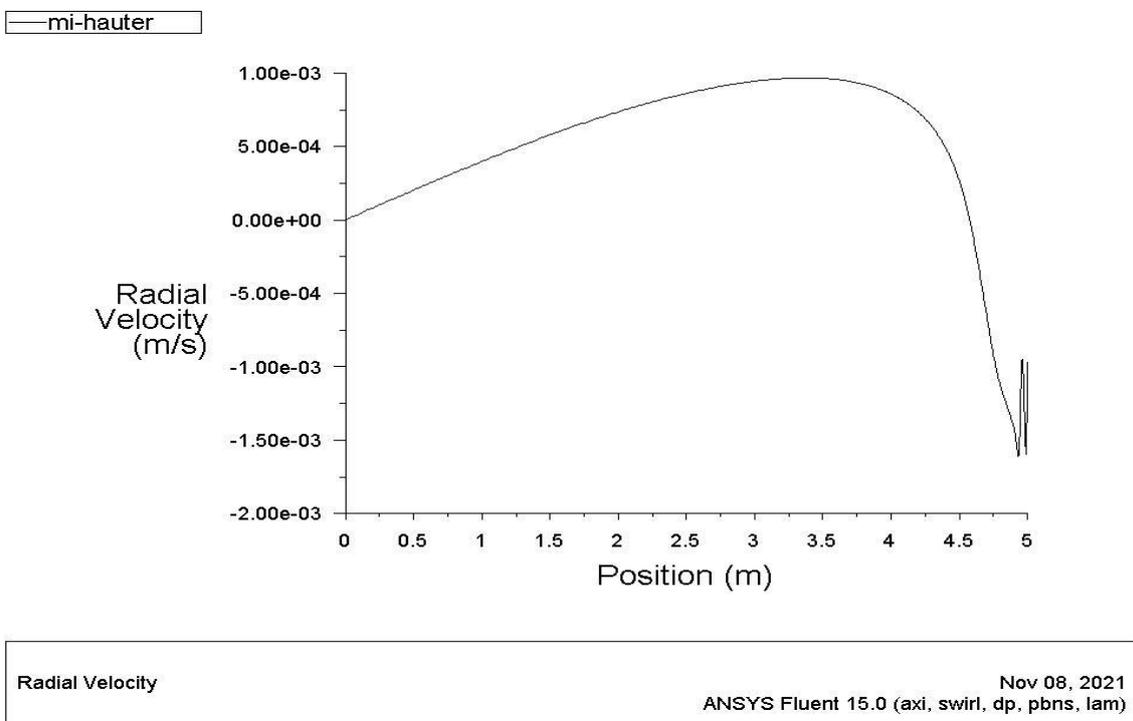


Figure III.26 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.

Mi-rayon :

