



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en
Filière : **Génie Mécanique**
Spécialité : **Installation Energétique et Turbomachines**

Présentée par : **Belaid Abdellah**

Thème

Etude expérimentale et numérique d'écoulement d'air à travers d'une vanne papillon

Soutenu le, 16/09/2021

Devant le Jury :

BAGHDAD Mohammed	Encadreur	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
BENLEFKI Abdelkrim	Examineur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt
MEDKOUR Mihoub	Examineur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2020-2021



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en
Filière : **Génie Mécanique**
Spécialité : **Installation Energétique et Turbomachines**

Présentée par : **Belaid Abdellah**

Thème

Etude expérimentale et numérique d'écoulement d'air à travers d'une vanne papillon

Soutenu le, 16/09/2021

Devant le Jury :

BAGHDAD Mohammed	Encadreur	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
BENLEFKI Abdelkrim	Examineur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt
MEDKOUR Mihoub	Examineur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2020-2021

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur Dr. M. BAGHDAD. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé pour obtenir du diplôme de Master académique en génie mécanique, spécialité Installation Energétique et Turbomachines.

Je remercie mes très chers parents, Abdelkader et Kheira, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs, et mes frères, pour Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous les enseignants qui ont contribué à notre formation à l'université de Tissemsilt, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Dédicace



Je dédie ce modeste travail :

À mon très Cher Père.

À ma très Chère Mère

À tous mes Frères.

À tous mes Sœurs.

À mes chers et fidèles Amis.

À toute la famille Belaid.

À toute la promotion Génie mécanique.

Belaid Abdellah

Résumé

Une étude expérimentale et numérique de l'écoulement de l'air sur une vanne papillon à l'aide du code commercial FLUENT a été mise en œuvre. L'étude se concentre sur l'investigation de la caractéristique d'écoulement pour la vanne de 100 mm de diamètre fixée dans un conduit de 1000 mm de longueur. Dans l'analyse, les positions du disque ont été fixées à 90° (complètement ouvert), 45° et 30° et un changement des vitesses d'entrée de 0.5 et 2 m/s. Le profil de vitesse, la distribution de pression, l'énergie cinétique de la turbulence et l'intensité de la turbulence sont les paramètres utilisés pour présenter les caractéristiques de l'écoulement. D'après les résultats obtenus, la turbulence de l'écoulement commence aux bords du disque de la vanne et augmente selon le cas spécifié. Ces tourbillons et la région de circulation sont générés toujours dans la région en aval derrière le disque de vanne. Ils sont formés en raison du contact entre les chemins de vitesses plus élevées et plus faibles.

Abstract

An experimental and numerical study of the air flow on a butterfly valve using the commercial code FLUENT was carried out. The study focuses on investigating the flow characteristic for the 100mm diameter valve fixed in a 1000mm long pipe. In the analysis, the positions of the disc were set at 90° (fully open), 45° and 30° and input velocities change of 0.5 and 2 m / s. The velocity profile, the pressure distribution, the kinetic energy of the turbulence and the intensity of the turbulence are the parameters used to present the characteristics of the flow. Based on the results, the flow turbulence begins at the edges of the valve disc and increases as specified. These vortices and the circulation region are always generated in the downstream region behind the valve disc. They are formed due to the contact between the paths of higher and lower speeds.

التلخيص

تم تنفيذ دراسة تجريبية وعددية لتدفق الهواء حول صمام الفراشة باستخدام الكود التجاري FLUENT. تركز الدراسة على فحص خصائص التدفق للصمام بقطر 100 مم مثبت في انبوب بطول 1000 مم. في التحليل، تم ضبط مواضع القرص على 90° (مفتوح بالكامل)، 45°، 30°، وتغيير سرعات الدخول من 0.5 إلى 2 م/ث. توزيع السرعة، الضغط، الطاقة الحركية للاضطراب و شدة الاضطراب. هي المعلومات المستخدمة لعرض خصائص التدفق. النتائج المخبرية أظهرت توافقاً متقارباً مع نتائج التحليل العددي. بناء على النتائج، يبدأ اضطراب التدفق عند حواف قرص الصمام ويزداد حسب الحالة المحددة (في النتائج المخبرية عند اضطراب التدفق يبدأ بسماع ضجيج). وتتشكل دوامات ومناطق دوران دائماً في منطقة المصب خلف قرص الصمام. سبب تشكلها هو اتصال (امتزاج) بين مسارات السرعات

الاعلي مع السرعات الادني.تم ايجاد ان تاثير التدفق يكون ضئيل ولكن عند الاقتراب من زاوية الاغلاق 45 ° ، يصبح التدفق حول صمام الفراشة شديد الاضطراب. وعند زيادة زاوية اغلاق قرص الصمام ، يصبح الضغط اكبر واكبر.يقترح عدم تثبيت او استخدام صمام الفراشة بالقرب من الزوايا المغلقة تماما.

Nomenclature

Notations latines

k	Energie cinétique turbulente
L	Longueur de tuyau
t	Temps [s]
U	Vecteur de vitesse [m/s]
V	Volume [m ³]
P	La pression [Pa]
s	Surface [m ²]
x_i, x_j	Les coordonnées arbitraires
D	Diamètre [m]
u	Vitesse turbulente
m	Masse [kg]
u, v, w	Composants de vitesse [m/s]
$C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, C_{mu}$	Coefficients numériques

Les indices

i	Vecteur unitaire suivant x
j	Vecteur unitaire suivant y

Symbole Grecque

α	angle de fermeture
ρ	Densité [kg/m ³]
μ	Viscosité dynamique [N.s/m ²]
ε	Taux de dissipation Energie cinétique turbulente
σ	Coefficient Energie cinétique turbulente

Nombres sans dimensions

Re	Nombre de Reynolds
------	--------------------

Abréviation

CFD	Computational Fluid Dynamics.
DN	Diamètre nominal en mm
RANS	Reynolds Average Navier –Stokes

Liste de figures

Figure.2.1	Les composants de la vanne papillon.....	8
Figure.2.2	Vanne papillon style wafer.....	9
Figure.2.3	Vannes papillon à oreilles.....	10
Figure.2.4	Vannes papillon à brides.....	10
Figure.2.5	Vannes papillons soudées.....	11
Figure.2.6	Vannes papillons revêtues.....	11
Figure.2.7	Vannes papillon en métal.....	11
Figure.2.8	Vannes papillon à décalage zéro.....	12
Figure.2.9	Vannes papillon double excentration.....	13
Figure.2.10	Vannes papillon triple excentration.....	14
Figure.3.1	Banc d'essai d'un ventilateur radial.....	18
Figure.3.2	Éléments de commande et d'affichage.....	19
Figure.3.3	Manomètre à tube en U.....	20
Figure.3.4	Extérieur de la vanne papillon.....	21
Figure.3.5	Les trois angles de la vanne papillon utilisée dans l'expérience.....	21
Figure.4.1	Domaine de simulation physique et géométrie d'une vanne papillon à l'intérieur d'un tube cylindrique.....	25
Figure.4.2	maillage vanne papillon a l'intérieur d'un tube cylindrique.....	28
Figure.4.3	maillage 3 vanne papillon a l'intérieur d'un tube cylindrique.....	29
Figure.4.4	Facteurs de sous relaxation et types de discrétisation utilisés.....	31
Figure.5.1	Champs de vitesse pour différents angles de fermeture du disque et vitesse d'entrée 1 m/s.....	34
Figure.5.2	Ligne de courant pour différents angles de fermeture du disque et vitesse d'entrée 1 m/s.....	35
Figure.5.3	Variation de la répartition de la pression à différents angles de fermeture et vitesse d'entrée de 1 m/s.....	36
Figure.5.4	Le changement d'énergie cinétique turbulente à différents angles de fermeture et vitesse d'entrée de 1 m/s.....	37
Figure.5.5	Variation de l'intensité de la turbulence à différents angles de fermeture et vitesse d'entrée 1 m/s.....	38
Figure.5.6	Contours de vitesse avec différentes vitesses d'entrée pour un angle de fermeture de 45°.....	39
Figure.5.7	Répartition de la pression pour différentes vitesses d'entrée à un angle de	40

	fermeture de 45°	
Figure.5.8	Energie cinétique turbulente à différentes vitesses d'entrée à un angle de fermeture de 45°	41
Figure.5.9	Variation de l'intensité de la turbulence pour différentes vitesses d'entrée à 45°	42

Liste de tableaux

Tableau.3.1	Les valeurs de vitesse d'entrée pour les 3 angles d'ouverture.....	24
Tableau.3.2	Les Résultat Pression différentielle pour les 3 angles d'ouverture.....	24
Tableau.4.1	Conditions aux limites.....	24
Tableau.4.2	Coefficients empiriques du modèle k- ϵ standard dans Ansys-Fluent 19.....	28
Tableau.4.3	Types de conditions aux limites.....	29
Tableau.4.4	Nombre de cellules pour chaque maillage.....	30
Tableau.4.5	Propriétés thermophysiques de l'air.....	31

Sommaire

Nomenclature.....	i
List des figures.....	ii
List des tableaux	iv
Sommaire.....	v

Chapitre 1 Analyse Bibliographique

1.1	Introduction.....	1
1.2	Analyse bibliographie.....	1
1.3	Objectifs du mémoire.....	5

Chapitre 2 Généralités sur Les Vannes

2.1	Historique des vannes.....	6
2.2	Les vannes papillon.....	7
2.2.1	Définition.....	7
2.2.2	Les composants de la vanne papillon.....	7
2.2.3	Types de vannes papillon.....	9
	<i>a.</i> Vannes papillon style wafer.....	9
	<i>b.</i> Vannes papillon à oreilles.....	10
	<i>c.</i> Vannes papillon à brides.....	10
	<i>d.</i> Vannes papillons soudées.....	11
	<i>e.</i> Vannes papillons revêtues.....	11
	<i>f.</i> Vannes papillon en métal.....	11
	<i>g.</i> Vannes papillon à décalage zéro.....	12
	<i>h.</i> Vannes papillon double excentration.....	13
	<i>i.</i> Vannes papillon triple excentration.....	14
2.2.4	Avantages et limites des vannes papillon.....	14
2.2.5	Inconvénients des vannes papillon.....	15
2.2.6	Applications typiques des vannes papillon.....	15
2.3	Conclusion	15

Chapitre 3 Partie Expérimentale

3.1	Introduction.....	17
3.2	Description du dispositif.....	17
3.3	Méthodes et moyens de mesures sur les banc d'essai.....	18
3.3.1	Réglage et mesure la vitesse de rotation.....	18
3.3.2	Mesure de la pression différentielle avec manomètre à tube en U.....	19
3.3.3	Réglage de la position de vanne papillon.....	20
3.4	Résultats et discussion expérimental.....	22
3.4.1	Discussion du résultat.....	23
3.5	Conclusion.....	23

Chapitre 4 Modélisation et mise en équations

4.1	Introduction.....	24
4.2	Description du problème	24
4.3	Equation de base.....	25
4.3.1	Les équation des continuités.....	25
4.3.2	Les équation de navires stocks	26
4.4	Modèle de turbulence.....	26
4.5	Résolution numérique	28
4.5.1	Étude de maillage.....	28

Chapitre 5 Résultats et discussion

5.1	Introduction.....	33
5.2	Résultat et discussions.....	33
5.2.1	Effet de l'angle de fermeture	33
5.2.2	Effet des vitesses dentrée.....	38
	Conclusion générale.....	43
	Références.....	45

Chapitre 01

Analyse bibliographique

1.1 Introduction

L'écoulement de fluides dans les conduites présent dans divers domaines industriel, alimentaire, transport des fluides, etc... Le débit élevé peut provoquer plusieurs perturbations et pertes de charges, c'est pourquoi pour contrôler le débit de fluide, une vanne est utilisée.

La vanne papillon est un mécanisme qui permet de réguler le débit en faisant tourner le disque à plusieurs angles différents. Il est généralement utilisé dans les tuyaux de grand diamètre, que ce soit en ralentissant, en accélérant ou en arrêtant le débit. Les vannes papillon sont préférées dans diverses applications pour leur légèreté, faible coût. Il existe plusieurs types et classifications de vannes papillon, et chacune a ses propres caractéristiques, telles que les limites de son utilisation à des températures et des pressions élevées., ...etc.

L'utilisation courante de la vanne papillon en a fait le centre d'attention des chercheurs et des scientifiques, qui cherchent à ajouter des améliorations et des développements à la vanne papillon pour améliorer son efficacité de travail et au coût le plus bas possible. Les résultats de laboratoire sur la vanne papillon sont très coûteux et prennent beaucoup de temps, les chercheurs et scientifiques ont donc recours au dessin et à la simulation numérique de la vanne papillon, ou à ce qu'on appelle la CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

La CFD est une branche de la mécanique des fluides qui utilise l'analyse numérique et les structures de données pour modéliser, analyser et résoudre les problèmes liés à l'écoulement des fluides. Des calculateurs de capacités élevées sont utilisés pour simuler l'écoulement libre de fluides avec différentes surfaces et formes [1].

1.2 Analyse bibliographie

Des nombreuses études antérieures sur l'écoulement de différents fluides sur la vanne papillon au cours des années précédentes, ce qui à son tour aide à contrôler le débit des fluides. Des études ont été menées pour réduire de nombreux phénomènes tels que les tourbillons, l'érosion, les vibrations, le bruit etc...

Xue et Young (2007) ont fait une simulation 3D de la vanne papillon en utilisant le code commercial CFX. Les coefficients de perte de charges et le coefficient de couple hydrodynamique avec différents angles d'ouverture, et les résultats obtenus de simulation sont comparés avec les mesures expérimentales. Les résultats ont montré que plus le degré d'ouverture de la vanne est élevé, moins il y a de zones dans lesquelles apparaissent des tourbillons, plus l'écoulement du fluide devient régulier et la chute de pression apparaît similaire à la diminution du couple. Le coefficient de couple hydrodynamique augmente lentement avec l'augmentation d'angle d'ouverture de la vanne, et lorsqu'il atteint 80°, il diminue très rapidement [2].

Une analyse de l'écoulement autour d'un disque de la vanne papillon est étudié numériquement en utilisant la méthode d'élément finis par **Song et al.**, (2008). Les résultats ont montré que l'utilisation de Metamodel la taille du disque papillon a été réduite de 7.05% de la taille d'origine, ce qui entraînerait une réduction de l'utilisation des matériaux et une pénurie de coût de fabrication tout en maintenant la même efficacité [3]. **Wang et al.**, (2009) faire une étude le champ d'écoulement et son efficacité sur une vanne papillon de grande taille avec un diamètre de 2.2 m, à l'aide d'une simulation. Un modèle tridimensionnel de la vanne papillon est dessiné. Les résultats ont montré que ce type de vanne n'est pas sûr lorsqu'elle est ouverte à 15° ou lorsqu'elle est complètement fermée. Il est recommandé de réaliser une vanne sûre pour ce type de vanne en développant et en améliorant les dimensions, en renforçant la structure et en réduisant le poids de la vanne autant que possible [4]. **Shin et al.**, (2010) ont réalisé une analyse de la structure du corps et du disque de la vanne papillon par simulation numérique (Ansys 11), ceci afin de s'assurer de l'intégrité de la conception et de sa capacité à résister à la pression résultant des fluides. Deux types de pression ont été testés pour le sens de rotation positif et négatif. Les résultats ont montré que le corps de la vanne en fonctionnement normal et le test du boîtier que la conception de la vanne papillon était pratique et sûre à utiliser, tandis que le test du disque de vanne a montré que la direction négative provoquait une déformation et des distorsions du disque, contrairement à la direction positive [5].

