

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
LE MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE



Projet de fin d'études

**En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie Mécanique option
Énergétique et Installation énergétique et turbomachine**

THEME

**Étude Dynamique de l'Écoulement autour d'un Obstacle Carré
avec Ailettes**

Présenté par :

Mouaki Benani Abderahmane

Memou Abderrahim

Proposé et encadré par :

Dr.Bensedira Sidali

Promotion : 2023/2024

Remerciement

Nous exprimons notre profonde gratitude envers Dieu pour la santé, la volonté, le courage et la détermination qui nous ont guidés tout au long de nos années d'études et pendant la réalisation de ce modeste travail. Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers notre famille pour leur soutien moral et physique inestimable ainsi que leurs encouragements constants tout au long de notre parcours académique.

Ce mémoire ne serait pas possible sans l'intervention et la conscience de nombreuses personnes, et nous tenons à les remercier sincèrement. Nous sommes reconnaissants envers Dr.Bensedira Sidali pour son encadrement, sa disponibilité et son dévouement qui ont contribué à la réussite de ce travail.

Nous exprimons notre gratitude envers le département de Mécanique pour l'expérience enrichissante qu'il nous a offerte, ainsi qu'à nos amis et enseignants, en particulier ceux de l'option énergétique.

Enfin, nous remercions chaleureusement tous ceux qui nous sont chers pour leur soutien et leurs encouragements constants tout au long de notre parcours. Nous sommes profondément reconnaissants envers nos parents et notre famille pour leur soutien moral, matériel et leur confiance indéfectible dans nos choix.

Dédicas

Nous dédions ce travail de fin d'études à nos parents, dont le soutien inconditionnel, l'amour sans faille et la confiance indéfectible ont été notre source d'inspiration et de motivation constante. À notre famille élargie, pour leurs encouragements constants et leur présence rassurante qui nous ont permis de surmonter les moments difficiles. Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers nos amis, dont la camaraderie, l'aide précieuse et les mots réconfortants ont été d'une valeur inestimable tout au long de notre parcours. Enfin, à tous ceux qui ont cru en nous, qui ont soutenu nos efforts et nos choix, et qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire, nous vous adressons nos remerciements les plus sincères. Ce travail est le fruit de votre soutien et de votre confiance.

ملخص :

يهدف هذا التقرير إلى دراسة الظاهرة الهيدروديناميكية لتدفق المياه حول عائق مربع، وكذلك تأثير الزعانف على هيكل التدفق. تم إجراء محاكاة رقمية باستخدام برنامج المحاكاة العددية ANSYS CFX الذي يعتمد على طريقة الحجوم المنتهية. خلصت الدراسة إلى أن وجود الزعانف له أهمية كبيرة في شكل التدفق. كما قارنا النتائج في حالة وجود وعدم وجود الزعانف وحصلنا على نتائج جيدة، خاصة مع الزعانف الأفقية ذات النسبة L/D الأكبر.

الكلمات المفتاحية : هيدروديناميكية , محاكاة رقمية , زعانف.

Résumé :

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le phénomène hydrodynamique d'un écoulement d'eau autour d'un obstacle carré, ainsi que l'effet des ailettes sur la structure de l'écoulement. Une simulation numérique a été effectuée avec le logiciel de simulation numérique ANSYS CFX, basé sur la méthode des volumes finis. L'étude a conclu que la présence des ailettes a une grande importance sur la forme de l'écoulement. Nous avons également comparé les résultats en présence et en absence des ailettes et avons obtenu de bons résultats, surtout avec des ailettes horizontales ayant un rapport L/D plus élevé.

Mots clés : Hydrodynamique, Simulation numérique, Ailettes.

Abstract:

The objective of this thesis is to study the hydrodynamic phenomenon of water flow around a square obstacle and the effect of fins on the flow structure. A numerical simulation was carried out with the numerical simulation software ANSYS CFX, based on the finite volume method. The study concluded that the presence of fins has a significant impact on the flow shape. We also compared the results with and without fins and obtained good results, especially with horizontal fins having a higher L/D ratio.