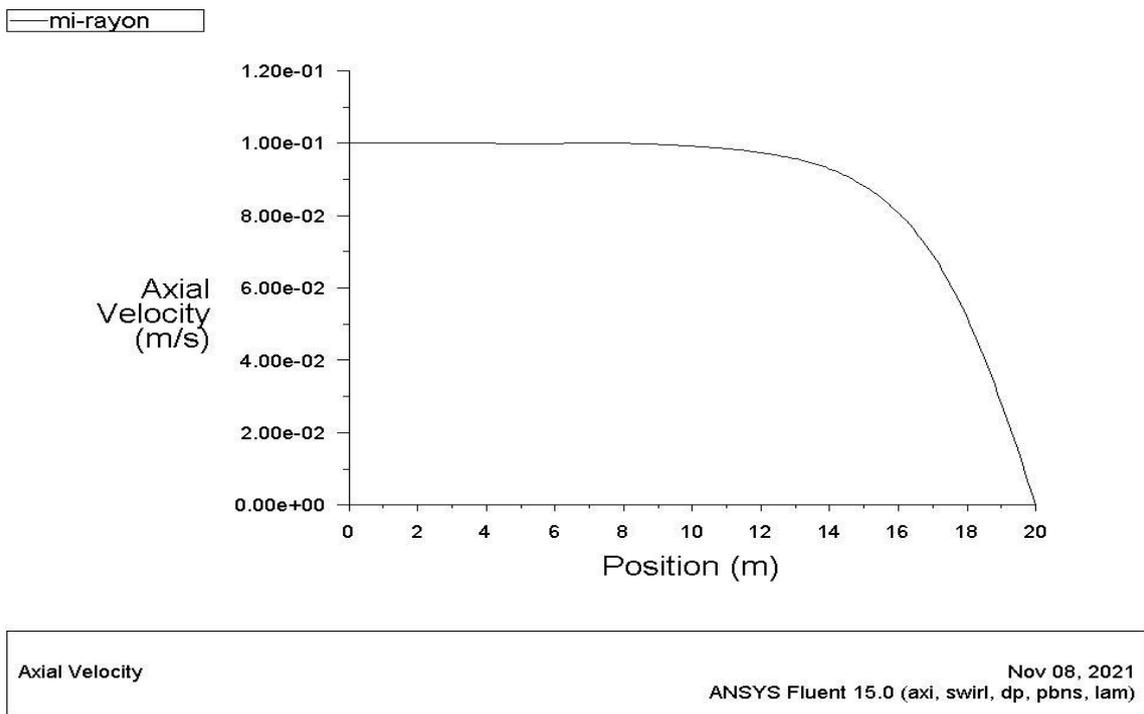


Figure III.27 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

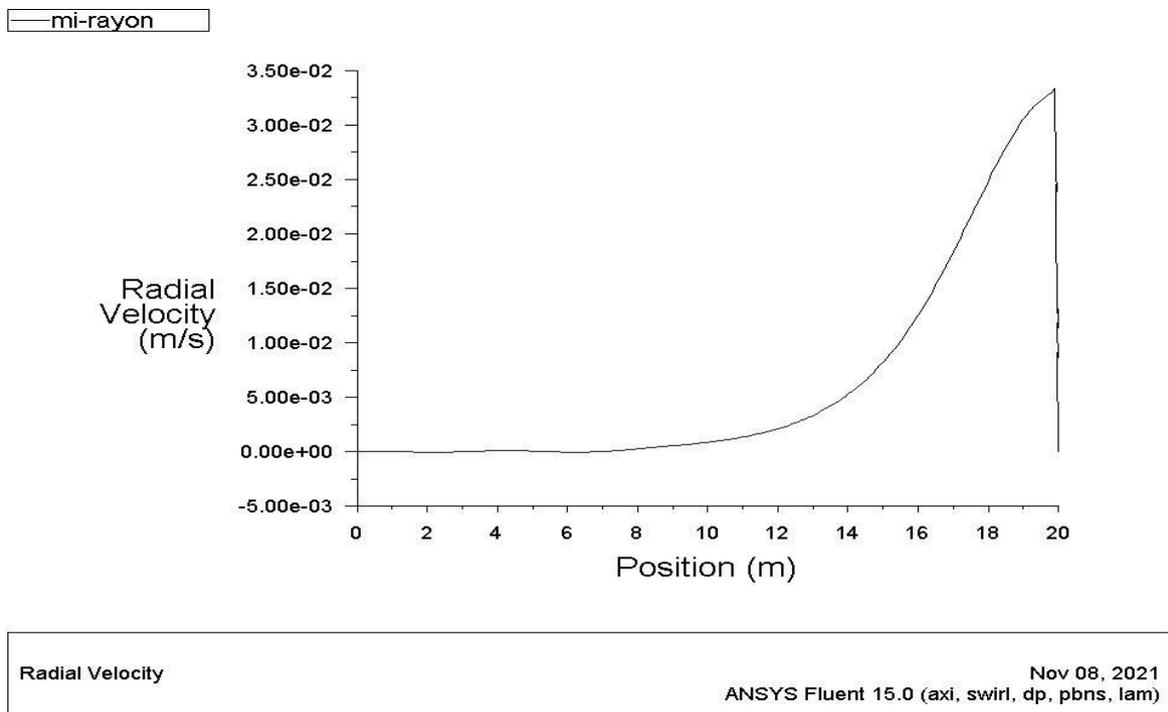


Figure III.28 