À l'aide d'un simulateur CFD commercial de Fluent, une analyse numérique de deux types de vannes papillon pour les conduites d'alimentation en eau a été réalisée par **Jeon et al.**, (2010), une vanne papillon à simple disque et à double disque. Le coefficient de débit, le coefficient de perte, la distribution de pression, le type de vortex et d'autres caractéristiques ont été comparés. Les résultats numérique ont été validé par les mesures expérimentales, il a été constaté qu'il n'y avait aucune différence d'efficacité entre la vanne papillon à disque

unique et à double disque, et la vanne papillon à double disque présentait un débit complexe, tourbillons, recirculation à l'arrière du disque par rapport à la vanne papillon à simple disque [6].

Sandalci et al., (2010) faire une étude sur l'effet de débit sur deux types différents de vanne papillon, DN65 et DN80. Pour comparer les performances des deux vannes, ils appuient sur le coefficient de perte, le coefficient de débit, la perte de pression. Les résultats ont montré que le coefficient de débit n'est pas lié à la vitesse d'entrée, mais dépend plutôt de la taille de la vanne, et aussi le coefficient de perte dépend de la taille de la vanne et n'a rien à voir avec la vitesse d'entrée [7]. La CFD est utilisée pour prédire le couple d'ouverture et la fermeture d'une vanne papillon d'alimentation en eau de la rivière par **Henderson et al.**, (2011). Les facteurs qui affectent les résultats sont : nombre de Reynolds, écoulement instable, et les résultats sont comparés aux mesures du champ de vanne pleine grandeur. Les résultats numériques ont montré de forts tourbillons dans le modèle d'écoulement en aval, et l'écoulement devient instable à différents angles d'ouverture [8].

une nouvelle conception du type de vanne papillon appelle une plaque de valve asymétrique a été étudié à l'aide de la simulation numérique par **Wang et al.**, (2012). Les résultats obtenus à partir de la simulation numérique ont montré que le nouveau type de vanne papillon améliore les propriétés de l'écoulement [9].

Ghaleb et al., (2013) faire une étude numérique pour les caractéristiques du débit d'eau sur la vanne papillon à l'aide du code Fluent, la vanne est de diamètre 38 mm installée dans un tube de 40 mm de longueur 500 mm, avec différentes vitesses initiales à différents angles d'ouverture. Les résultats obtenus ont montré la turbulence de l'écoulement sur les bords du disque et elle augmente avec la différence de situation, les tourbillons et les régions de filage se forment toujours dans les régions de coulée derrière le disque de soupape, et il a été constaté que l'effet d'écoulement devient faible avec l'augmentation de l'angle de fermeture, et à un angle de 55°, le débit devient très turbulent et la pression augmente progressivement avec l'augmentation de l'angle du disque d'arrêt de la vanne [10].

Azad et al., (2014) ont été étudié les propriétés d'écoulement sur la soupape papillon. La simulation numérique de la vanne avec des dimensions équilibrées de 1/3, à l'aide de CFX 12 à différents d'angle d'ouverture, a présenté l'effet de l'écoulement sur le coefficient d'écoulement et le coefficient de perte de charge. Les résultats ont été comparés aux mesures expérimentales. Les résultats montrent l'effet de la vitesse d'écoulement élevée avec une vanne à un angle accrue, le débit devient plus régulier avec une augmentation d'angle d'ouverture [11].

Pour prédire les caractéristiques du débit, de couple et le coefficient de perte de charge d'une vanne papillon modèle STC 50 DN; **Said et al.**, (2014) ont été comparé les résultats de la simulation numérique avec les mesures de l'expériences. Ils montrent qu'il existe une relation entre l'angle d'ouverture de la vanne et les différents paramètres. La CFD montre une zone de turbulence pour un angle ouvrant le disque de 40° à 50° [12].

Une étude est menée pour la vanne papillon utilisée dans le système rotatif de purification d'eau d'une centrale nucléaire par **Liu et al.**, (2017), en utilisant la simulation numérique, un modèle a été construit pour simuler la cavitation et la corrosion des particules. La validation des résultats est confirmée par comparaison avec les résultats de laboratoire en testant l'effet de l'angle d'ouverture sur le coefficient de débit dans différents facteurs. Les résultats ont montré que l'érosion de la valve papillon se produit principalement dans la partie antérieure et postérieure du disque de la valve. Lorsque la pression d'entrée augmente, la vitesse augmente et le débit augmente pour augmenter la contrainte de cisaillement de la paroi, ce qui provoque l'érosion des particules, et lorsque l'angle d'ouverture de la vanne diminue, l'intensité de la turbulence d'écoulement diminue, ce qui réduit le processus d'usure du disque [13].

Zhou et al., (2017) fait la simulation numérique CFD pour évaluer le coefficient d'écoulement d'une vanne. Les résultats ont montré que la simulation numérique peut prédire avec précision le coefficient d'écoulement pour différents types de vannes, et donne ainsi des résultats approximatifs qui peuvent être utilisés pour fabriquer des vannes [14].

Ezkurra et al., (2018) ont été simulé l'effet des manœuvres dynamiques et les phénomènes associés des différents angles d'ouverture au moyen d'approches unidirectionnelles et bidirectionnelles. La modélisation bidirectionnelle fournit des résultats plus précis. Les résultats ont montré que cette approche est capable de déterminer l'angle de fonctionnement critique, grâce à quoi, en utilisant l'approche unidirectionnelle, on peut connaître le champ de déformation du disque, mais pour une amélioration supplémentaire, une simulation bidirectionnelle doit être effectuée [15].

Kwak et al., (2019) ont été étudiée les performances d'une vanne papillon à trois cylindrées avec un nouveau type de joint utilisant de l'acier inoxydable dans les centrales électriques à cycle combiné. Les résultats ont montré que la vanne, avec les améliorations supplémentaires de l'acier et du graphite, a amélioré les performances des turbines à haute température, ce qui a augmenté la capacité de production d'électricité. Il est également recommandé pour une utilisation dans divers domaines industriels différents [16].

Palau et al., (2019) ont été comparé entre un robinet-vanne et une vanne papillon dans différentes configurations hydrauliques à l'aide d'une simulation numérique CFD. les vannes

ont été placées à 3D du tuyau et à différents angles d'ouverture. Les résultats CFD sont vérifiés par des tests empiriques. Les résultats confirment que l'installation utilisée pour le robinet-vanne et la vanne papillon est utilisable et capable d'estimer les erreurs causées par les installations hydrauliques. Selon l'analyse, il a été constaté que chacune des deux vannes devrait être placée à trois diamètres de la conduite à partir du début du compteur pour obtenir des mesures plus précises [17].

1.3 Objectifs du mémoire

Dans cette étude, nous étudions expérimentalement et numériquement l'écoulement d'air dans banc d'essai de soufflant autour d'une vanne papillon. Le régime de l'écoulement a été varié pour plusieurs vitesses. Une comparaison entre les mesures des essais et les résultats de la simulation numérique en termes de pertes de charges dans la vanne.

Le mémoire est structuré en cinq chapitres et une conclusion générale. Le premier chapitre consiste, tout d'abord, à présenter une légère revue bibliographique englobant des travaux expérimentaux et numériques sur les écoulements et le phénomène dans une vanne papillon. Ensuite, l'objectif de la présente étude est précisé. Il a été jugé utile d'inclure un chapitre présentant une généralité sur les vannes. Dans le troisième chapitre, en détaillant le banc d'essai et les instruments de mesures ainsi que les méthodes et les étapes d'expériences. La formulation mathématique, la physique du problème, les conditions aux limites et la méthode de résolution seront étalés dans le quatrième chapitre de ce mémoire. Le cinquième chapitre est réservé à la présentation des résultats de l'expérience et de la simulation numérique.

Chapitre 02

Généralités sur les vannes

2.1 Historique des vannes

Dans les temps anciens, il n'y avait pas beaucoup d'informations sur les méthodes utilisées pour contrôler l'écoulement des fluides. Avant l'époque grecque et romaine, certaines vannes du barrage étaient utilisées pour retenir l'eau destinée à l'irrigation. Ils avaient également une certaine expérience pour connaître principes d'écoulement, grâce aux horloges à eau inventées par les premiers Égyptiens.

À l'époque grecque et romaine, il y a eu une renaissance et un grand développement, y compris les machines mécaniques et hydrauliques, et la première utilisation de vannes, caractérisée par une conception sophistiquée, comme dans le cas du robinet à tournant, et la forme de conception est resté constant sans aucune mise à jour jusqu'au XIXe siècle.

Les vannes à clapet et les vannes à pièces ont été utilisées dans les pompes pour augmenter la force de poussée de l'eau, et aussi pendant la période romaine, des tiges de bronze et de cuivre ont été utilisées comme vannes d'arrêt dans les conduites d'alimentation et d'eau des bâtiments publics et domestiques.

Au début du XVIIIe siècle, l'ère de la révolution industrielle, lorsque l'utilisation de la machine à vapeur a été atteinte, et en 1698 Thomas Savery a obtenu un brevet pour l'utilisation de son moteur pour élever l'eau, et en 1705 la version développée de le moteur de Savery, un moteur à rayons atmosphérique, est apparu, James Watt grâce à son brevet pour le condenseur séparé en 1769 a donné une impulsion décisive au développement des machines à vapeur

La conception de la vanne a attiré l'attention de nombreux ingénieurs éminents au XIXe siècle, parmi lesquels Timothy Hackworth, qui a proposé des ressorts facilement réglables au lieu des poids de la soupape de sécurité à vapeur qui est toujours conservée à Londres au Museum of Science.

En 1875, la vanne de raccordement à gorges a été inventée par Dewrance and Co. Il est facile à utiliser et à travailler avec de la vapeur.

En 1886, le clapet à glissement parallèle a été inventé par Joseph Hopkinson. Le principe de son fonctionnement repose sur l'application d'une pression sur le disque pour fermer la vanne, et cette innovation est toujours en cours à ce jour.

Les soixante dernières années ont vu plusieurs innovations et conceptions pour de nombreux types de vannes, pour suivre le rythme du développement. Les vannes classiques telles que la vanne et le globe ont reçu des améliorations en termes de matériaux, de plastiques et d'utilisation de nouveaux élastomères, ce qui a également conduit au développement de vannes à boisseau sphérique et de vannes papillon pour devenir efficaces et industriellement acceptables.

La vanne papillon a été utilisée par James Watt dans sa machine à vapeur, ainsi que la première voiture Mercedes construite en 1901 à utiliser une vanne papillon dans l'entrée de carburant attachée à la manette des gaz.

Les vannes papillon, les premières du genre, utilisaient des sièges métal sur métal. Après la Seconde Guerre mondiale, et avec le développement du caoutchouc synthétique, les domaines d'utilisation des vannes papillon se sont développés dans plusieurs domaines industriels. Au cours des dix dernières années, les vannes papillon ont été améliorés et développés pour faire face à des températures et des pressions élevées contrairement à leurs prédécesseurs. Cette conception est appelée vanne papillon haute performance [18].

2.2 Vanne papillon

2.2.1 Définition

La vanne papillon est une famille de vannes quart de tour, où lors du fonctionnement et de la rotation du disque d'un quart de tour, la vanne est soit ouverte, soit complètement fermée.

Le papillon est un disque métallique qui est installé sur une tige. C'est-à-dire que lorsque l'on ferme la vanne, le disque tourne d'un quart de tour pour bloquer complètement le passage.

Lorsque la vanne est complètement ouverte, nous faisons à nouveau tourner le disque métallique d'un quart de tour pour permettre au fluide de passer sans aucun obstacle, également l'angle d'ouverture de la vanne peut être contrôlé progressivement pour obtenir ce qu'on appelle un débit d'étranglement [19].

2.2.2 Les composants de la vanne papillon

La vanne papillon contient quatre composants principaux [20] :

- **Corps** : Les vannes papillon ont deux brides qui peuvent s'adapter à différents corps en les plaçant entre les tubes. Les conceptions de corps les plus populaires sont à oreilles et à plaquettes. La cosse contient des cosses saillantes qui fournissent des trous pour que les vis se conforment à la bride du tuyau, tandis que le corps de la plaquette repose sur les brides du tuyau.
- **Disque** : C'est l'élément de contrôle pour couper le débit de fluide dans la vanne papillon. Il existe plusieurs développements dans la conception des disques en termes de rotation ou d'amélioration du débit. Lors de la rotation du disque d'un quart de tour ou à un angle de 90 degrés, la vanne papillon peut être ouverte ou fermée complètement
- **Tige** : C'est une conception en une pièce ou en deux pièces. Le tige, grâce à sa conception d'assise flexible, permet de choisir les matériaux les plus efficaces, tant en termes de coût que de propriétés mécaniques.
- **Siège** : Le siège dans la vanne papillon est un siège flexible niché entre le bord du disque pour rendre la fermeture étanche, le siège est composé de plusieurs plastiques ou polymères, le siège peut être attaché, pressé ou fermé.

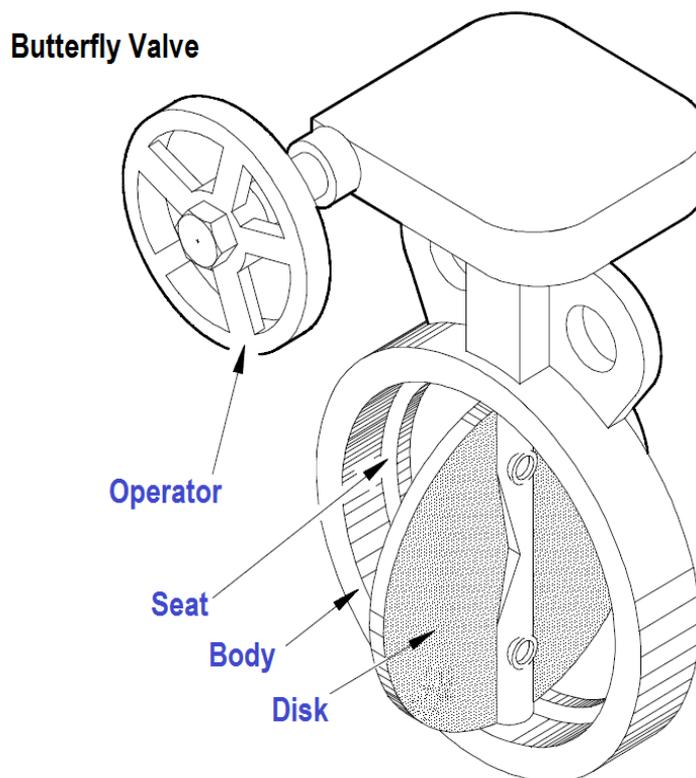


Figure 2.1 Les composants de la vanne papillon [21].

2.2.3 Types de vannes papillon

Pour définir et décrire les vannes papillon, il existe une variété de méthodes qui varient en fonction du type de matériau utilisé, du style de corps et de l'alignement du disque. Voici les principaux types de vannes papillon [20] :

- Vannes papillon style wafer
- Vannes papillon à oreilles
- Vannes papillon à brides
- Vannes papillon soudées
- Vannes papillon revêtues
- Vannes papillon en métal
- Vannes papillon à décalage zéro
- Vannes papillon double excentration
- Vannes papillon triple excentration

a. Vannes papillon style wafer

Sa conception lui confère des commandes qui lui permettent de maintenir la vanne en place grâce aux brides. Les vannes papillon de type wafer sont l'un des meilleurs types de machines pour la facilité d'installation, l'utilisation de peu de matériaux, le coût de production inférieur.