Keywords: Hydrodynamic, Numerical simulation, Fins.

Table des matières

Introduction générale :	1
Chapitre I Généralité et étude bibliographique	4
I.1 Introduction	4
I.2 Généralités sur la mécanique de fluide	4
I.2.1 Notion de fluide.....	4
I.2.2 Propriétés des fluides	5
I.2.2.3 Viscosité.....	6
I.2.2.3.1 Viscosité dynamique	7
I.2.2.3.2 Viscosité cinématique	7
I.3 Écoulement des fluides	8
I.3.1 Différents types d'écoulements	8
I.3.2 Les régimes de l'écoulement	10
I.3.2.1 Régime laminaire	11
I.3.2.2 Régime transitoire	11
I.3.2.3 Régime turbulent.....	12
I.4 Ecoulement autour des obstacles	12
I.4.1 Ecoulement autour des obstacles carrés	12
I.4.2 Ecoulement de von karman	13
I.4.3 Caractéristiques de l'écoulement autour d'un obstacle carre.....	14
I.4.3.1 Nombre de Reynolds.....	14
I.4.3.2 Nombre de Strouhal	15
I.4.3.4 Coefficient de portance (Lift coefficient).....	16
I.4.4 La couche limite	16
I.4.4.1 Point de séparation	17
I.4.4.2 Couche de cisaillement.....	17
I.4.4.3 Zone de recirculation.....	18
I.4.5 Profil de vitesse	18
I.5 Revue des travaux sur les écoulements autour d'un obstacle carré	19
Chapitre II : Formulation mathématique et modélisation numérique	25
II.1 Introduction	25
II.2 Formulation mathématique	25
II.2.1 Hypothèses Simplificatrices.....	25

Table des matières

II.2.2 Equations de transport.....	26
II.2.2.1 Equation de continuité	26
II.3 Résolution numérique	27
II.3.1 Méthode des différences finie	28
II.3.2 Méthode des éléments finie	28
II.3.3 Méthode des volumes finie	29
II.3.3.1 Principe de la méthode des volumes finis.....	29
II.4 Description générale.....	30
II.5 Le maillage	32
II.5.1 Noeuds et éléments	32
II.5.2 Connectivité.....	33
II.6 Géométrie et topologie	33
II.7 Étapes de la simulation numérique de l'écoulement autour d'un carré avec ailettes dans ANSYS CFX.....	34
II.7.1 Vue d'ensemble d'ANSYS Inc	34
II.7.1.2 Présentation d'ANSYS CFX	34
II.7.2 Géométrie.....	35
II.7.3 Maillage	35
II.7.4 Configuration	36
II.7.5 Solution.....	37
II.8 Conclusion	38
Chapitre III : Résultats et discussions	40
III.1 Introduction.....	40
III.2 Validation des resultats.....	40
III.3 Analyse de la moyenne de portance et de traînée avec et sans ailettes	41
III.3.1.2 Interprétation graphique de traînée moyenne	43
III.3.2 Analyse des résultats pour l'obstacle avec ailettes vertical	44
III.3.2.1 Interprétation graphique de portance moyenne	44
III.3.2.2 Interprétation du graphe de moyenne de traînée	45
III.3.3 Récapitulation des résultats	46
III.4 Analyse des effets des ailettes sur les écoulements autour de l'obstacle carré : (Étude de la vitesse, de la vorticité).....	49
III.4.1 La vitesse	49
III.4.2 Vorticité	53

Table des matières

III.5 Conclusion	58
Bibliographie.....	62

Liste des figure :