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

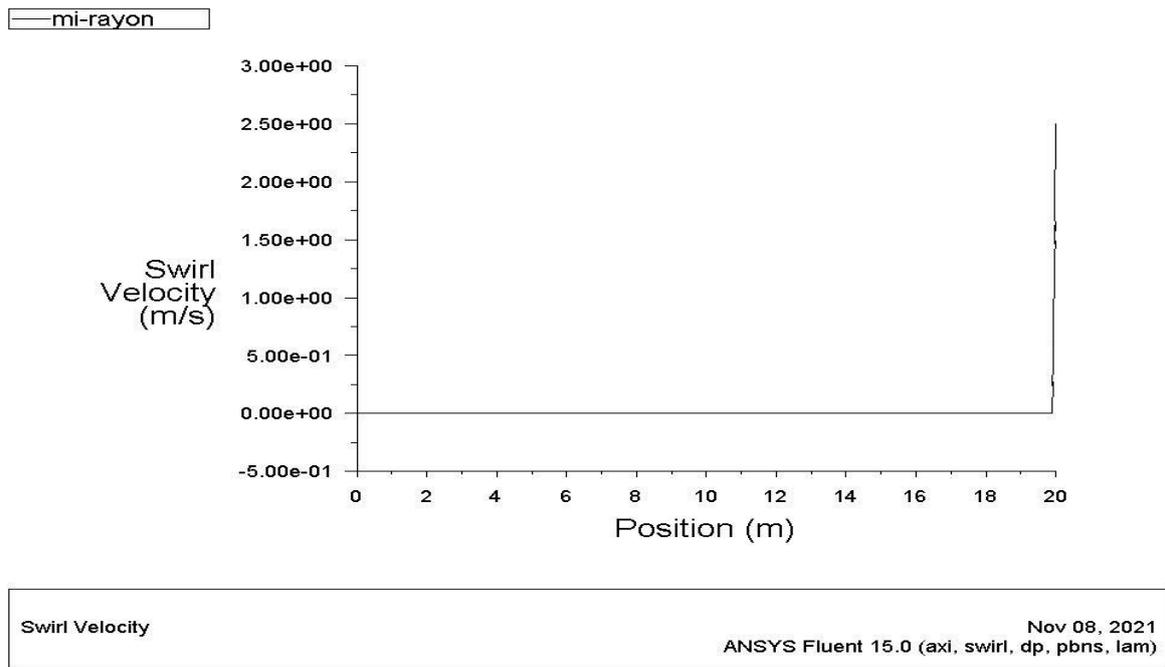


Figure III.29 : Variation de la vitesse tangentielle en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