Les vannes papillon de type wafer sont installées entre les brides des tuyaux à l'aide d'un boulon et d'un écrou, donc dans les cas de maintenance, le système doit être désactivé car il est difficile de séparer l'une des brides des brides du tuyau



Figure 2.2 Vanne papillon style wafer [22].

b. Vannes papillon à oreilles

Les vannes papillon à oreille comportent des cosses proéminentes sur le corps de la vanne pour correspondre aux trous sur les bords du tube du côté de la vanne. Cela permet aux vis d'être insérées à travers les trous entourant les cosses. Dans certains cas, les cosses ont la forme d'une vis pour s'adapter aux vis, puis les visser à travers les côtés de la cosse.



Figure 2.3 Vanne papillon à oreilles [23].

c. Vannes papillon à brides

Les vannes papillon à bride ont une bride à l'extrémité de la vanne papillon. Deux conceptions de vannes papillon à bride peuvent être trouvées : à simple bride ou à double bride.



Figure 2.4 Vanne papillon à bride [24].

d. Vannes papillon soudées

Les vannes papillon soudées peuvent être soudées bout à bout au lieu de boulons. Il est généralement utilisé dans les zones nécessitant une pression élevée ou dans d'autres cas nécessitant une grande efficacité et qualité, tels que les systèmes de refroidissement.



Figure 2.5 Vanne papillon soudée [25]

e. Vannes papillon revêtues

Ce sont des vannes caractérisées par un revêtement ou un matériau de revêtement non réactif ajouté aux surfaces internes du corps de vanne. Le revêtement aide à protéger la vanne de la corrosion ou de l'exposition aux produits chimiques. Il améliore également le flux de fluide à travers la vanne en réduisant la friction et en arrêtant la contamination du fluide de la vanne.

Les vannes papillon doublées offrent une isolation contre la possibilité de mouiller le corps ou la tige de la vanne, grâce à leur fabrication de matériaux moins coûteux, contrairement aux vannes papillon en acier inoxydable, qui sont souvent plus chères.

f. Vannes papillon en métal

Les vannes papillon en métal conviennent parfaitement à une utilisation dans des domaines nécessitant une pression élevée et des températures très élevées. Et grâce à son siège en métal, il peut résister à des températures extrêmes et à des pressions élevées, contrairement aux sièges souples. Il contient également des corps de vanne tout en métal et des composants internes en métal résistant au feu, contrairement aux autres vannes papillon en plastique.



Figure 2.6 Vanne papillon revêtue [26]



Figure 2.7 Vanne papillon en métal [27]

g. Vannes papillon à décalage zéro

Les vannes papillon zéro sont utilisées à basse pression et température. Le terme zéro désigne la position géométrique de la puce ou du disque de la vanne dans le corps de la vanne.

Dans les vannes papillon zéro, le disque dur est aligné avec la tige et le corps de la vanne. C'est-à-dire que lorsqu'il est complètement ouvert, le disque divise le débit en deux moitiés égales. L'un des inconvénients des vannes papillon zéro est le frottement entre le disque et le siège de la vanne pour faire fonctionner un quart de tour complet.



Figure 2.8 Vanne papillon à décalage zéro [28]

***h.* Vannes papillon double excentration**

La vanne papillon double fonctionne pour déplacer le disque par rapport à la ligne médiane de la vanne et à la ligne centrale du corps de vanne, ce qui entraîne une ouverture et une fermeture en douceur de la vanne, ce qui résout le problème de friction entre le siège de vanne et le disque dans les vannes papillon zéro.

Dans la vanne papillon à double disque, le disque n'est fixé au siège que sur quelques degrés lors de l'ouverture et de la fermeture, ce qui réduit le frottement et l'érosion du matériau du siège. Les vannes papillon doubles sont utilisées dans des applications nécessitant une pression et une température élevées, car elles sont moins chères à produire que la vanne papillon triple mentionnée ci-dessous.



Figure 2.9 Vanne papillon double excentration [29]

i. Vannes papillon triple excentration

Les vannes papillon à trois excentrations ont également la caractéristique de déplacement, qui est caractéristique des vannes doubles, en ce qu'elles y ajoutent un changement d'ingénierie représenté que la surface de siège du disque est sous la forme d'un cône équilibré, à son sommet est un droit angle et asymétrique avec la ligne médiane du corps de la vanne.

La caractéristique la plus importante de cette conception est qu'elle permet un fonctionnement sans frottement pendant la rotation de la vanne, et le contact entre le disque et le siège ne se produit qu'au point de fermeture final. Avec la vanne papillon triple décalée, vous n'aurez pas à vous soucier de la corrosion du matériau du siège en métal.

Ces vannes sont utilisées dans des applications à haute pression et température, mais les vannes papillon triplex ont un coût de production plus élevé en raison de leur nature technique complexe.

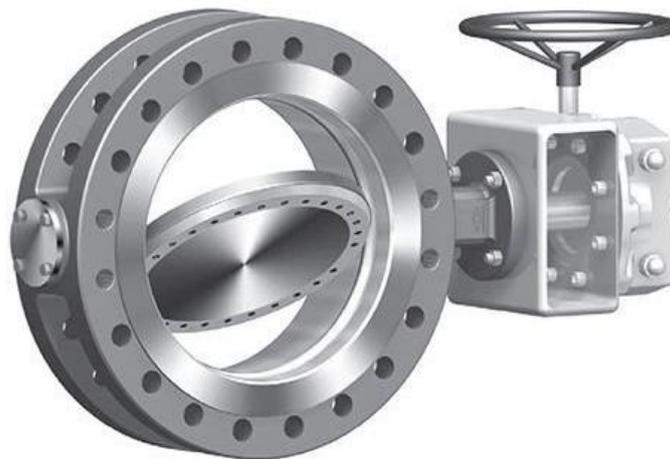


Figure 2.10 Vanne papillon triple excentration [30]

2.2.4 Avantages et limites des vannes papillon

Les vannes papillon présentent plusieurs avantages, notamment [20] :

- Bon contrôle du débit que ce soit pour démarrer, arrêter ou réguler,
- Disponible en plusieurs tailles, y compris les grandes tailles, contrairement aux autres vannes,
- Il peut être utilisé avec divers liquides et aliments contenant des matériaux solides, grâce à la grande ouverture de la valve,
- La plupart des modèles sont légers et peu de matériaux, ce qui en fait un choix simple à utiliser,

- Il peut être installé dans des espaces étroits, il permet d'économiser du temps et de l'argent et est facile à installer,
- Le coût de son achat est faible, ce qui facilite le processus de maintenance, et la facture de maintenance est également moins chère,
- Performances rapides pendant le processus de fermeture et d'ouverture, car ce sont des vannes quartes de tour, ce qui prend moins de temps que les autres conceptions,
- Provoquer une petite perte de pression,
- Avec le bon siège, il peut gérer les produits chimiques et les fluides corrosifs.

2.2.5 Inconvénients des vannes papillon

Parmi les plus importants inconvénients en considère [31] :

- Le fonctionnement de l'étranglement de débit est limité uniquement aux faibles pressions différentielles,
- En raison du phénomène de cavitation et d'écoulement d'étouffement, il peut causer de graves dommages,
- Les mouvements du disque ne sont pas dirigés et peuvent être affectés par les turbulences.

2.2.6 Applications typiques des vannes papillon

Les vannes papillon sont devenues populaires dans de nombreux domaines en raison de leurs avantages uniques dans le contrôle de divers fluides et avec des applications de boues. Voici quelques domaines d'utilisation des vannes papillon [31] :

- Eau de refroidissement, air, gaz, protection incendie
- Boue et services similaires
- Service de vide
- Pressions et températures élevées du débit d'eau et de vapeur

2.3 Conclusion

Les vannes papillon se caractérisent par leur capacité flexible à contrôler le débit rapidement, grâce à leur appartenance à la famille des quarts de tour, où la fermeture totale du disque métallique à un angle de 90 degrés met un joint imperméable qui empêche le passage des fluides, tandis que l'ouverture totale du disque à un angle de zéro degré facilite l'écoulement des fluides.

L'angle de fermeture et d'ouverture peut être contrôlé selon les besoins. Les vannes papillon sont utilisées dans divers domaines qui nécessitent une vitesse et une efficacité élevées dans le contrôle du débit.

Les caractéristiques des vannes papillon et leur capacité à faire face à des pressions et températures élevées varient selon chaque type et ses composants internes, et plus les besoins sont importants, plus le coût de production est élevé.

Chapitre 03

Partie expérimentale

3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude expérimentale sur un banc d'essai de la modèle de démonstration d'un ventilateur d'air, disponible dans laboratoire de la faculté des sciences et technologie à l'université de Tissemsilt. Les moyens expérimentaux utilisés dans les essais de ce travail sont présentés dans ce chapitre.

Les techniques de mesure principalement mise en œuvre sont la pression atmosphère et température ambiante $T_{emp}=26.5^{\circ}\text{C}$.

3.2 Description du dispositif

Pour étudier d'écoulement d'air sur une vanne papillon, nous avons mené une étude expérimentale à l'aide d'une machine à fluide *HM 210* grandeurs caractéristiques d'un ventilateur radial.

Le banc d'essai HM 210 grandeurs caractéristiques d'un ventilateur radial permet d'étudier le transport de fluide dans un tube cylindrique radiale de 300 mm de long, à l'intérieur duquel est fixée une vanne papillon de diamètre 100 mm, La vanne papillon est située à 160 mm de la zone d'entrée d'air avec un diamètre de 100 mm et à 150 mm de la sortie d'air avec un diamètre de 98 mm.

Notre travail expérimental consist à contrôler la vitesse d'entrée d'air et à la modifier avec certaines valeurs avec le changement de l'angle d'ouverture de la vanne papillon. Nous nous sommes appuyés sur trois angles principaux : 30 degrés, 45 degrés et 90 degrés (où l'angle 90 signifie que la vanne papillon est complètement ouverte) La valeur de la pression initiale lors de l'entrée d'air a été constante durant toutes les expérience (pression atmosphérique à 1 bar). À l'aide de capteurs de pression placés dans l'entrée et la sortie d'air, nous avons extrait différentes valeurs de pression en fonction d'une vitesse et d'un angle d'ouverture spécifiques.



Figure 3.1 Banc d'essai d'un ventilateur radial

L'objectif principal des expériences est de confirmer et de comparer la chute de pression lorsque on change la position d'ouverture d'une vanne papillon avec les résultats de l'analyse numérique pour voir comment le modèle d'écoulement d'air change dans différentes conditions et variables.

3.3 Méthodes et moyens de mesures sur les bancs d'essai

3.3.1 Réglage et Mesure la vitesse de rotation

Lors du contrôle de la vitesse de rotation, nous pouvons, avec des calculs et des équations mathématiques, connaître la vitesse de l'air entrant dans la vanne papillon

- 1 : Un affichage digital nous donne la valeur de la vitesse de rotation en 1/min
- 2 : Le régulateur de vitesse de rotation nous permet d'augmenter ou de diminuer en tournant le bouton
- 3 : Bouton de démarrage et d'arrêt du ventilateur

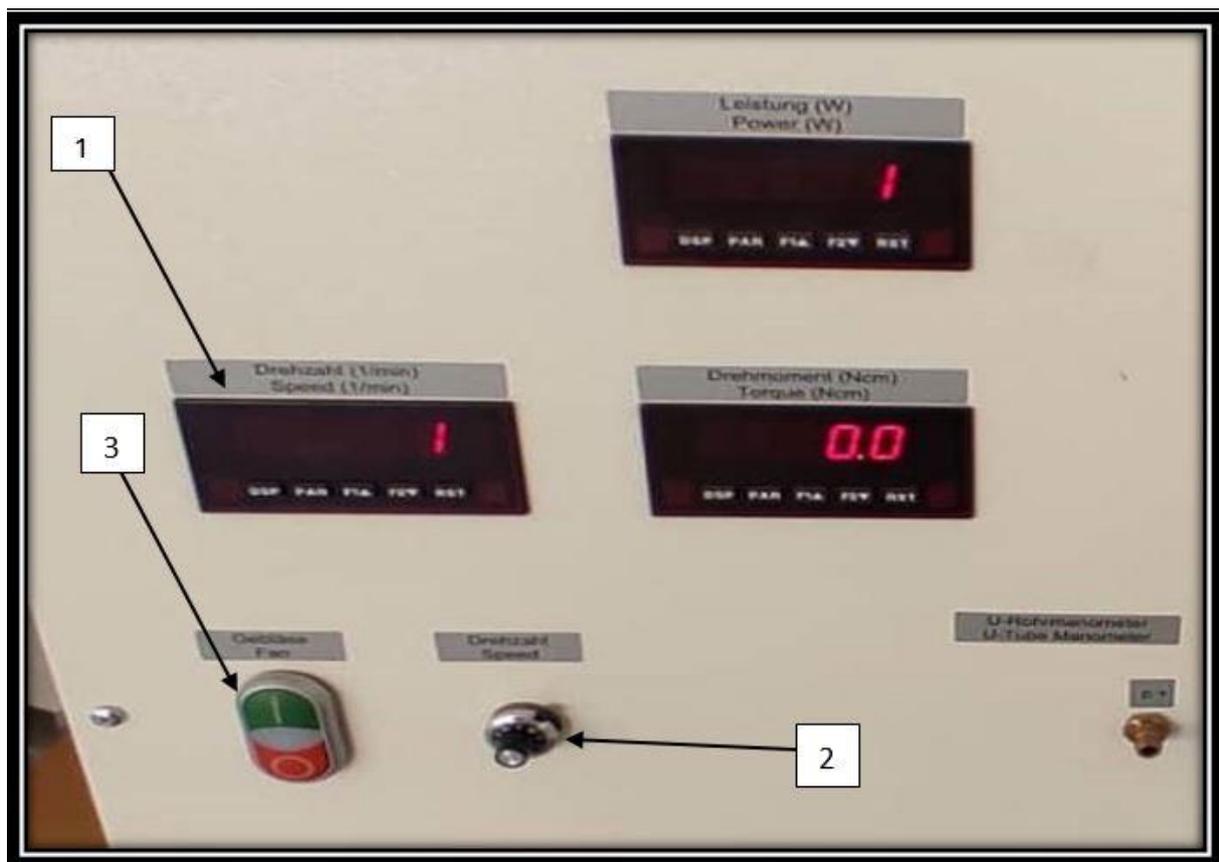


Figure 3.2 Éléments de commande et d’affichage

3.3.2 Mesure de la pression différentielle avec Manomètre à tube en U

Le manomètre à tube en U a une conception simple qui contient un tube de verre en forme de U installé sur une plaque en aluminium. Cette plaque est graduée et permet une lecture directe de la pression en mm lorsque le tube est rempli d’eau.

- 1 : Réglage du point zéro
- 2 : Lire la valeur de la pression différentielle à l’aide d’une règle graduée

Le manomètre à tube en forme de U offre une plage de mesure de 0 à 30 millibars et convient à la mesure de hautes pressions.