Figure I.1 : Deux différents types de fluide a) fluide liquide b) fluide gazeux	4
Figure I.2 : Écoulement de Cisaillement et Viscosité	5
Figure I.3 : Expérience de Reynolds	8
Figure I.4 : Passages entre les régimes d'écoulement	9
Figure I.5 : Régime laminaire	9
Figure I.6 : Régime turbulent	10
Figure I.7 : Régime turbulent	10
Figure I.8 : Ecoulement autour d'un obstacle carré	11
Figure I.9 : L'allée tourbillonnaire de von Kármán	12
Figure I.10 : La couche limite.....	15
Figure I.11 : Ecoulement autour d'un obstacle carre pour des petits nombres de Reynolds.....	16
Figure I.12 : Profil de vitesse	16
Figure II.1 : Schéma du maillage	31
Figure II.3 : Illustration de la notion de maillage	32
Figure II.4 : Géométrie du domaine	33
Figure II.5 : Les différences structurent de maillage	33
Figure II.6 : géométrie du modèle	34
Figure II.7 : Maillage du modèle ($G/D=0.025$ $L/D=1$)	35
Figure II.8 : Caractéristiques du liquide	35
Figure II.9 : les conditions d'entrée et de sortie	36
Figure II.11 : Les Expressions utilisés	36
Figure II.12 : Exécution dans ANSYS CFX.....	38
Figure II.13 : Achèvement de la simulation.....	38
Figure III.1 : Variation de portance moyenne en fonction du L/D avec ailettes horizontale a $Re=200$	41
Figure III.2 : Variation de traînée moyenne en fonction du L/D avec ailettes horizontale a $Re=200$	42
Figure III.3 : Variation de portance moyenne en fonction du L/D avec ailettes vertical a $Re=200$	43
Figure III.4 : Variation de traînée moyenne en fonction du L/D avec ailettes vertical a $Re=200$	44
Figure III.5 : Variation de portance (C_L) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes horizontales	46
Figure III.6 : Variation de traînée (C_D) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes verticales.....	46

Liste des figures

Figure III.7 : Variation de portance (C_L) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes verticales.....	47
Figure III.8 : Variation de trainée (C_D) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes verticales	47
Figure III.9 Évolution de la vitesse de l'Écoulement sans Ailettes.....	50
Figure III.10 Évolution de la vitesse de l'Écoulement avec ailettes horizontales.....	53
Figure III.11 Évolution de la vitesse de l'Écoulement avec ailettes verticales.....	55
Figure III.12 Évolution de la vorticité de l'Écoulement sans ailettes	56
Figure III.13 Évolution de la vorticité de l'Écoulement avec ailettes horizontales.....	56
Figure III.14 Évolution de la vorticité de l'Écoulement avec ailettes verticales.....	

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Tableau des configurations des ailettes	29
Tableau II.2 : Tableau des paramètres de simulation	29
Tableau III.1 Détails du Maillage et Traînée moyenne Obtenue pour Chaque Configuration.....	41
Tableau III.2 Portance moyenne (CL_{moy}) et traînée moyenne (CD_{moy}) pour un obstacle Carré avec ailettes horizontales en fonction des rapports G/D et L/D	42
Tableau III.3 Portance moyenne (CL_{moy}) et traînée moyenne (CD_{moy}) pour un obstacle carré avec ailettes verticales en fonction des rapports G/D et L/D	43

Liste des symboles

Liste des symboles :