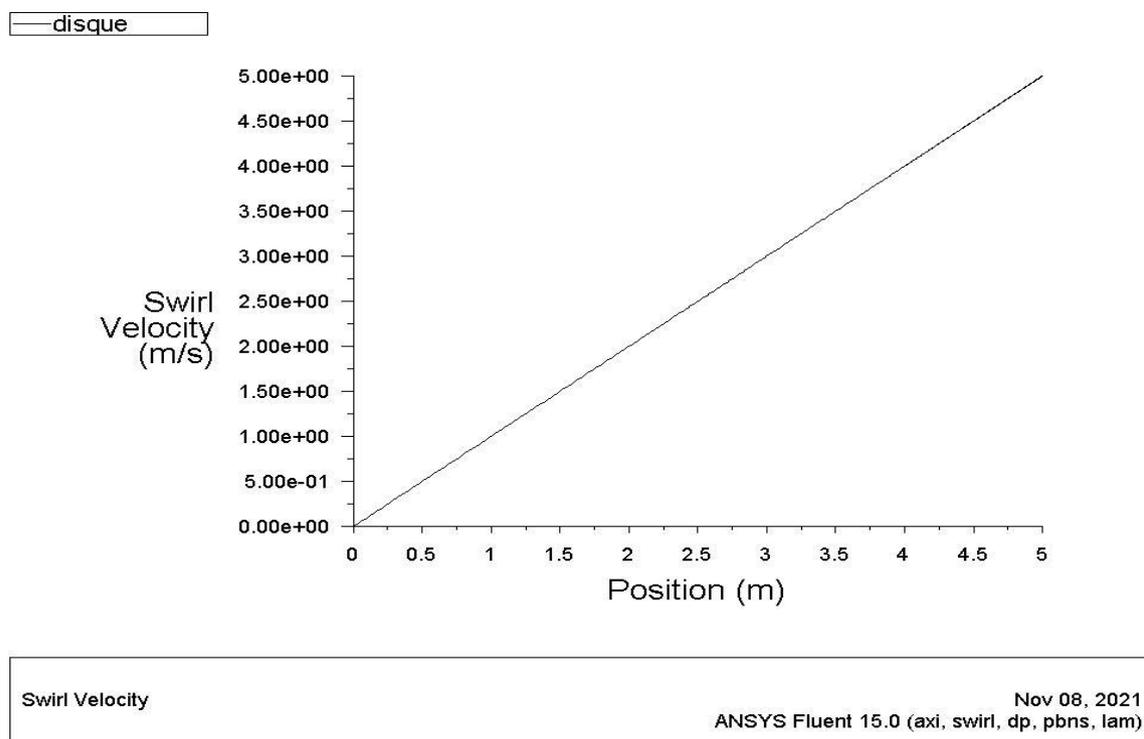


Figure III.30 : Variation de la vitesse tangentielle critique en fonction de la rotation de disque tournant avec une vitesse de 1 rad /s.

III.4. Comparaison des vitesses axial et radiale entre un disque fixe et tournant a une vitesse d'entrer $W_e = 0.1 \text{ m/s}$.

Mi-hauteur

Disque fixe

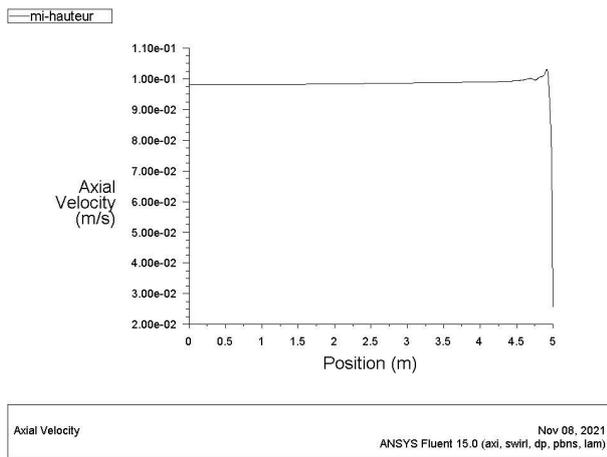


Figure III.9 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur.

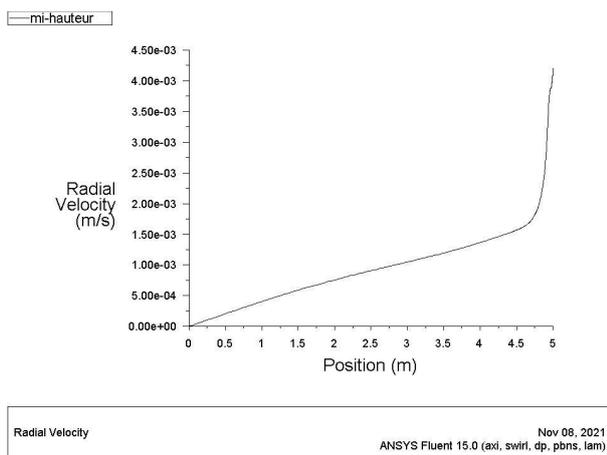


Figure III.10 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque à la Mi-hauteur

Disque tournant

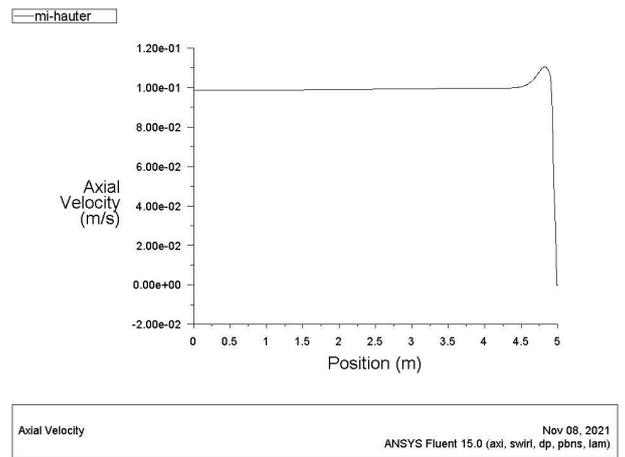


Figure III.25 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.