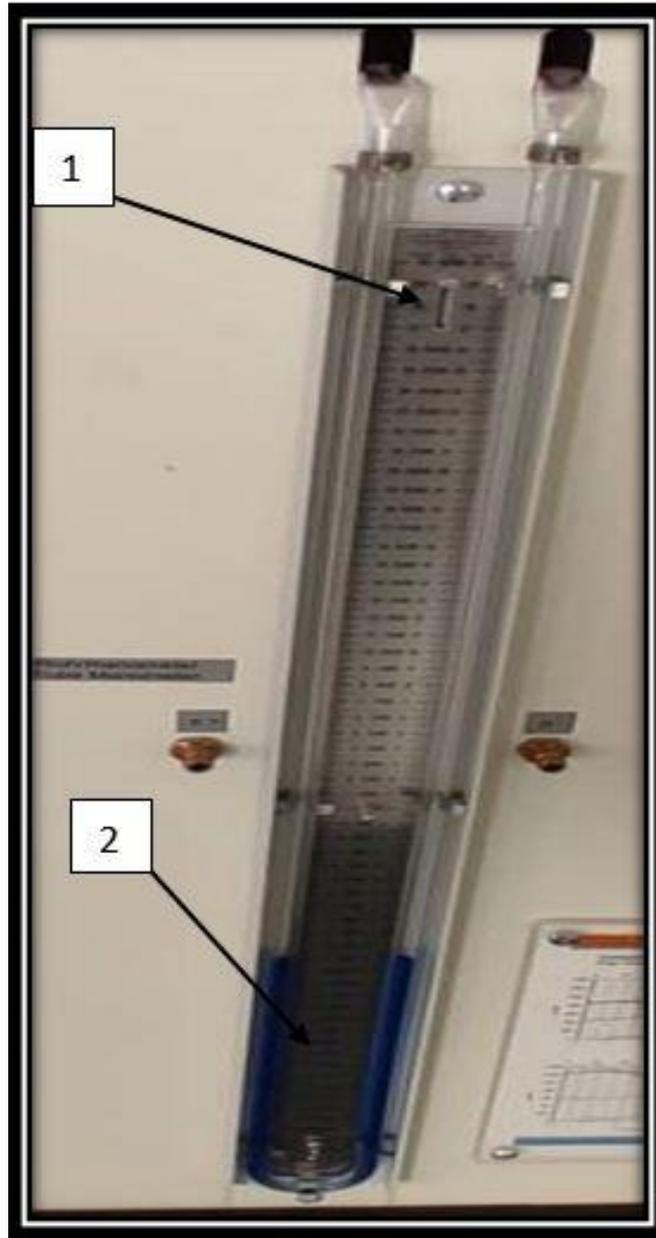


Figure 3.3 Manomètre à tube en U

3.3.3 Réglage de la Position de la vanne papillon

La figure ci-dessous montre les trois angles utilisés dans l'expérience, dans l'ordre : a) 30°, b) 45°, c) 90°.

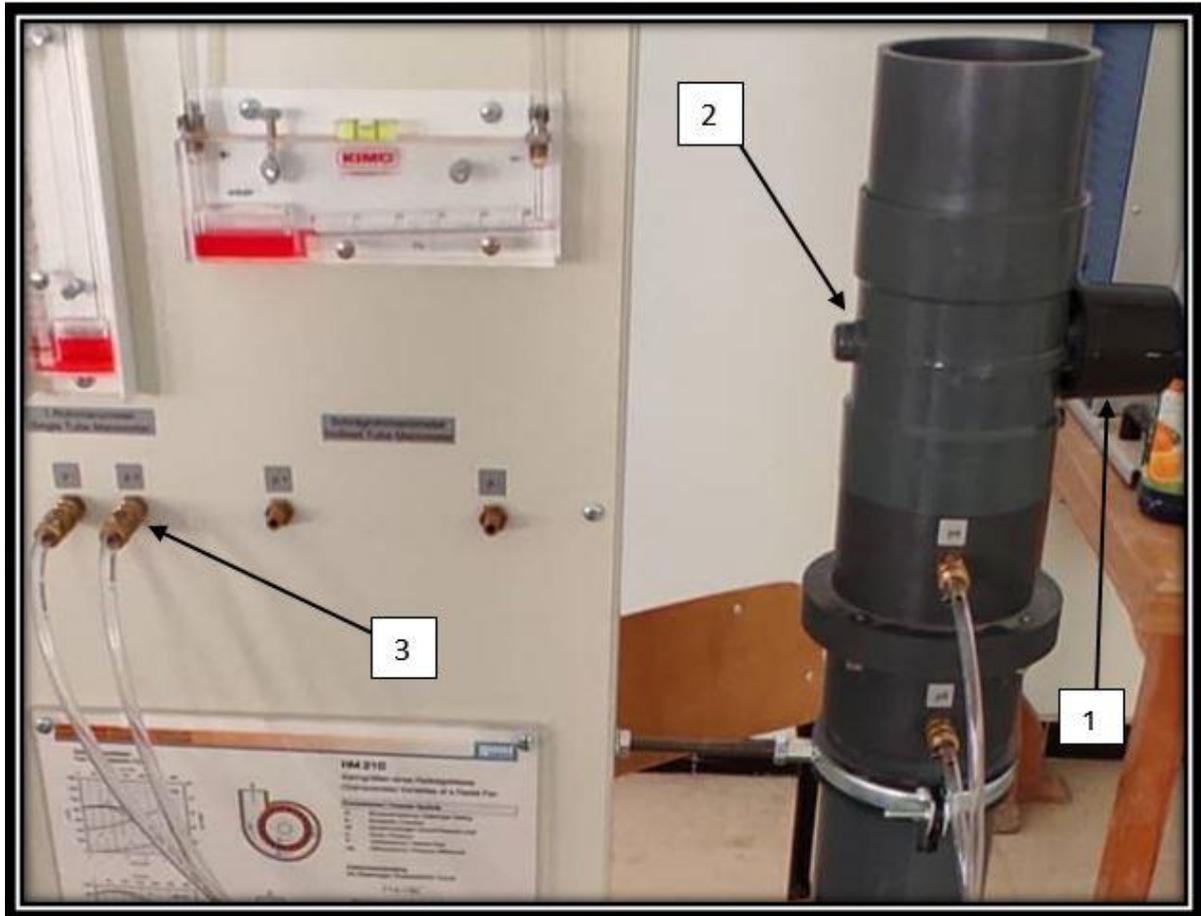


Figure 3.4 Extérieur de la vanne papillon

- 1: Bouton pour régler l'angle d'ouverture ou d'étranglement de la vanne papillon
- 2: vanne papillon
- 3 : tubes utilisés pour mesurer la pression

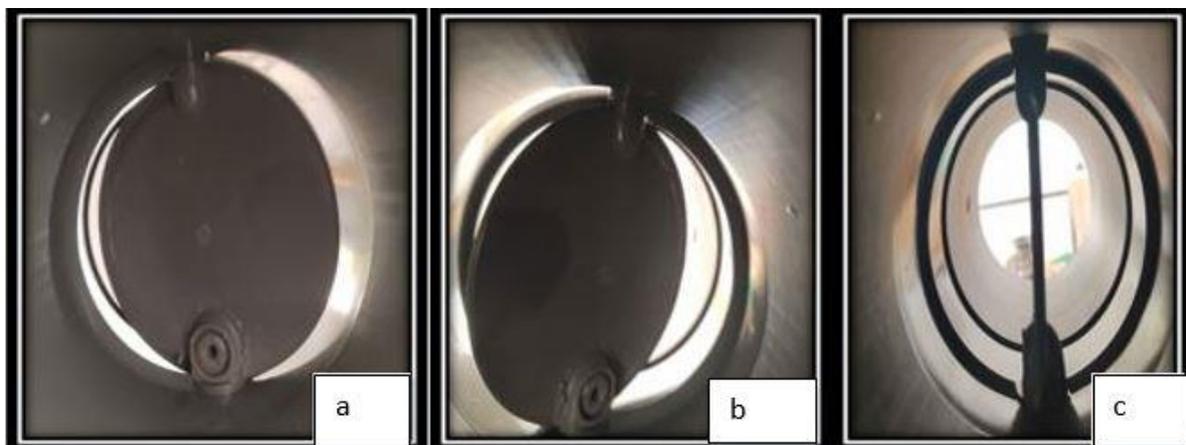


Figure 3.5 Les trois positions de la vanne papillon utilisée dans l'expérience

3.4 Résultats et discussion expérimental

Comme le montre le tableau ci-dessous, nous avons appliqué 5 vitesses différentes de 0 à 2 m/s (2 m/s est la vitesse maximale qui pourrait être appliquée en utilisant une machine à fluide HM 210 grandeurs caractéristiques d'un ventilateur radiale). Sur 3 angles d'étanchéité différents pour la vanne papillon.

Table 3.1. Les valeurs de vitesse d'entrée pour les 3 angles d'ouverture

Vitesse d'écoulement entrant	angle à 30°	angle à 45°	angle à 90°
V1	0.767202	0.626418	0.442944
V2	0.885889	0.767202	0.542494
V3	0.990454	0.885889	0.626418
V4	1.084988	0.990454	0.767202
V5	1.171921	1.387973	/

L'appareil nous donne la valeur du différentiel de pression précisément dans la région aval. Il contrôle la variation de la valeur de pression, la valeur de la vitesse de l'air entrant dans le tube et le degré d'ouverture de la vanne papillon. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Table 3.2. Les Résultat Pression différentielle pour les 3 angles d'ouverture

Résultat Pression différentielle pour chaque vitesse	angle à 30°	angle à 45°	angle à 90°
Pression Pour V1	27	14	3
Pression Pour V2	37	20	4
Pression Pour V3	46	28	5
Pression Pour V4	56	35	6
Pression Pour V5	65	38	/

Note : La valeur de pression dans le tableau est une expression de la valeur moyenne d'un ensemble de résultats de laboratoire.

3.4.1 Discussion du résultat

Du tableau 3.2. Lorsque la vanne papillon est complètement ouverte (90 degrés), aucune turbulence ne se fait entendre, ce qui signifie que le débit est très doux et régulier. Mais lorsque nous modifions l'angle de fermeture de la vanne à 45 degrés, nous remarquons une augmentation notable de la valeur de la pression, et nous commençons à entendre le bruit des turbulences lors de l'écoulement de l'air à l'intérieur du tube.

Le bruit de la turbulence d'écoulement augmente considérablement et de manière inquiétante lors du changement d'angle de la vanne papillon à 30 degrés, qui est l'angle le plus proche de l'angle d'arrêt complet. Où la pression atteint la plus grande valeur par rapport aux autres angles.

Ce qu'on a remarqué à l'œil nu, c'est : plus on s'approche de l'angle de fermeture, plus le bruit causé par le flux d'air autour de la vanne papillon est important, ce qui confirme qu'il y a bien une turbulence dans l'écoulement.

3.5 Conclusion

Les résultats du laboratoire ont montré qu'en cas d'ouverture complète de l'angle de la vanne papillon, le débit est régulé. Mais lors de la modification de l'angle de fermeture de la vanne papillon, des sons commencent à indiquer qu'il y a une perturbation du débit, causée par la vanne papillon. L'utilisation de l'analyse numérique et la réalisation d'un modèle similaire à la vanne papillon utilisée dans les expériences de laboratoire. Ceci afin de connaître et de déterminer la nature des phénomènes physiques qui affectent le débit lors de la modification de l'angle de fermeture de la vanne papillon.

Chapitre 04

Modélisation et mise en équations

4.1 Introduction

La mécanique des fluides numérique (CFD pour *Computational Fluid Dynamics*), c'est-à-dire l'étude des écoulements de fluides par la simulation numérique, est une discipline en plein essor. Elle repose sur la recherche de solutions des équations qui décrivent la dynamique des fluides par des algorithmes appropriés. Elle regroupe l'ensemble des méthodes de calculs numériques permettant de prévoir la température du fluide, sa vitesse, sa direction dans un espace ouvert ou fermé.

Ce chapitre est consacré à la présentation des différentes équations qui traduisent le phénomène d'écoulement de fluide sur la vanne papillon, et pour simuler le phénomène de turbulence, le modèle $k-\varepsilon$ a été choisi, ce qui a confirmé son efficacité dans diverses études antérieures, et dans l'enfin, les outils numériques utilisés pour suivre l'évolution des solutions système ont été expliqués.

4.2 Description du problème

Dans l'étude du flux d'air autour de la vanne papillon comme le montre la figure 4.1, où l'air entre à une vitesse pour plusieurs valeurs de Reynolds, et l'angle de fermeture de la vanne papillon passe de 30°, 45° à 90° complètement ouvert, le diamètre de la vanne papillon hydraulique 0.01 m.

Table 4.1. Conditions aux limites

Diamètre intérieur du tuyau	100 mm
Longueur de tuyau	500 mm
Diamètre du vanne papillon	100 mm
Epaisseur e la vanne	4 mm
Angle d'ouverture	30°, 45° et 90°

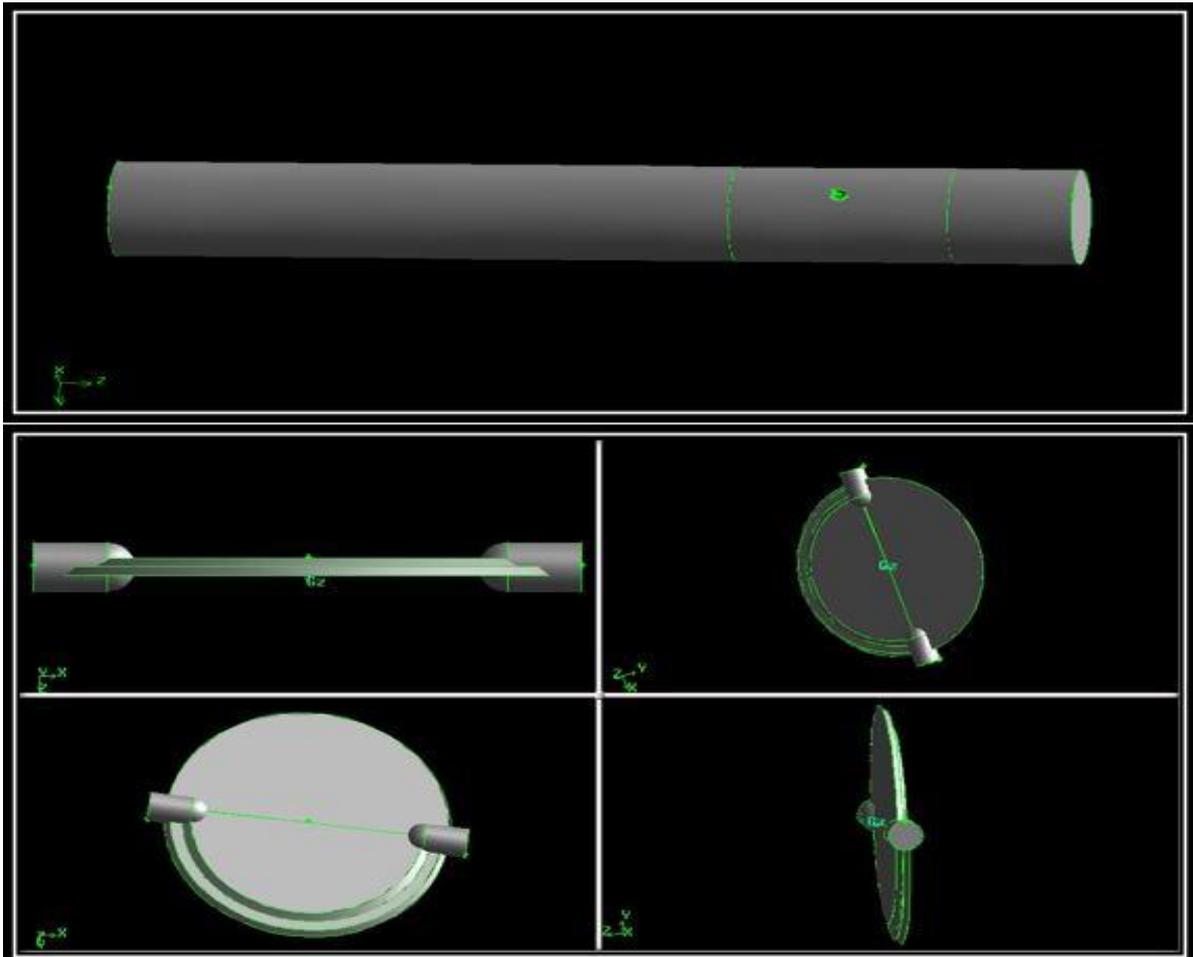


Figure 4.1 Domaine de simulation et géométrie d'une vanne papillon à l'intérieur d'un tube cylindrique

4.3 Equations de base

Les équations régissant le modèle mathématique peuvent décrire comment les valeurs des variables inconnues changent. Les équations qui expriment l'écoulement d'un fluide autour d'une vanne papillon sont : les équations des continuités et les équations de Navier-Stokes. Afin de prédire la nature des écoulements turbulents, nous avons utilisé le modèle de turbulences le plus utilisé, qui est le modèle $k-\varepsilon$, qui résout les équations RANS qui permettent de connaître la nature et le type d'écoulement turbulent autour de la vanne papillon.