ρ	Masse volumique	(kg.m ⁻³)
M	masse	(kg)
V	volume	(m ³)
ρ_{ref}	Masse volumique d'un fluide de référence	
F	force de glissement entre les couches	(N)
μ	Viscosité dynamique	(kg/m.s)
ν	viscosité cinématique	(m ² .s ⁻¹)
S	surface de contact entre deux couches	(m ²)
ΔV	Écart de vitesse entre deux couches	(m/s)
ΔZ	Distance entre deux couches	(m)
v	vitesse moyenne du fluide	(m.s ⁻¹)
D	diamètre de la conduite	(m)
Re	Nombre de Reynolds	
v	vitesse moyenne d'écoulement	(m/s)
L	la longueur caractéristique	(m)
s_t	Nombre de Strouhal	
F	fréquence d'émission des tourbillons	
C_D	Coefficient de traînée (Drag coefficient)	
C_L	Coefficient de portance (Lift coefficient)	
F_D	Force de traînée	(N)
F_L	Force de portance	(N)
$\frac{\rho}{2} U_0^2$	Pression dynamique d'écoulement libre.	
\vec{v}	le vecteur vitesse de l'écoulement exprime	(m/s)
u_1	composante de vecteur de la vitesse d'écoulement dans la direction X	
u_2	composante de vecteur de la vitesse d'écoulement dans la direction Y	
P	la pression exercée par une force F sur une surface S'exprimes	(N/m ²)
\vec{f}	la résultante des forces massiques s'exerçant dans le fluide.	
θ	l'angle qui mesure l'orientation de la surface de l'obstacle par rapport à la direction de l'écoulement du fluide.	
D	une longueur caractéristique de l'obstacle.	
U_0^2	la vitesse de l'écoulement au carré	
$\omega(t)$	la vorticité locale	
ΔT	la période de temps intégrale lorsque le temps L'historique du coefficient de traînée est stable	
$\overline{C_d}$	Le coefficient de traînée moyenne	
$\overline{C_l}$	Le coefficient de portance moyenne	
(G/D)	�paisseur des ailettes	
(L/D)	Longueur des ailettes	

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

La compréhension et l'optimisation des écoulements fluides autour de corps immergés représentent un défi majeur dans divers domaines de l'ingénierie, tels que l'aérospatiale, le naval et l'automobile. Les caractéristiques de l'écoulement influencent directement la traînée, la portance et la stabilité des structures, ce qui affecte à son tour leur performance et leur efficacité énergétique. Les ingénieurs et les chercheurs cherchent continuellement à améliorer ces aspects pour concevoir des véhicules et des structures plus performants et économes en énergie.

Cette étude se concentre sur l'impact des ailettes verticales et horizontales sur la stabilisation du fluide, la vorticité, la vitesse, la portance et la traînée autour d'un corps immergé. Les ailettes sont des dispositifs présents à la surface des structures pour contrôler et modifier les caractéristiques de l'écoulement. L'objectif principal de cette recherche est d'examiner comment les variations des ratios de longueur (L/D) et d'épaisseur (G/D) des ailettes influencent les dynamiques du fluide. En particulier, nous visons à identifier les configurations géométriques optimales pour améliorer la stabilisation du fluide et réduire la traînée, ce qui pourrait mener à des améliorations significatives en termes de performance et d'efficacité énergétique des structures immergées.

Après cette introduction :

Nous présentons notre étude de la manière suivante:

- Le premier chapitre offre une revue bibliographique sur la mécanique des fluides et les écoulements autour des obstacles. Il traite des principes fondamentaux, résume les méthodes et résultats des recherches précédentes, et identifie les défis et lacunes actuels, justifiant notre étude.
- Le deuxième chapitre détaille les formules et équations de continuité utilisées dans ANSYS pour les simulations numériques, et explique la méthodologie de configuration et de maillage des modèles, essentielles pour assurer la précision et la fiabilité des résultats.
- Le troisième chapitre discute les résultats des simulations, analysant les configurations d'ailettes les plus efficaces pour réduire la vorticité, stabiliser le sillage et diminuer la traînée

Introduction générale

En conclusion, cette étude vise à fournir des insights précieux pour l'optimisation des ailettes afin d'améliorer la performance et l'efficacité des structures immergées. Les résultats de cette recherche pourraient être appliqués dans divers domaines industriels pour concevoir des véhicules et des structures plus stables et économes en énergie, contribuant ainsi à des avancées significatives dans l'ingénierie des fluides.