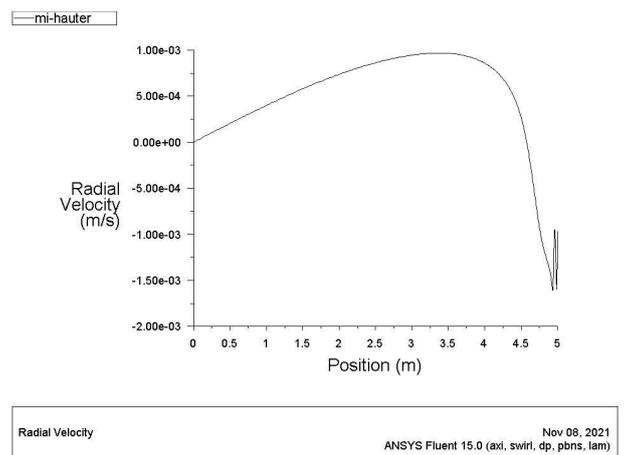


Figure III.26 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant à la Mi-hauteur.

Mi-rayon

Disque fixe

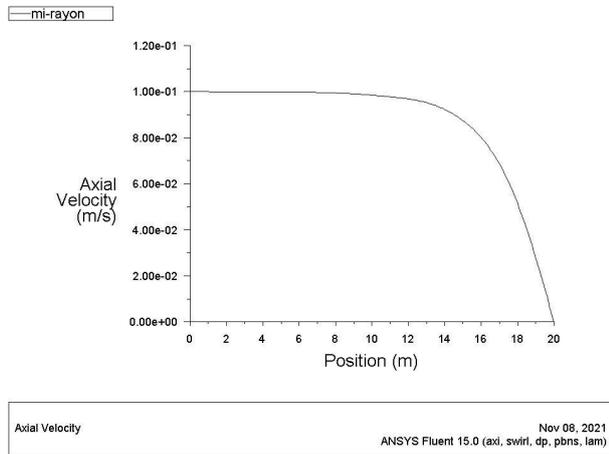


Figure III.11 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.

Disque tournant

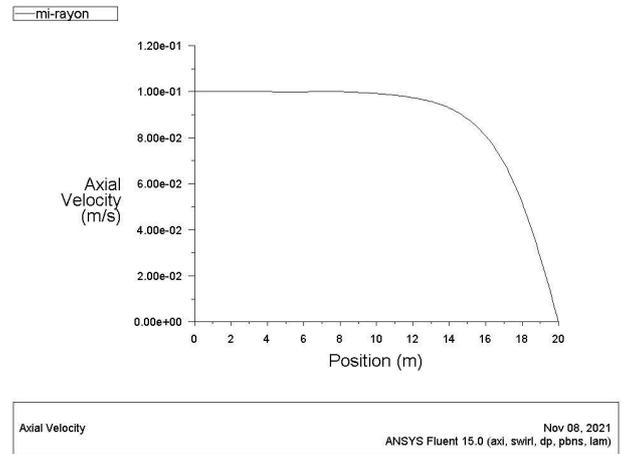


Figure III.27 : Variation de la vitesse axiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

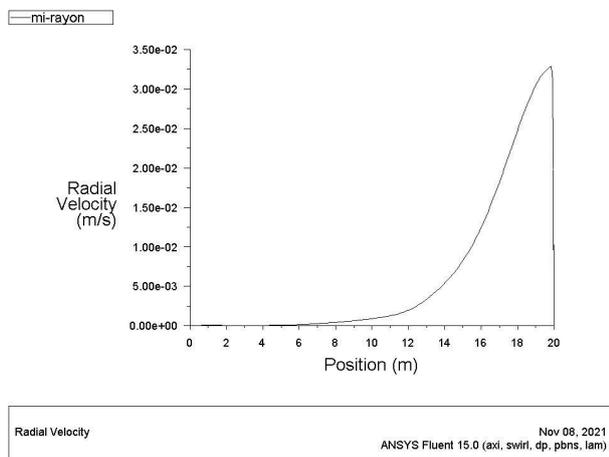


Figure III.12 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque au Mi-rayon.

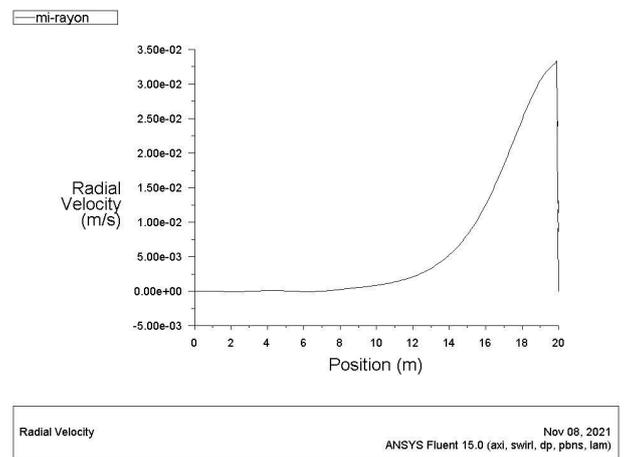


Figure III.28 : Variation de la vitesse radiale en fonction de la hauteur de l'écoulement incident et le disque tournant au Mi-rayon.