4.3.1 Equations de continuité

On prend en compte que le fluide est incompressible, ce qui vérifie que l'équation de continuité exprime la conservation de la masse. Pour un écoulement de fluide incompressible de trois dimensions, l'équation de continuité s'écrit comme suit :

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_i} = 0 \quad (4.1)$$

4.3.2 Equations de Navires-Stocks

L'équation de Navier-Stokes peut décrire le mouvement d'un liquide visqueux, pour écoulement 3 d stationnaire, l'équation qui décrit le mouvement du fluide est :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + g_i \rho (T - T_0) \quad (4.2)$$

4.4 Modèle de Turbulence

Les écoulements turbulents sont des phénomènes assez complexes. Un mouvement turbulent entièrement développé est caractérisé par des tourbillons de tailles différentes. Bien qu'il soit théoriquement possible d'appliquer directement les équations de conservation au domaine entier de l'écoulement, il est difficile de le réaliser dans la pratique. Pour créer un modèle numérique utilisable dans un domaine d'écoulement turbulent, il est nécessaire de représenter le mouvement turbulent du fluide en quantités moyennes des variables et de leurs fluctuations. Les modèles basés sur des quantités moyennées peuvent être utilisés sur des maillages d'une densité raisonnable, par conséquent, un coût de calcul raisonnable.

Il existe différents niveaux de modèles, se distinguant par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème : on parle ainsi de modèles de turbulence à zéro, une ou deux équations. Il existe également des méthodes de résolution plus complexes et plus onéreuses en ressources informatiques : Simulation Numérique Directe (DNS, pour Direct Numerical Simulation) et la simulation des grandes échelles (LES, pour Large-Eddy-Simulation).

Une synthèse de la bibliographie révèle que le modèle de turbulence $k-\varepsilon$ standard est largement adopté (Markatos & Pericleous, 1984 ; Mohamed et Viskanta, 1993 ; Gaëtan *et al.* 2003 ; Baïri, 2008). A cet effet, ce modèle est utilisé dans la présente étude pour simuler les effets de la turbulence dans l'écoulement dans la vanne à papillon.

Les équations standard de l'énergie cinétique turbulente k et de son taux de dissipation ε ont respectivement la forme suivante (Fluent, 2003):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon + S_k \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (4.4)$$

La viscosité turbulente est obtenue à partir de k et ε par la relation suivante :

$$v_t = C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.5)$$

Le terme de production de pression P_k est calculé par l'expression suivante:

$$P_k = v_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] \quad (4.6)$$

Le terme de flottabilité G_k est donné par:

$$G_k = -g \beta \frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4.7)$$

Les termes de sources $E_\varepsilon, S_\varepsilon$ peuvent être déterminés par les formules suivantes:

$$E_\varepsilon = 2v_t \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 \right] \quad (4.8)$$

$$S_\varepsilon = 0.83 \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon c_{1y}} - 1 \right) \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon c_{1y}} \right) \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.9)$$

Les derniers termes dans les équations 4.8 et 4.9 sont employés pour modéliser l'effet de flottabilité. Les valeurs des diverses constantes dans le modèle k - ε sont données dans le Tableau (4.1) :

Tableau 4.2. Coefficients empiriques du modèle $k-\varepsilon$ standard dans Ansys-Fluent 19

C_1	C_2	C_μ	σ_k	σ_ε
1.44	1.92	0.99	1.0	1.314

4.5 Résolution numérique

La résolution numérique des équations a été effectuée sur une configuration tridimensionnelle par la méthode des volumes finis à l'aide du logiciel CFD Fluent 19. Le maillage utilisé a été réalisé sur Gambit 2.4 pour les différentes angles d'ouverture étudiées. Un aperçu de ces différents maillages est présenté dans la Figure 4.2. Le maillage a été resserré près des parois (présence de couches limites avec forts gradients de vitesse).

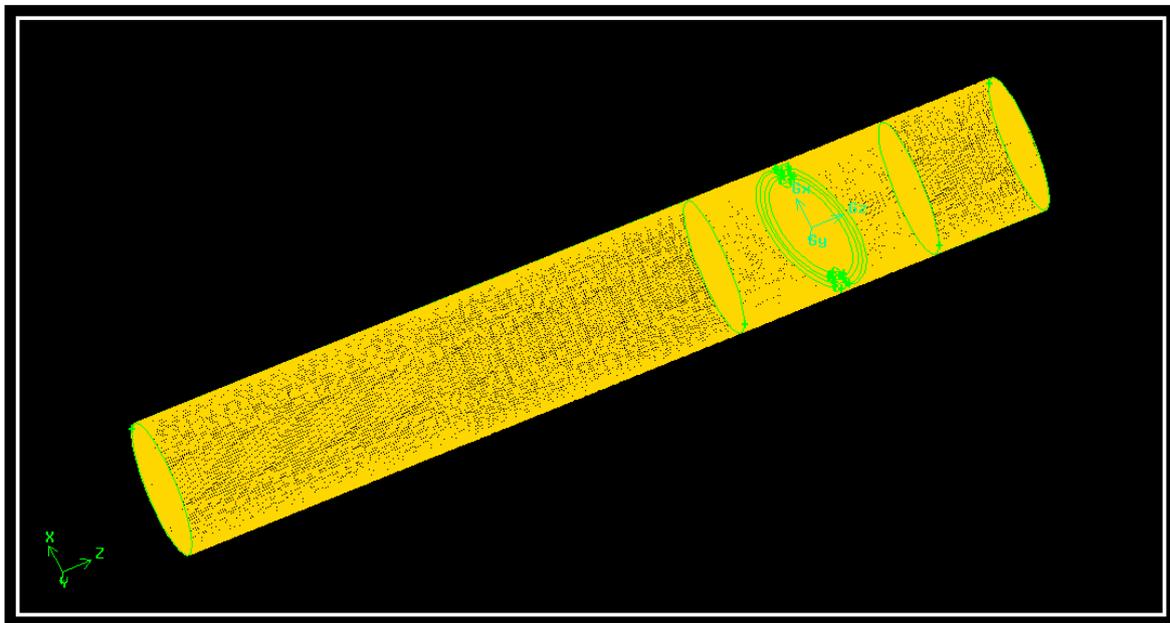


Figure 4.2 maillage vanne papillon a l'intérieur d'un tube cylindrique

4.5.1 Étude de maillage

Gambit s'agit d'un assistant intégré pour l'analyse numérique de la dynamique des fluides. Utilisé pour créer le maillage et construire la géométrie.

Les options de création des maillages en gambit offrent une souplesse de choix, et la géométrie peut être divisée en plusieurs parties pour générer une structure de maillage. Soit le programme gambit va créer un maillage automatique non structuré adapté au type de géométrie qui est construit. Grâce à son interface, il est possible de détecter des défauts ou des déficiences à travers de nombreuses fenêtres, de construire des outils, de vérifier le maillage et d'ajouter des conditions aux limites.

Dans notre travail de gambit, Nous avons créé 3 maillages différents pour optimiser les calculs. Figure 4.3 ci-dessous représente les trois cas (30°, 45° et 90° respectivement) utilisés dans le calcul.

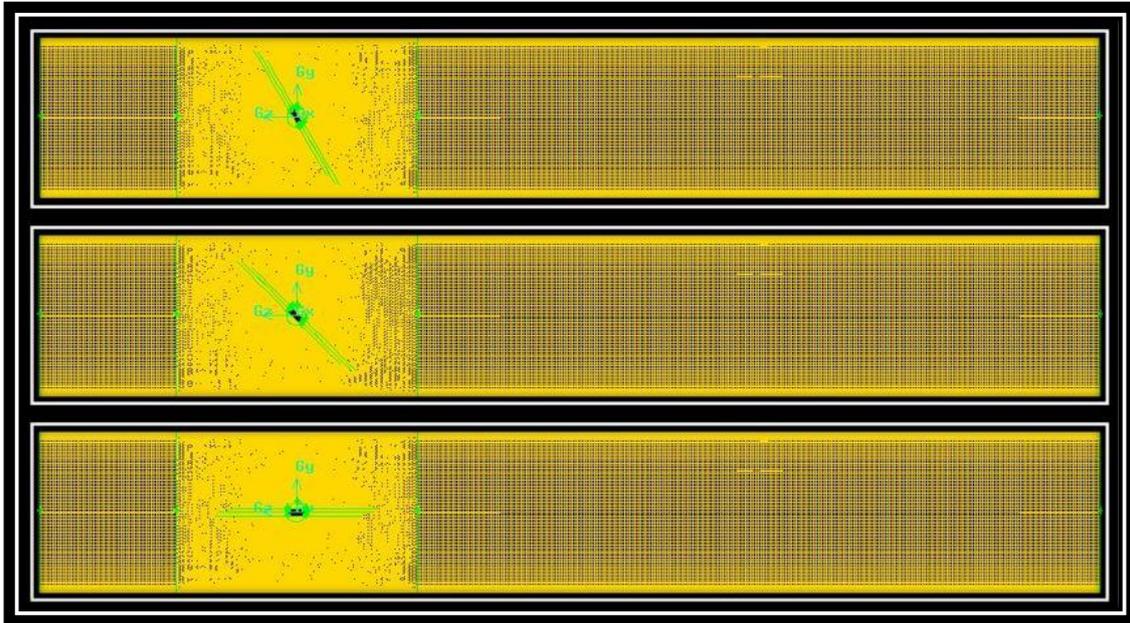


Figure 4.3 maillage 3 vanne papillon a l'intérieur d'un tube cylindrique

Les types de conditions aux limites saisies par le programme Gambit, pour l'étude de l'écoulement autour d'une vanne papillon, sont classées dans le tableau suivant :

Table 4.3. Types de conditions aux limites

vitesse d'entrée	0 à 2 m/s
pression à la sortie	P.atm
tube de paroi	Wall
tube de vanne	Wall
fluide	air

Pour obtenir un meilleur résultat, le raffiné doit être dans le maillage sans erreurs et sans oublier aucune forme. Le tableau ci-dessous montre des informations supplémentaires sur le nombre de cellules pour chaque cas :

Table 4.4. Nombre de cellules pour chaque maillage

Maillage	Nombre de cellules
Pour 30°	2261313
Pour 45°	2156087
Pour 90°	2160822

La méthode numérique des Volumes Finis consiste à discrétiser le domaine géométrique de calcul en sous-domaines ou volumes de contrôle dont les faces suivent les lignes de coordonnées. Son principe est très simple, initialement développé dans le cas des écoulements compressibles par Godunov (1959) et Glimm (1965), puis répandu dans la communauté scientifique des mécaniciens par Patankar & Spalding (1972) dans les années 1970. Il repose sur le théorème de la divergence qui consiste à exprimer la conservation des flux d'une variable dans son volume de contrôle délimité par sa surface, et contenant un point de discrétisation de l'inconnue et sur ce volume de contrôle les équations de transport sont intégrées. Cette formulation intégrale s'apparente par certains aspects à la formulation variationnelle de la méthode des éléments finis, mais aussi à celle des différences finies (de par sa discrétisation par rapport aux points voisins).

Fluent Commercial Code est un programme qui nous permet de créer une simulation numérique d'écoulement de fluide : compressible, incompressible, stationnaire ou instationnaire. En plus de plusieurs phénomènes physiques tels que les transferts thermiques, les turbulences, les réactions chimiques, les phénomènes divers et la géométrie complexe. Fluent travaille aussi sur le raffinement du maillage en termes de conditions aux limites, de dimensions tout en donnant un résultat en même temps.

Il aussi permet de choisir le modèle de discrétisation pour les différentes équations régissant. Les critères de résolution (préconisés par Fluent dans le cas de la convection naturelle) et les coefficients de sous-relaxation utilisés sont montrés sur la Figure 4.4. A noter que les facteurs de sous relaxation doivent être ajustés pour les tests turbulents.

L'équation de pression est discrétisée par le schéma PRESTO. Un schéma PRESTO (pour PREssure STaggering Option) emploie l'équilibre discret de continuité pour un volume de contrôle "décalé" par rapport à la face où l'on calcule la pression.

Généralement la pression est inconnue et on ne dispose pas d'une équation évidente pour sa détermination. La méthode utilisée pour résoudre ce problème repose sur l'idée que, lorsque le champ de pression correct est injecté dans l'équation du mouvement, le champ de vitesse résultant doit satisfaire l'équation de continuité. Cette méthode a été mise au point par Patankar & Spalding (1972) : c'est l'algorithme SIMPLE (Semi-Implicite Method for Pressure Linked Equations).

Pour les autres équations de convection diffusion (quantité de mouvement, énergie, turbulence, ...), des schémas d'interpolation du deuxième ordre ont été adoptés.

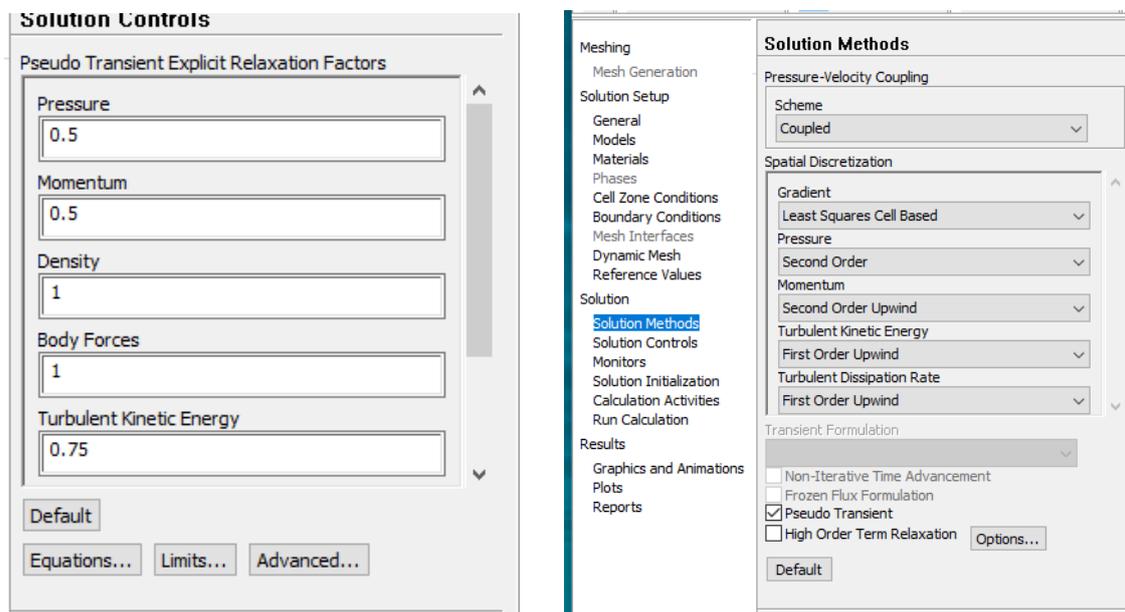


Figure 4.4. Facteurs de sous relaxation et types de discrétisation utilisés.