CHAPITRE I
GÉNÉRÉALITÉ ET ÉTUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I Généralité et étude bibliographique

I.1 Introduction

La mécanique des fluides est la science qui étudie les lois de l'écoulement des liquides et des gaz, et sert de base au dimensionnement des conduites et aux mécanismes de transfert des fluides. Elle se divise en deux branches principales : la statique des fluides, qui examine les fluides au repos, et la dynamique des fluides, qui s'intéresse aux fluides en mouvement. Cette discipline comprend également des domaines spécialisés comme l'hydraulique, l'hydrodynamique et l'aérodynamique. Récemment, la mécanique des fluides numérique (CFD) a émergé, utilisant des supercalculateurs pour simuler les écoulements en résolvant les équations complexes. Les applications de la mécanique des fluides sont nombreuses, allant de l'ingénierie navale et aéronautique à la météorologie, la climatologie et l'océanographie.

I.2 Généralités sur la mécanique de fluide

I.2.1 Notion de fluide

Un fluide est une substance composée d'un grand nombre de petites particules matérielles, libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. Cela en fait un milieu continu, déformable, sans rigidité et capable de s'écouler. Les forces de cohésion entre les particules sont très faibles, ce qui permet au fluide de prendre la forme de son contenant, comme les métaux en fusion qui peuvent être moulés en pièces de formes complexes.

Un fluide est considéré comme un milieu continu même lorsque l'on observe un très petit volume, qui reste toujours beaucoup plus grand que la taille des molécules le composant. Par exemple, une minuscule goutte de brouillard est immense à l'échelle moléculaire et est traitée comme un milieu continu. Les fluides sont souvent distingués en liquides et gaz.

Les fluides peuvent également être classés en fonction de leur viscosité, une propriété physico-chimique qui décrit le frottement interne. On distingue ainsi les fluides "newtoniens", tels que l'eau et l'air, qui ont une viscosité constante ou variant uniquement avec la température, et les fluides "non newtoniens", comme le sang, les gels et les pâtes, dont la viscosité change en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils subissent lors de leur écoulement.[1]



(a)

(b)

Figure I.1 : Les deux principaux type de fluide : a) fluide liquide et b) fluide gazeux

I.2.2 Propriétés des fluides

Tous les fluides possèdent des caractéristiques permettant de décrire leurs conditions physiques dans un état donné. Parmi ces caractéristiques on a :

I.2.2.1 Masse volumique

La masse volumique ρ d'un fluide. Elle est exprimée en (kg/m³).

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (I.1)$$

Où :

ρ : Masse volumique en (kg/m³).

m: masse en (kg).

v: volume en (m³).

I.2.2.2 Densité

La densité est définie comme le rapport de la masse volumique du fluide à celle d'un corps de référence, ce qui en fait une grandeur sans unité exprimée par :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \quad (I.2)$$

Où :

ρ : Masse volumique de fluide.

ρ_{ref} : Masse volumique d'un fluide de référence.

I.2.2.3 Viscosité

La viscosité est une propriété qui caractérise les frottements internes d'un fluide et sa capacité à s'écouler. Elle mesure la résistance d'un fluide à l'écoulement sous l'application d'une force : les fluides à haute viscosité s'écoulent difficilement, tandis que ceux à faible viscosité s'écoulent facilement. Pour mesurer la viscosité, on peut utiliser un viscosimètre à chute de bille, qui mesure le temps nécessaire à une bille pour traverser le fluide. Une autre méthode consiste à utiliser un récipient avec un orifice de taille standardisée au fond ; la vitesse d'écoulement du fluide à travers cet orifice permet de déterminer sa viscosité.

La viscosité est influencée par la capacité d'une couche fluide en mouvement à entraîner les couches adjacentes. Par exemple, considérons un fluide visqueux entre deux plaques P_1 et P_2 , où P_1 est fixe et P_2 se déplace à une vitesse v_2 .