III.5. Commentaires :

III.5.1. Distribution de la vitesse:

- Cas d'un disque fixe a $W_e = 0.05$ m/s et $W_e = 0.1$ m/s :

Dans les deux cas on observe que la vitesse radiale est faible par rapport à la vitesse axiale

- La vitesse tangentielle est quasiment insignifiante dans le cas d'in disque fixe.

- Cas d'un disque mobile à $W_e = 0.05$ m/s et $W_e = 0.1$ m/s :

Pour les deux cas la vitesse axiale est très faible par rapport à la vitesse radiale puis elle diminue due aux contacte avec le disque.

On observe une augmentation progressive de la vitesse tangentielle jusqu'à ce quelle atteint sont point critique a l'extrémité du disque ($r=R$), et elle diminue en approchant de l'axe.

III.5.2. Variation de la vitesse :

III.5.2.1. Pour un disque fixe : a $W_e = 0.05$ m/s et $W_e = 0.1$ m/s.

Mi-hauteur :

Pour les deux cas, on observe l'augmentation progressive de la vitesse axiale jusqu'à ce qu'elle soit maximale à $r = R$ avec un signe positif puis elle s'annule brusquement.

- La vitesse radiale augmente légèrement puis elle s'annule à $r = R$.

Mi-rayon :

- Démunissions de la vitesse axiale avec un signe positif à mi- rayon jusqu'elle s'annule au contacte avec le disque.

- La vitesse radiale augmente à $r = R$ puis elle s'annule brusquement et elle est toujours positive.

III.5.2.2. Pour un disque tournant : à $W_e = 0.05$ m/s et $W_e = 0.1$ m/s.

Mi-hauteur :

On remarque la démission de la vitesse axiale avec un signe positif puis elle s'annule progressivement à $r=R$ pour les deux cas. Et une augmentation de la vitesse radiale avec un signe négative jusqu'à $r = R$ puis on remarque une démission de la vitesse toujours avec un signe positive pour les deux cas.

Une variation de la vitesse tangentielle en fonction de rayon, après elle converge vers 0.

Mi-rayon :

La vitesse axial augmente avec un signe positif jusqu'à ce qu'elle soit maximale a la mi-hauteur.

On remarque une augmentation de la vitesse radiale puis elle commence à diminuer progressivement jusqu'à ce qu'elle s'annule avec un signe négative.

La vitesse tangentielle augmente au contact avec le disque pour les deux cas, et elle est toujours positive.

La vitesse tangentielle augmente au niveau de disque d'une façon linéaire.

III.5.3. Comparaison des vitesses axiale et radiale entre les deux disques fixes et tournants à $W_e = 0.1$ m/s :

A travers les différentes courbes qu'on à observer pour une vitesse d'entré $W_e = 0.1$ m/s :

Pour les deux disques fixe et mobile, on à remarquer que la rotation de disque mobile avec une vitesse angulaire fixe ($\Omega = 1$ m/s) a un impacte positive sur l'augmentation de la vitesse radiale et tangentielle.

III.6. Conclusion

Après une différentiation entres les résultats obtenu lors de la simulation on a conclu que :

La vitesse axiale est faible par rapport a l'augmentation progressive des vitesses radiale et tangentielle due a la rotation du disque ($\Omega \neq 0$).

Les vitesses radiale et tangentielle sont faible par rapport a la vitesse axiale sur un disque fixe ($\Omega = 0$).

On remarque aussi que la variation des vitesses d'entrer n'influence pas sur la vitesse tangentielle si on prend un disque tournant ($\Omega \neq 0$) infini.

- On constate que le disque tournant fait augmenter la vitesse radiale selon R.
- La vitesse tangentielle atteint son maximum sur le disque tournant a $r = R$.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté l'étude d'un problème de la mécanique des fluides et plus précisément les écoulements incidents sur un disque fixe et tournant.

Après la présentation du phénomène, nous avons intéressé à la description physique du phénomène.