Le Tableau 4.5 regroupe les propriétés thermophysiques de l'air à la température de référence. La température de référence est égale à la température de la paroi froide. Ces propriétés sont supposées constantes.

Tableau 4.5. Propriétés thermophysiques de l'air.

Température de Référence, K	296
Masse volumique, kg/m ³	1.225
Viscosité, kg/m.s	1.789x10 ⁻⁵

La solution est considérée comme convergente quand le résidu des équations algébriques est inférieur à 10^{-6} . La convergence est assurée pour un nombre d'itérations supérieur à 10000.

Chapitre 05

Résultats et Discussions

5.1 Introduction

Ce chapitre est consacré principalement à la présentation et la discussion des résultats de l'écoulement autour d'une vanne papillon obtenus à partir des simulations numériques et à partir des expériences à travers un banc d'essai disponible au laboratoire dans notre faculté, à différents régimes d'écoulement. Les calculs vont permettre de montrer une comparaison entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux, l'influence de la vitesse d'air sur les pertes d'énergie dans la vanne.

5.2 Résultats et discussion

5.2.1 Effet de l'angle de fermeture

Angle de fermeture mesuré à partir du sens d'écoulement (axe x), où le changement d'angle de fermeture de 90° (entièrement ouvert) à 30° , et l'angle de 0° est la fermeture complète de la vanne papillon.

La figure 5.1 montre les contours de vitesses pour trois angles d'ouverture de la vanne (90° , 45° et 30° respectivement). Ce que l'on peut observer, c'est que lorsque la vanne papillon est complètement ouverte, l'écoulement est très régulier, et lorsque l'angle change pour se rapprocher de la fermeture, l'écoulement devient très turbulent, ce qui semble former des zones tourbillonnaires séparées, et cela est dû à la séparation de la couche limite.

À 45° , de petites formes de séparation ont commencé à apparaître, mais à l'approche de l'angle de fermeture complète de 30° , la forme des zones de séparation a augmenté. Ce qui montre que la région aval a complètement séparé l'écoulement, avec des turbulences de vortex instables sous la forme de l'écoulement dans la région aval derrière le disque de la vanne papillon.

Sur la face supérieure de la vanne, des zones de stagnation apparaissent, l'écoulement est dirigé vers le bord de la surface de la vanne. Plus l'espace entre le disque de la vanne et la paroi du tube est petit et plus il est proche de l'angle de fermeture, plus la vitesse d'écoulement est rapide, jusqu'à ce qu'il atteigne $9,84$ m/s.

La zone en aval a séparé le flux de fluide provoquant l'écoulement à stagner, Le flux jet rapide causé vortex apparaisse.

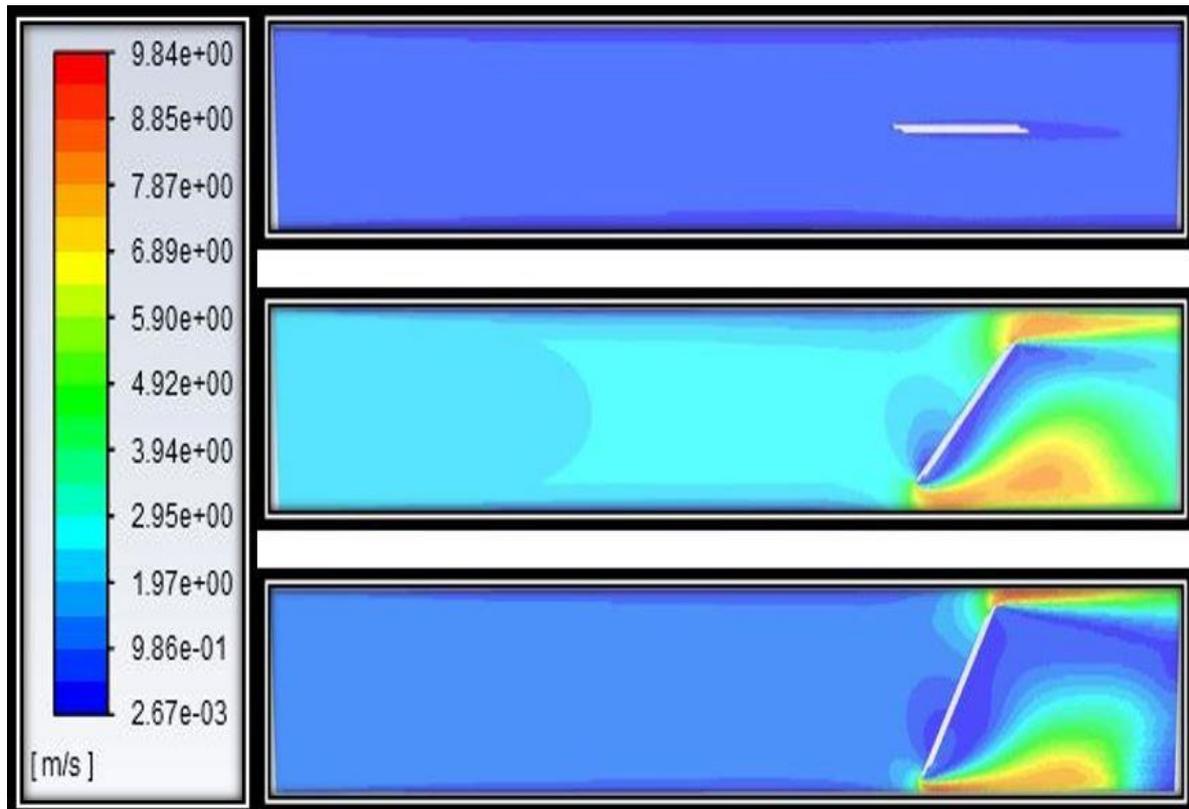


Figure 5.1 Champs de vitesse pour différents angles de fermeture du disque et vitesse d'entrée 1 m/s

La figure 5.2 montre les lignes de courant pour une vitesse d'entrée 1 m/s avec trois positions de la vanne papillon, les lignes restent parallèle en amont de la vanne, et présente un vortex après le passage de la vanne dans l'angle d'ouverture 30° et 401°. Cette perturbation est créé due au chute pression en aval de la vanne.

Pour un angle de 90°, la particules fluide continue leur parcours dans des lignes quasi parallèle.

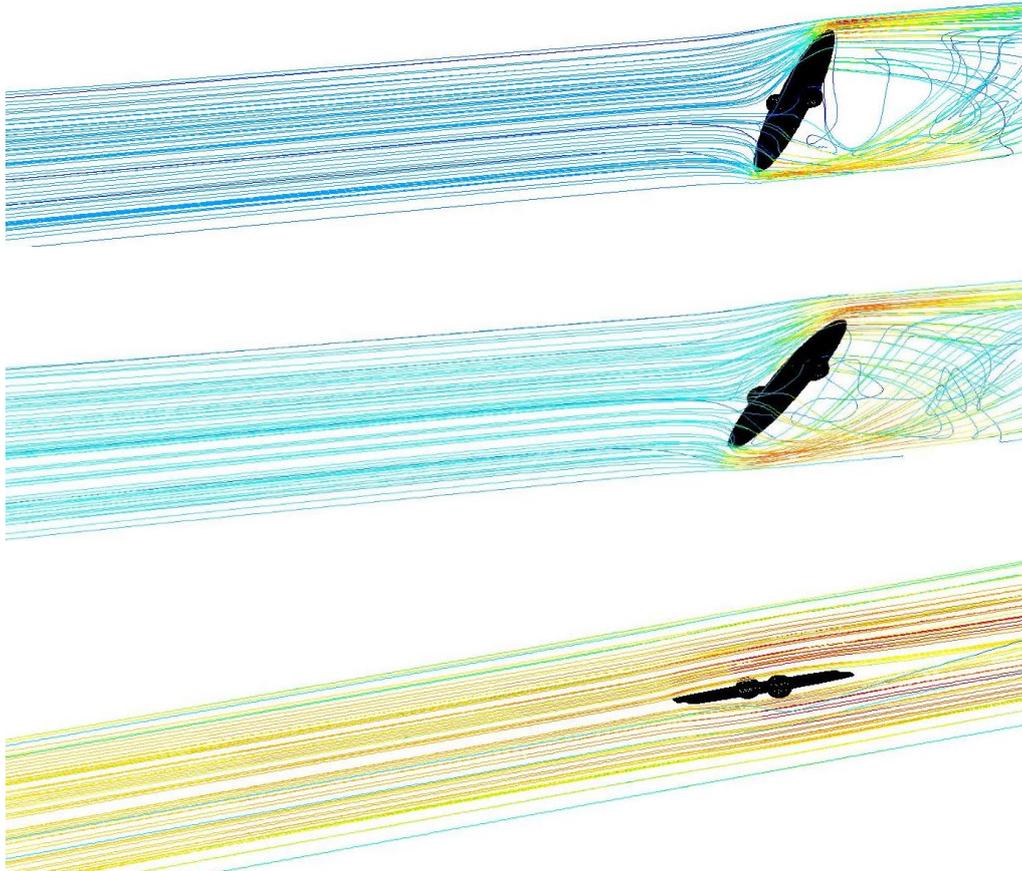


Figure 5.2 Ligne de courant pour différents angles de fermeture du disque et vitesse d'entrée 1 m/s

La figure 5.3 montre le changement de pression à la surface de la vanne papillon et à l'intérieur du tube à différents angles. On peut voir que la valeur de la pression à l'ouverture totale de la vanne papillon n'affecte pas et peut être négligée, mais avec le début de la fermeture à l'angle de 45° , l'effet de pression devient important et commence à augmenter de manière significative à l'angle de 30° .

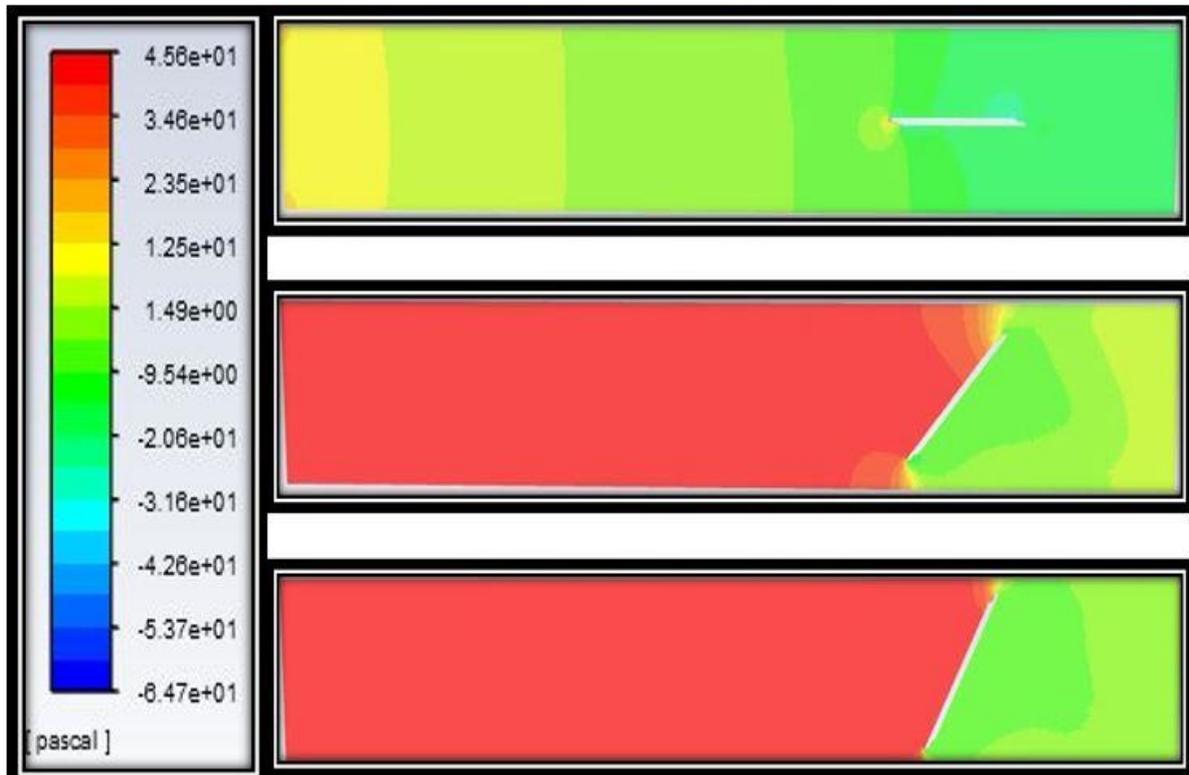


Figure 5.3 Variation de la répartition de la pression à différents angles de fermeture et vitesse d'entrée de 1 m/s

Comme nous pouvons le voir sur la figure 5.4, il existe une répartition différente de l'énergie cinétique turbulente à différents angles de fermeture de la vanne papillon. Le niveau d'énergie cinétique turbulente commence à apparaître à l'angle de fermeture de 45° et continue d'augmenter considérablement, montrant des rides à l'angle de 30°.