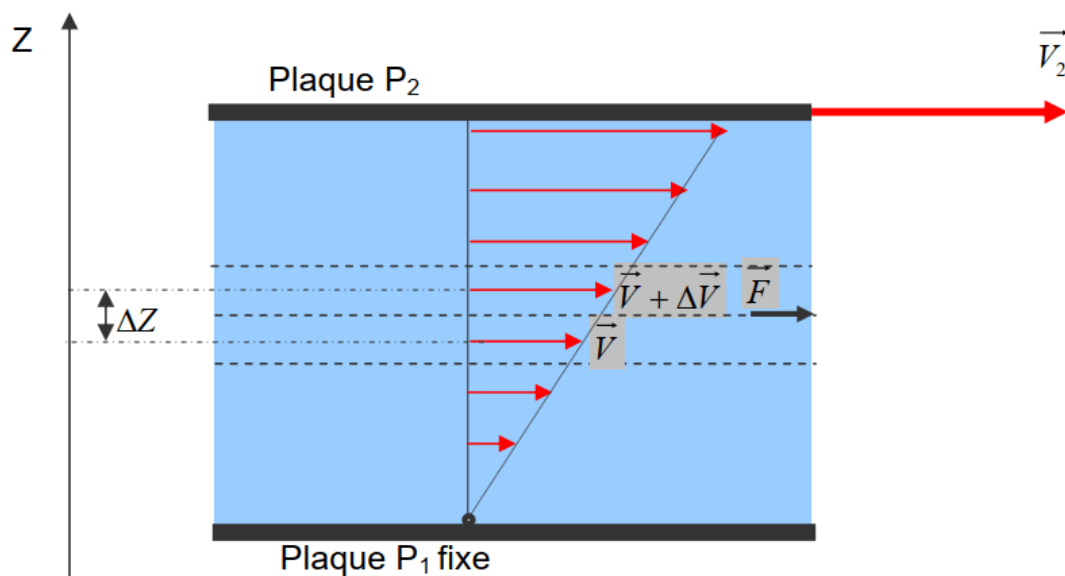


Figure I.2 : Écoulement de cisaillement et viscosité

En représentant par des vecteurs la vitesse de chaque particule dans une section perpendiculaire à l'écoulement, la courbe tracée par les extrémités de ces vecteurs illustre le profil de vitesse. Le fluide se déplace par glissement des couches les unes sur les autres, avec la vitesse de chaque couche dépendant de la distance Z . On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.[2]

I.2.2.3.1 Viscosité dynamique

La viscosité dynamique décrit la relation proportionnelle entre la force appliquée à une plaque immergée dans un fluide en mouvement et la variation de vitesse du fluide entre les deux faces de la plaque. Ce concept est quantifié par un coefficient qui représente la contrainte de cisaillement nécessaire pour créer un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans le fluide. Prenons l'exemple de deux couches de fluide adjacentes séparées par une distance ΔZ . La force de frottement F qui agit à la surface de séparation entre ces deux couches résiste au glissement d'une couche sur l'autre. Cette force est proportionnelle à la différence de vitesse entre les couches, ΔV , et à leur surface S , mais elle est inversement proportionnelle à ΔZ . Le coefficient de proportionnalité μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

$$F = \mu \cdot S \cdot \frac{\Delta V}{\Delta Z} \quad (\text{I.3})$$

Où :

F : force de glissement entre les couches en (N)

μ : Viscosité dynamique en (kg/m.s),

S : surface de contact entre deux couches en (m^2)

ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s),

ΔZ : Distance entre deux couches en (m).

Remarque : Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal seconde (Pas) ou Poiseuille (PI) : $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ PI} = 1 \text{ kg/ms}$

I.2.2.3.2 Viscosité cinématique

une étude fondamentale de la relation entre la viscosité dynamique et la densité d'un fluide, exprimée par :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{I.4})$$

L'unité de mesure de la viscosité cinématique est le mètre carré par seconde (m^2/s).

Remarque 1 (Unité) : La viscosité cinématique est souvent mesurée en Stokes (St), où $1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/s$

Remarque 2 (Influence de la température) : Lorsque la température augmente, la viscosité d'un fluide diminue en raison de la réduction de sa densité.

Remarque 3 (Différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique) : La viscosité cinématique est une mesure du temps d'écoulement d'un liquide. En revanche, la viscosité dynamique décrit le comportement physique d'un fluide lorsqu'il est soumis à une contrainte (force). En d'autres termes, la viscosité dynamique exprime la résistance d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement, reflétant ainsi sa "rigidité".