Pour bien élaborer les causes du problème, nous avons étudié deux expériences, l'écoulement incident d'un fluide newtonien en régime laminaire sur un disque fixe, et l'autre tournant en variant la vitesse d'entrée.

Lors de cette étude nous avons réalisé une simulation 2D pour un disque fixe et un disque tournant afin de faire une comparaison entre les deux cas étudiés, cette simulation a été réalisée avec le logiciel ANSYS fluent.

Cette simulation nous a permis de mieux comprendre la différence entre un écoulement incident sur un disque fixe et tournant, et nous avons constaté les résultats suivants :

- Les amplitudes de la vitesse (axiale, radiale et tangentielle) sont plus faibles dans le cas d'un disque fixe.
- La rotation de disque a une influence positive sur l'augmentation de la vitesse radiale et tangentielle.
- La variation de la vitesse d'entrée n'influence pas sur l'augmentation de la vitesse tangentielle, dans le cas d'un disque tournant infini, mais c'est la rotation de disque avec une vitesse angulaire fixe $\Omega = 1$ rad/s qui nous a permis d'observer une vitesse tangentielle critique à l'extrémité de disque $V_T = 4.995$ m/s.
- Pour un régime d'écoulement laminaire il est préférable d'utiliser des petites vitesses.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] **W.Ekman.** “On the influence of the Earth's rotation on ocean currents”, Ark. Math. Astr Fys. Vol 2, pp 1-52., 1905.
- [2] **Th.V.Karman.** “Über laminaire und turbulente Reibung, Zeitschr” .Angew.Math.Mech. Vol. 4, pp.233-252, 1921.
- [3] **K.Stewartson** “On the flow between two rotating coaxial disks”, Proc.Camb.Phil.Coc. Vol. 49, pp.333-341, 1953
- [4] **H.U.Vogel.** “Experimentelle Ergebnisse über die laminare Strömung in einem zylindrischen Gehäuse mit darin rotierender Scheibe”, MPI Bericht 6, 1968. “Rückströmungsblasen in Drallströmungen. Festschrift 50 Jahre Max- Plank-Institut für Strömungsforschung, 1975.
- [5] **B. Ronnenberg.** “Ein selbstjustierendes 3-Komponenten-Laserdoppleranemometer nach dem Vergleichsstrahlverfahren, angewandt für Untersuchungen in einer stationären zylindersymmetrischen Drehströmung mit einem Rückstromgebiet”, MPI Bericht 20, 1977.
- [6] **M. P. Escudier.** “Observations of the flow produced in a cylindrical container by a rotating end wall”, Experiments in Fluids, vol. 2, pp. 189-196, 1984.
- [7] **J.L.Stevens, J.M.Lopez et B.J. Cantwell.** "Oscillatory flow states in an enclosed cylinder with a rotating end wall" Journal of Fluid Mechanics.Vol.389, pp.101-118, 1999.
- [8] **S.C.Xue, N.Phan-Thien et R.I.Tanner.**"Fully three-dimensional, time-dependent numerical simulations of Newtonian and viscoelastic swirling flows in a confined cylinder Part I. Method and steady flows" J. Non-Newtonian Fluid Mech. Vol.87,pp.337- 367, 1999.
- [9] **F. Sotiropoulos et Y. Ventikos.** “The three-dimensional structure of confined swirling flows with vortex breakdown”, Journal of Fluid Mechanics, vol. 426, pp. 155-175, 2001.
- [10] **T. Mullin, J. J. Kobine, S. J. Tavener et K. A. Cliffe,**”On the creation of stagnation points near straight and sloped walls”, Physics of Fluids, vol. 12, N°2, 2000.