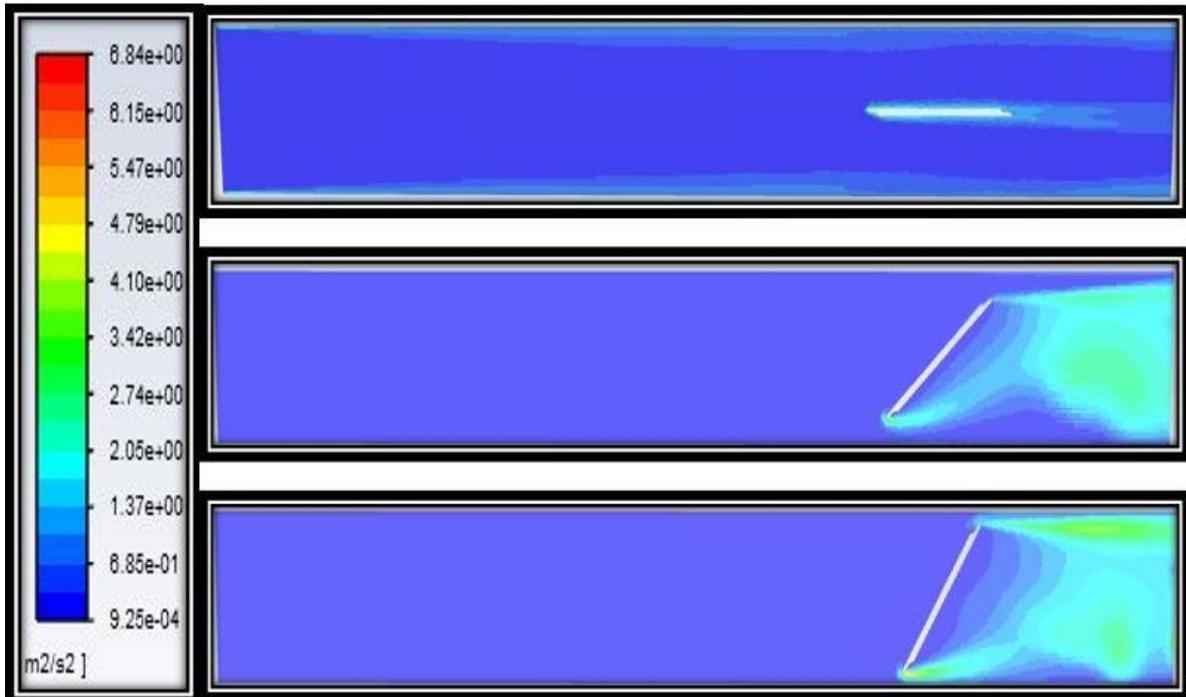


Figure 5.4 Le changement d'énergie cinétique turbulente à différents angles de fermeture et vitesse d'entrée de 1 m/s

Nous voyons un taux d'intensité de turbulence plus élevé aux angles 45° et 30°, où il atteint sa valeur la plus élevée (figure 5.5) de 214% à un angle de fermeture de 30°. Alors que l'angle de l'ouverture totale de la vanne papillon est d'environ 108°. Comme le montre la figure 5.5 qui montre l'intensité du changement de turbulence pour les angles de fermeture (90°, 45° et 30°) où l'on observe à l'œil nu que l'angle de 45° et 30° donne rotation et turbulence à l'écoulement du fluide, en raison du mélange des portions de grande vitesse avec des portions à faible vitesse. La raison des portions à grande vitesse est la brièveté de la distance entre la paroi du disque de vanne et son approche de l'angle de fermeture près de la paroi du tube.

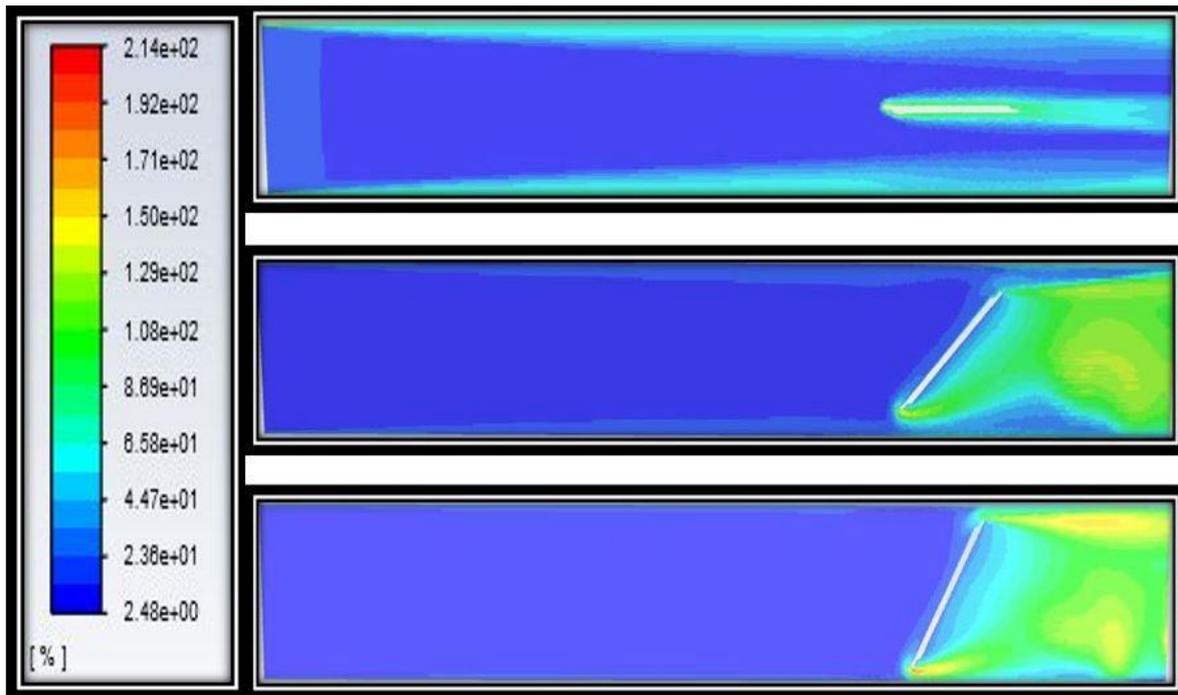


Figure 5.5 Variation de l'intensité de la turbulence à différents angles de fermeture et vitesse d'entrée 1 m/s

5.2.2 Effet des vitesses d'entrée

Nous étudierons l'effet de différentes vitesses d'entrée en augmentant la vitesse à (0.62, 0.76, 0.88, 0.99, 1.38) m/s, pour un angle de fermeture fixe de 45°.

La figure 5.6 montre le profil de vitesse pour différentes vitesses d'entrée à l'angle de 45°. Là où de petits espaces commencent à se former entre la vanne et la paroi du tube, ce qui conduit à une vitesse élevée près de la paroi, Là où le trajet d'écoulement montre l'émergence de petites zones de circulation derrière la vanne, pour s'agrandir à la vitesse de 1.38 m/s. Plus la vitesse d'entrée est élevée, plus la différence entre la vitesse maximale et minimale à l'intérieur du tube est grande, ce qui entraîne à son tour des turbulences et une rotation dans l'écoulement du fluide.

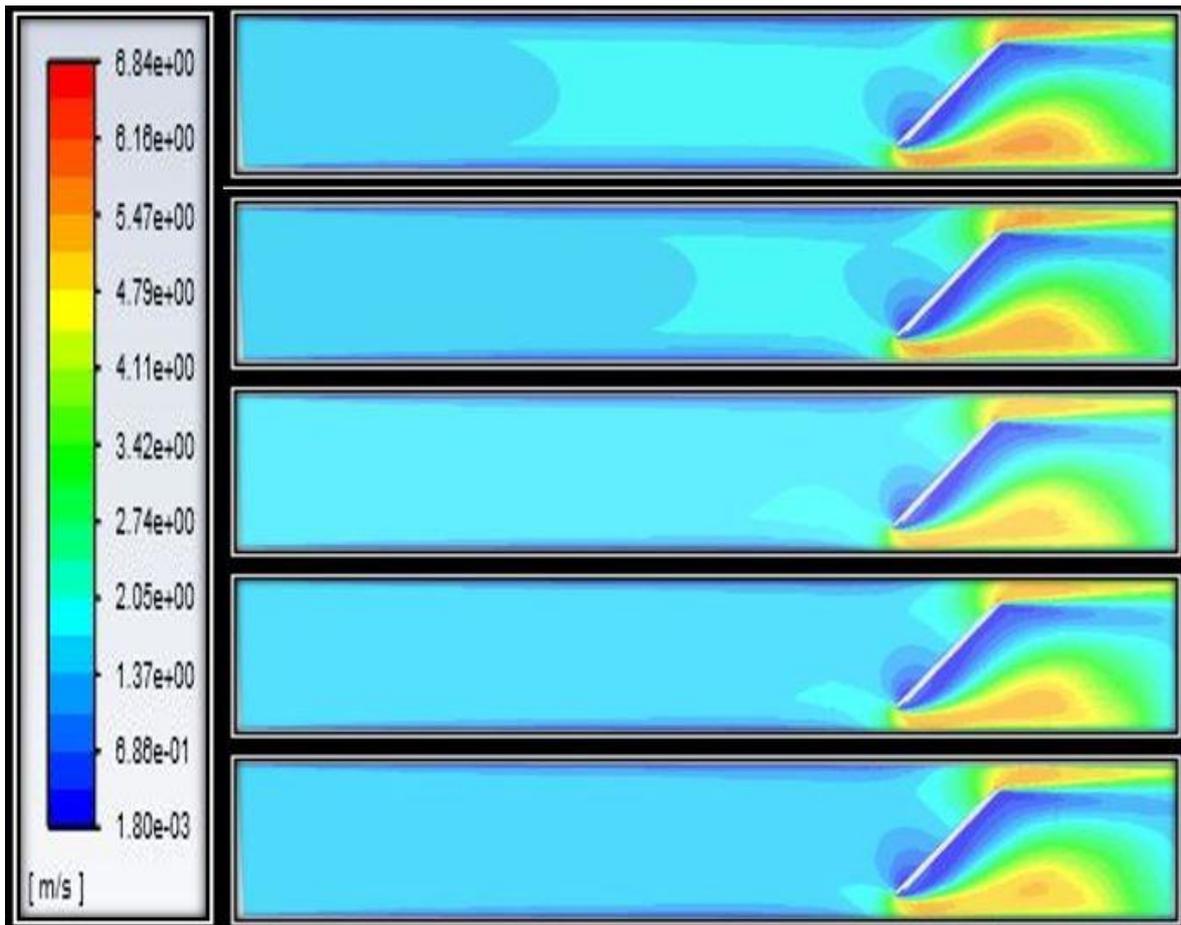


Figure 5.6 Contours de vitesse avec différentes vitesses d'entrée pour un angle de fermeture de 45°

La distribution de la pression pour différentes vitesses d'entrée est illustrée à la figure 5.7, où nous voyons des valeurs de pression négatives même aux vitesses les plus élevées, ce qui indique la présence d'un écoulement inverse et d'une rotation du fluide. Parmi les indications supplémentaires qui montrent la présence de perturbations sur la figure 5.8 ci-dessous, Ce qui montre une énergie cinétique turbulente avec des vitesses d'entrée croissantes. Où la valeur la plus élevée se trouve toujours aux extrémités du disque de la vanne papillon, et la valeur la plus élevée a été enregistrée à la vitesse la plus élevée de 1,38 m/s, comme indiqué sur la figure 5.6.

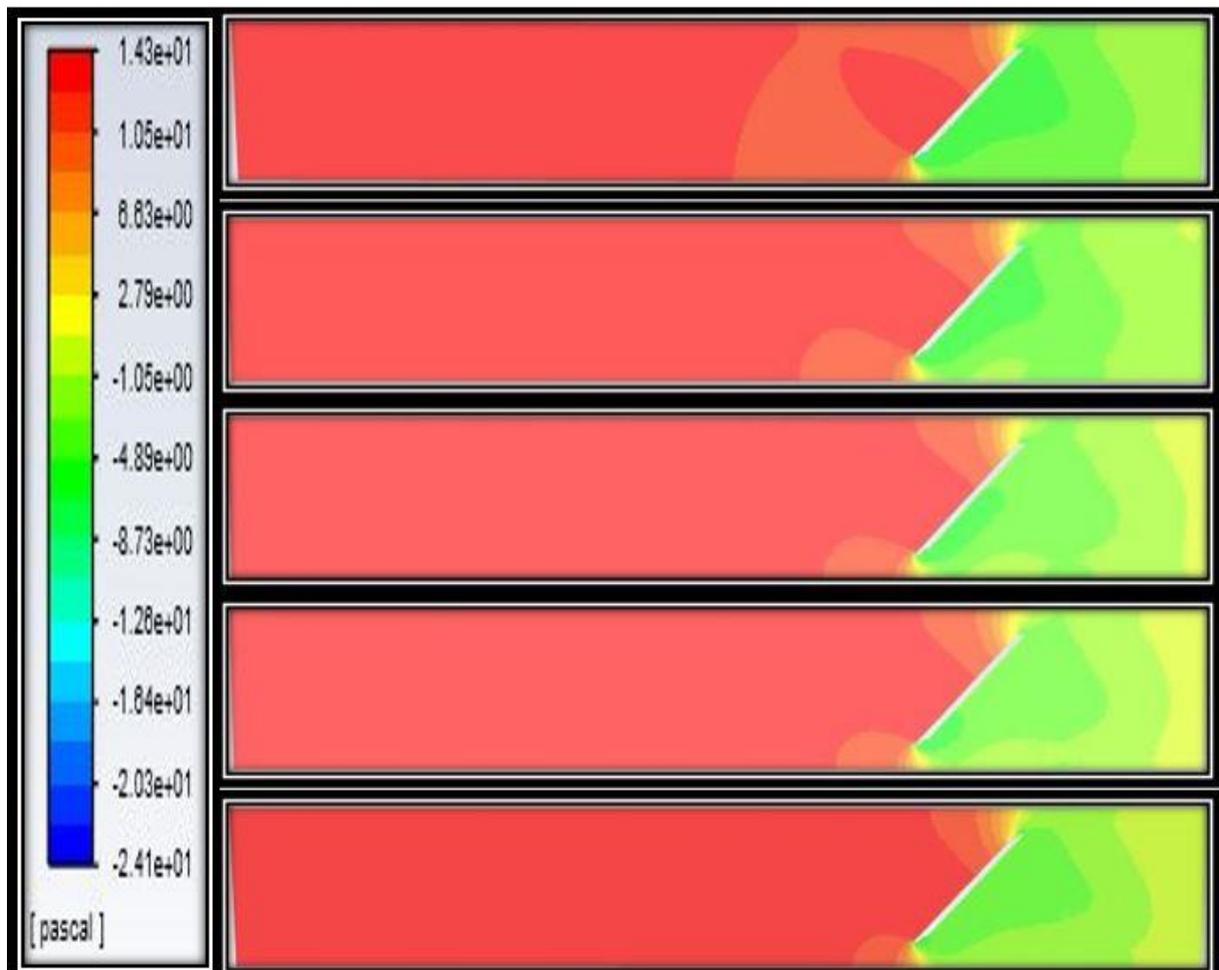


Figure 5.7 Répartition de la pression pour différentes vitesses d'entrée
à un angle de fermeture de 45°