I.3 Écoulement des fluides

L'écoulement d'un fluide se manifeste lorsque chaque particule du fluide suit une trajectoire régulière, sans entrave ni contact avec les autres trajectoires.

I.3.1 Différents types d'écoulements

En physique, les écoulements de fluides présentent divers aspects : stables ou instables, compressibles ou incompressibles, visqueux ou non visqueux, etc. Certaines de ces caractéristiques sont propres au fluide lui-même, tandis que d'autres concernent la manière dont le fluide se déplace.

I.3.1.1 Écoulement laminaire

Dans un écoulement laminaire, les couches de fluide glissent de manière régulière et fluide les unes sur les autres sans mélange turbulent. Ce type d'écoulement se produit généralement à faible vitesse et avec un faible nombre de Reynolds, typiquement inférieur à 2000..[3]

I.3.1.2 Écoulement turbulent

L'écoulement turbulent est caractérisé par des mouvements désordonnés et chaotiques, avec la formation de tourbillons et de fluctuations rapides dans la vitesse du fluide. Ce type d'écoulement se produit généralement à des vitesses plus élevées et avec un nombre de Reynolds supérieur à 3000..

I.3.1.3 Écoulement de transition

Un écoulement compressible est un type d'écoulement dans lequel la densité du fluide varie de manière significative en raison des variations de pression et de température. Contrairement à un écoulement incompressible où la densité du fluide reste constante, dans un écoulement compressible, les effets de la compression du fluide doivent être pris en compte.[4]

I.3.1.4 Écoulement stationnaire

Un écoulement est dit stationnaire lorsqu'à un point donné du fluide, les propriétés comme la vitesse et la pression restent constantes dans le temps. Ce type d'écoulement est souvent observé dans des systèmes en régime permanent, comme l'écoulement régulier de l'eau dans une rivière à débit constant.^{5]}

I.3.1.5 Écoulement instationnaire

Contrairement à l'écoulement stationnaire, l'écoulement instationnaire est caractérisé par des variations temporelles des propriétés du fluide, comme la vitesse et la pression.

I.3.1.6 Écoulement compressible

Dans un écoulement compressible, la densité du fluide varie de manière significative au cours du mouvement. Ce type d'écoulement est souvent observé à des vitesses supersoniques ou dans les jets d'échappement des moteurs.

I.3.1.7 Écoulement incompressible

Lorsqu'un fluide est considéré comme incompressible, sa densité reste pratiquement constante au cours de l'écoulement.^{6]}

I.3.1.8 Écoulement visqueux

Un écoulement visqueux est influencé par la viscosité du fluide, ce qui entraîne une résistance interne au mouvement. On observe ce type d'écoulement dans des fluides épais comme l'huile, où la viscosité crée des forces de friction internes.

I.3.1.9 Écoulement non-visqueux

L'écoulement non-visqueux, ou fluide parfait, est un modèle théorique où la viscosité est négligée, simplifiant ainsi l'analyse des écoulements. Ce modèle est utile pour étudier des situations idéalisées,

I.3.1.10 Écoulement rotatif

Dans un écoulement rotatif, les particules de fluide présentent un mouvement de rotation autour d'un axe. Ce phénomène est souvent observé dans des systèmes naturels comme les cyclones ou dans des expériences avec des vortex créés dans l'eau.

I.3.1.11 Écoulement potentiel

L'écoulement potentiel est un type d'écoulement non-visqueux et irrotationnel où le fluide se déplace en réponse à un champ de pression uniforme.

Chaque type d'écoulement a des caractéristiques distinctes et s'applique à différentes situations en fonction des conditions du problème étudié en mécanique des fluides.

I.3.2 Les régimes de l'écoulement

Les expériences menées par Reynolds en 1883 sur l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique droite, dans laquelle un filet de liquide coloré était également introduit, ont révélé l'existence de trois types d'écoulement : laminaire, transitoire et turbulent.