- [11] **G. Gauthier, P. Gondret et M. Rabaud.** "structure de l'écoulement entre deux disques tournants", XVème Congrès Français de Mécanique Nancy. 7 Septembre 2001.
- [12] **M.C.Thompson et K.Hourigan.** "The sensitivity of steady vortex breakdown bubbles in confined cylinder flows to rotating lid misalignment", Journal of Fluid Mechanics. Vol.496, pp.129-138, 2003.
- [13] **L. Mununga, K. Hourigan, M. C. Thompson et T. Leweke** "Confined flow vortex breakdown control using a small rotating disk", Physics of Fluids, vol. 16, N° 12, pp. 4750-4753, 2004.
- [14] **M. Pivaa et E. Meiburg** "Steady axisymmetric flow in an open cylindrical container with a partially rotating bottom wall", Physics of Fluids, vol. 17, 2005.
- [15] **J. M. Lopez, F. Marques et Jie Shen** "An Efficient Spectral-Projection Method for the Navier–Stokes Equations in Cylindrical Geometries " Journal of Computational Physics. Vol.176, pp.384-401, 2002.
- [16] **F. Moisy, T. Pasutto, G. Gauthier, P. Gondret et M.Rabaud.** "Instabilités spirales entre disques tournants", Laboratoire FAST, Orsay.
- [17] **G.K.Batchelor** "Note on a class of solutions of the Navier-Stokes equations representing steady rotationally-symmetry flow", Quart.Mech.1. pp.29-41, 1951.
- [18] **K.Stewartson** "On the flow between two rotating coaxial disks" ,Proc.Camb.Phil.Coc. Vol. 49,pp333-341,1953.
- [19] **Mme N. Cousin-Ritemard.** "Contribution à l'étude des instabilités des écoulements axisymétriques en cavité inter disques de type rotor-stator" Thèse de DOCTORAT de l'Université de PARIS 6. 1996.
- [20] Mémoire fin d'étude de l'étudiant **ACHOUR Imad et AFFOUN Idris.** " Étude de l'écoulement inter-disque d'un fluide non-newtonien" UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA. 2020.
- [21] Mémoire fin d'étude de l'étudiant **MAHFOUD Brahimet.** " Étude numérique d'un écoulement tournant avec transfert de chaleur sous l'effet d'un champ magnétique " UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE. 2009.

Résumé

Le travail réalisé dans ce mémoire a pour objectif de comprendre l'écoulement incident sur un disque, nous avons pris pour le premier cas un disque fixe et pour le deuxième cas un disque tournant.

Après la présentation de différentes formules mathématique ainsi que les hypothèses Simplificatrices, nous avons passé à la procédure numérique.

La géométrie est construite par le logiciel ANSYS fluent, et la simulation aussi faite par ce dernier.

Finalement les résultats obtenue nous on permet de faire une comparaison des vitesses axiales, radiales et tangentielles entre un écoulement incident sur un disque fixe et un disque tournant.

Mots clés : Disque fixe (1), Disque tournant (2), formules mathématique (3), procédure numérique(4), vitesses axiales, radiales et tangentielles(5)

Abstract

The objective of the work rebored in this thesis is to understand the incident flow on a disk; we have taken for the first case a fixed disk and for the second case a rotating disk.

After the presentation of different mathematical formulas as well as the Simplifying hypotheses, we moved on to the numerical procedure.

The geometry is built by the fluent ANSYS software, and the simulation also done by the latter.

Finally the results obtained allow us to make a comparison of the axial, radial and tangential speeds between an incident flow on a fixed disc and a rotating disc.

Keywords: Fixed disk (1), Rotating disk (2), Mathematical formulas (3), the numerical procedure (4), the axial, radial and tangential speeds (5).

Résumé

Le travail réalisé dans ce mémoire a pour objectif de comprendre l'écoulement incident sur un disque, nous avons pris pour le premier cas un disque fixe et pour le deuxième cas un disque tournant.

Après la présentation de différentes formules mathématique ainsi que les hypothèses Simplificatrices, nous avons passé à la procédure numérique.

La géométrie est construite par le logiciel ANSYS fluent, et la simulation aussi faite par ce dernier.

Finalemnt les résultats obtenue nous on permet de faire une comparaison des vitesses axiales, radiales et tangentielles entre un écoulement incident sur un disque fixe et un disque tournant.

Mots clés : Disque fixe (1), Disque tournant (2), formules mathématique (3), procédure numérique(4), vitesses axiales, radiales et tangentielles(5)

Abstract

The objective of the work rebored in this thesis is to understand the incident flow on a disk; we have taken for the first case a fixed disk and for the second case a rotating disk.

After the presentation of different mathematical formulas as well as the Simplifying hypotheses, we moved on to the numerical procedure.

The geometry is built by the fluent ANSYS software, and the simulation also done by the latter.

Finally the results obtained allow us to make a comparison of the axial, radial and tangential speeds between an incident flow on a fixed disc and a rotating disc.

Keywords: Fixed disk (1), Rotating disk (2), Mathematical formulas (3), the numerical procedure (4), the axial, radial and tangential speeds (5).