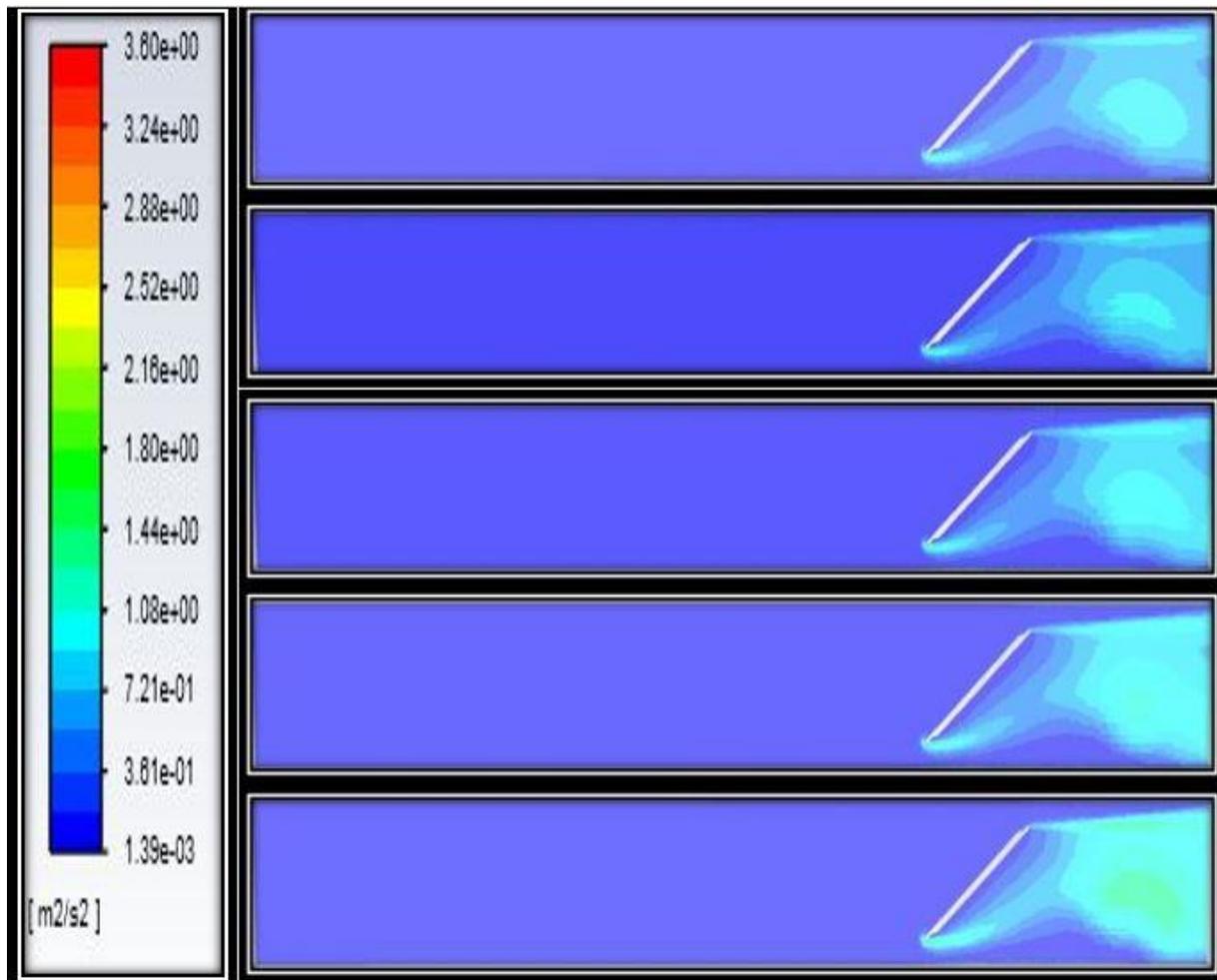


Figure 5.8 Energie cinétique turbulente à différentes vitesses d'entrée
à un angle de fermeture de 45°

L'intensité de la turbulence augmente également avec la vitesse d'entrée. Alors qu'à partir de la figure 5.9, on peut facilement voir l'effet de l'augmentation de la vitesse d'entrée simultanément avec l'augmentation de l'intensité de la perturbation, où à basse vitesse de petites zones de perturbation commencent à se former, à croître rapidement lorsqu'on atteint une valeur de vitesse maximale de 1.38 m/s.

Interprétation Lors de la modification de différentes valeurs de vitesse et de leur impact sur les caractéristiques de débit, il faut envisager de modifier la zone de fermeture de la vanne papillon, où la grande variation du gradient de vitesse entre la petite zone (qui se trouve entre la vanne et le tuyau mur) et la grande surface (qui est la section transversale du tuyau) force l'écoulement de fluide dans la direction de la zone étroite pour revenir à nouveau vers la plus grande surface. La zone derrière la vanne est caractérisée par différentes valeurs de vitesse et de direction, ce qui entraîne une rotation et une turbulence de l'écoulement le long du tuyau.

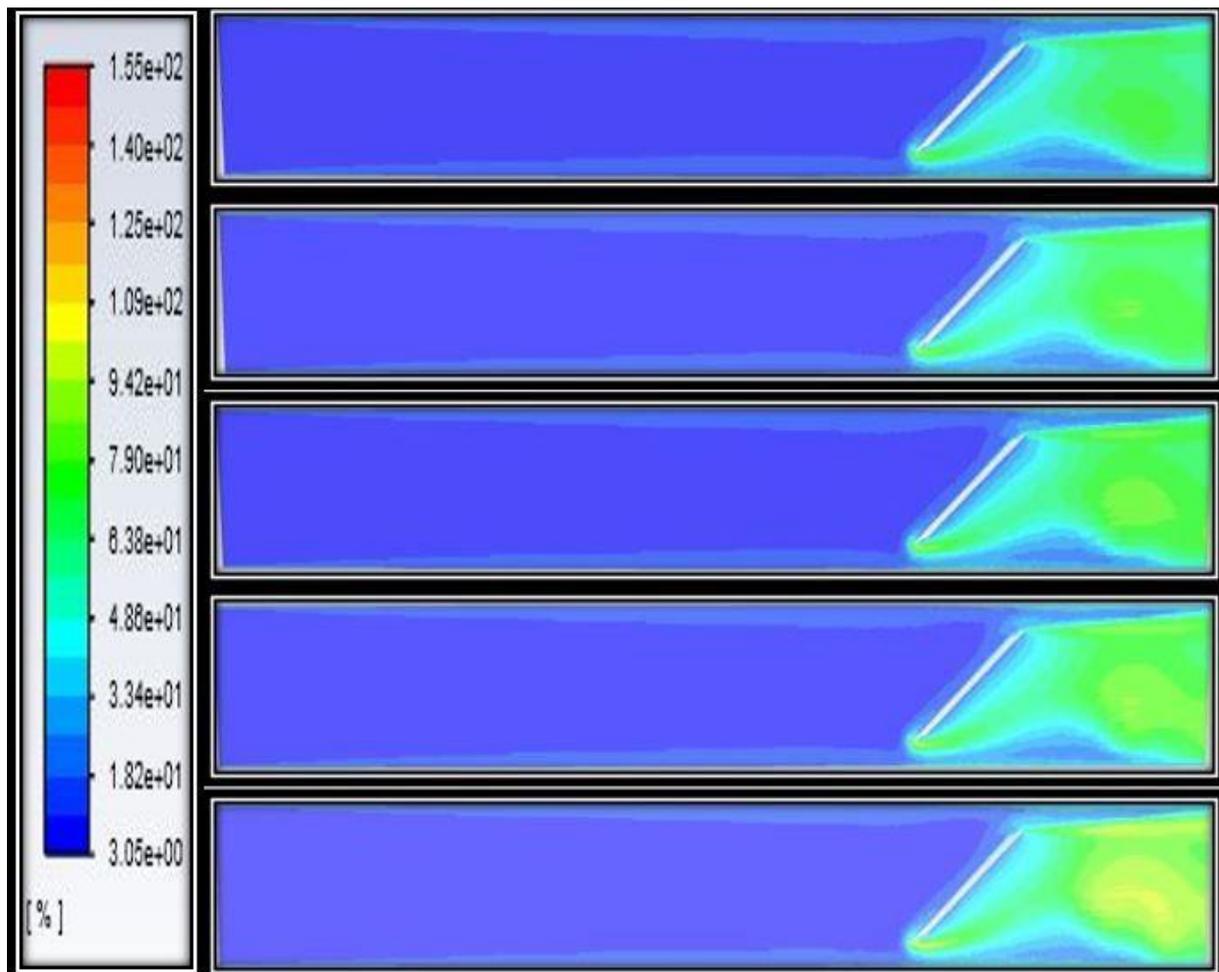


Figure 5.9 Variation de l'intensité de la turbulence pour différentes vitesses d'entrée à 45°

Conclusion générale

Dans ce travail, une étude d'écoulement d'air à travers d'une vanne papillon, plusieurs paramètres ont été considérés pour décrire les caractéristiques d'écoulement. Ces paramètres sont : ligne de courant, profile de vitesse, contours de pression et paramètre de turbulence. Les résultats expérimentaux ont montré un remarquable accord avec les résultats de l'analyse numérique en termes de pertes de charge dans la vanne.

Les observations les plus importantes des différents résultats sont mentionnées dans les points suivants :

- Les tourbillons se forment toujours dans la région postérieure de la vanne papillon (région aval), où la raison de la formation de ces tourbillons est due au mélange du chemin des vitesses maximales avec le chemin des vitesses minimales.
- Le début de l'apparition des tourbillons se fait à partir du bord du disque de la vanne papillon pour grossir rapidement selon chaque cas particulier.
- L'écoulement est très turbulent et a une grande valeur à l'angle de 30° , et l'intensité de la turbulence augmente avec l'approche de l'angle de fermeture de la vanne papillon.
- Il est suggéré de ne pas installer la vanne papillon dans la zone proche de la fermeture complète de la vanne papillon, car elle subit des valeurs de pression élevées lorsque la distance entre le disque de la vanne et la paroi du tube est réduite.
- A différentes vitesses d'entrée et dans la zone aval où se forment des tourbillons qui peuvent rester continus, se terminant à une certaine longueur de la conduite.
- La vanne papillon montre un contrôle parfait du débit en interceptant ou en réduisant la valeur des pressions entrantes.

Le type et la forme de la vanne utilisée dans l'étude ont montré une bonne efficacité pour contrôler le débit et la capacité d'être stable dans diverses pressions et situations, mais il existe encore des défauts dans la forme de sa conception qui ont conduit à l'obstruction du débit d'écoulement en douceur, et le type de matériaux utilisés dans sa fabrication restent limites dans

les domaines d'application. Du fait de l'obtention d'un bon contrôle du débit et de l'augmentation de sa capacité portante en cas de force majeure, il est nécessaire d'apporter des améliorations extérieures dans la forme de la vanne papillon, et des améliorations en termes de qualité des matériaux fabriqués, pour atteindre le plus haut possible efficacité.

Références Bibliographies

- [1]. Wikipedia, the free encyclopedia. Computational fluid dynamics. Wikipedia. [Online] September 2014. https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics.
- [2]. Numerical analysis of butterfly valve-prediction of flow. Xue guan Song, Young Chul Park. South Korea : s.n., 2007.
- [3]. Analysis and optimization of a butterfly valve disc. X G Song, L Wang, and Y C Park. Republic of Korea : <http://www.sagepublications.com/>, 2008.
- [4]. The Improvement of Large Butterfly Valve by Using Numerical Analysis Method. Lin Wang, Xueguan Song et parc Youngchul. South Korea : s.n., 2009.
- [5]. Numerical Analysis for Structural Safety Evaluation of Butterfly Valves. Myung-Seob Shin, Joon-Yong Yoon et Han-Yung Park. Republic of Korea : American Institute of Physics, 2010.
- [6]. Flow characteristics and performance evaluation of butterfly valves using numerical analysis. S Y Jeon, J Y Yoon et M S Shin. Republic of Korea: IOP Publishing Ltd, 2010.
- [7]. Effect of the flow conditions and valve size on butterfly valve performance. Mehmet SANDALCI, Ebru MANÇUHAN, Emre ALPMAN et Kurtul KÜÇÜKADA. Istanbul : s.n., 2010.
- [8]. A Numerical Study of the Flow through a Safety Butterfly Valve in a Hydro-Electric Power Scheme. A.D. Henderson, J.E. Sargison, G.J. Walker et J. Haynes. AUSTRALIA: s.n., 2011.
- [9]. Numerical Simulation and Experimental Research of a New Butterfly valve. Yang Wang, Ying Zhu, Xin rong Shen, et Jian Feng Ma. China: s.n., 2012.
- [10]. An Investigation of Butterfly Valve Flow Characteristics Using Numerical Technique. Ghaleb Ibrahim, Zaben Al-Otaibi et Husham M. kingdom of Bahrain: s.n., 2013.
- [11]. Flow Analysis of Butterfly Valve Using CFD. Arun Azad, Deepak Baranwal, Rajeev Arya et Nilesh Diwakar. Bhopal: IJMER, 2014.
- [12]. A Comparison Study between 3-D CFD and Experimental Data of Butterfly Valve Coefficients. Mohammed M. Said, Hossam S.S. AbdelMeguid et Lotfy H. Rabie. Egypt : <https://www.researchgate.net/>, 2014.

- [13]. Numerical analysis of cavitation erosion and particle erosion in butterfly valve. Bo Liu, Jiangang Zhao et Jianhua Qian. China: s.n., 2017.
- [14]. A simple method for high-precision evaluation of valve flow coefficient by computational fluid dynamics simulation. Xiao-Ming Zhou, Zhi-Kun Wang et Yi-Fang Zhang. China : Hongwei Wu, 2017.
- [15]. Analysis of One-Way and Two-Way FSI Approaches to Characterise the Flow Regime and the Mechanical Behaviour during Closing Manoeuvring Operation of a Butterfly Valve. M. Ezkurra, J. A. Esnaola, M. Martinez-Agirre, U. Etxeberria, U. Lertxundi, L. Colomo, M. Begiristain et I. Zurutuza. 2018.
- [16]. Design of Laminated Seal for Triple Offset Butterfly Valve (350 °C) Used in Combined Cycle Power Plants. Hyo Seo Kwak, Hansaem Seong, Rivaldo Mersis Brilianto et Chul Kim. Korea : <https://www.mdpi.com/journal/applsci>, 2019.
- [17]. Numerical Analysis of Woltman Meter Accuracy under Flow Perturbations. Carmen V. Palau, Iban Balbastre, Juan Manzano, Benito M. Azevedo et Guilherme V. Bomfim. Spain : <https://www.mdpi.com/>, 2019.
- [18]. Valve History. Stoneleigh Engineering Services. [Online] <http://www.stoneleigh-eng.com/valvehistory.html>.
- [19]. Butterfly valve. Wikipedia, the free encyclopedia. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_valve.
- [20]. Edwards, Ed. All About Butterfly Valves. thomasnet. [Online] <https://www.thomasnet.com/articles/pumps-valves-accessories/about-butterfly-valves/>.
- [21]. Reddy, S Bharadwaj. Butterfly Valves Construction, Types, Stem & Bonnet Assembly. instrumentationtools. [Online] <https://instrumentationtools.com/butterfly-valves-construction-types-stem-b>.
- [22]. pamline. Le robinet à papillon de sectionnement Wafer. Saint-Gobain PAM Canalisation . [Online] <https://www.pamline.fr/robinet-papillon-wafer>.
- [23]. pompes-direct. VANNE PAPILLON FONTE - OREILLES DE CENTRAGE - Ø100. pompes direct. [Online] <https://www.pompes-direct.com/accessoire-hydraulique/vanne-robinet/metal/vanne-papillon-fonte-oreilles-de-centrage-o100/52138.html>.
- [24]. tecofi. Vanne papillon à brides. tecofi. [Online] <https://www.tecofi.fr/vanne-papillon-a-brides/>.
- [25]. indcom. Vanne papillon, soudée type S-S | DN20. IndCom. [Online] <https://www.indcom.cz/fr/vanne-papillon-soudee-type-s-s-dn20>.

- [26]. tecofi. Vanne papillon revêtue PTFE. tecofi. [Online] <https://www.tecofi.fr/vanne-papillon-revetue-ptfe/>.
- [27]. picon-robinetterie. VANNE PAPIILLON HAUTE PERFORMANCE - RÉF. BVHD / BLHD. picon robinetterie. [Online] <http://picon-robinetterie.fr/fr/produits/gamme-industrie-108/vannes-papillon-12/vanne-papillon-metal-metal-37/bvhd--blhd-66.html>.
- [28]. alibaba. zero-offset JIS 10K cartridge valve manual wcb butterfly valve. alibaba. [Online] https://www.alibaba.com/product-detail/zero-offset-JIS-10K-cartridge-valve_60684753157.html.
- [29]. camtechvalve. Double Offset Butterfly Valve. camtechvalve. [Online] <https://camtechvalve.com/en/double-offset-butterfly-valve-2/>.
- [30]. indiamart. Triple Offset Butterfly Valves. indiamart. [Online] <https://www.indiamart.com/proddetail/triple-offset-butterfly-valves-16508233688.html>.
- [31]. Introduction to butterfly valves. Explore the world of piping.[online] http://www.wermac.org/valves/valves_butterfly.html.