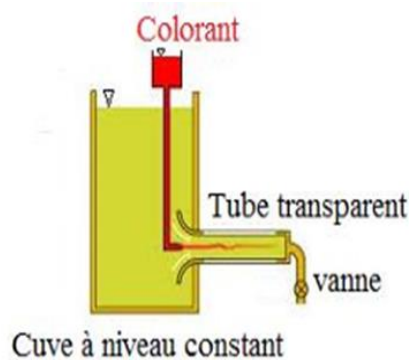


Figure I.3 Expérience de Reynolds

En utilisant divers fluides ayant des viscosités différentes et en modifiant le débit ainsi que le diamètre de la conduite, Reynolds a démontré que le critère permettant de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un paramètre sans dimension appelé nombre de Reynolds.

Les résultats de l'expérience indiquent que :

- Lorsque $Re < 2000$, l'écoulement est laminaire.
- Lorsque $2000 < Re < 3000$, l'écoulement est intermédiaire, également appelé transitoire.
- Lorsque $Re > 3000$, l'écoulement devient turbulent.

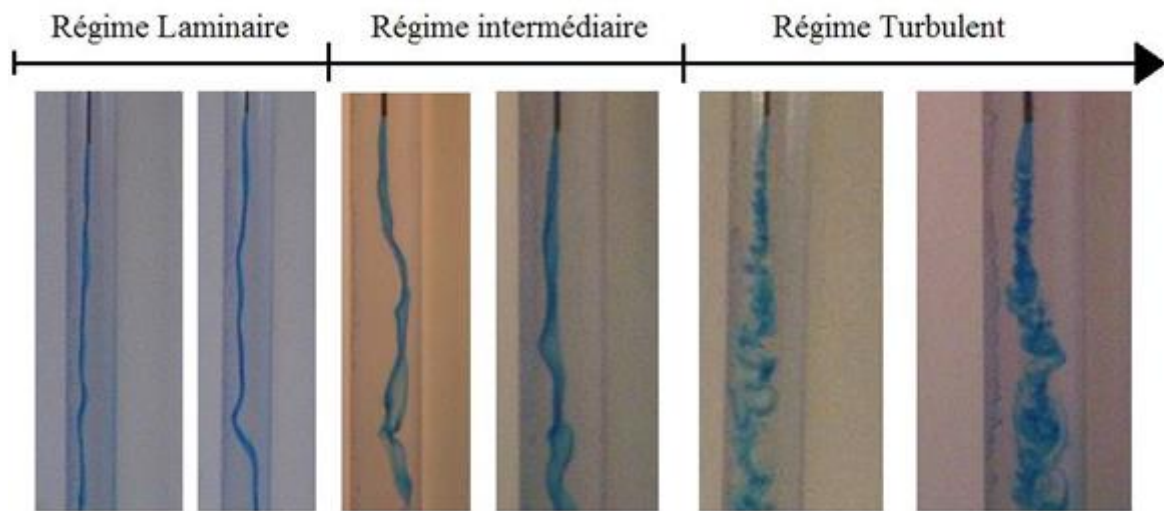


Figure I.4 Passages entre les régimes d'écoulement [7]

I.3.2.1 Régime laminaire

L'écoulement est rectiligne, le fluide se déplace en couches parallèles à l'axe de la conduite, sans mélange entre elles.



Figure I.5 : Régime laminaire

I.3.2.2 Régime transitoire

L'écoulement est principalement rectiligne, mais avec un certain mélange et la présence de petits tourbillons.

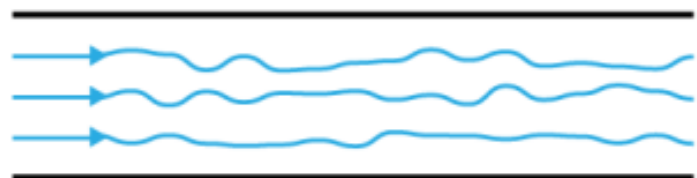


Figure I.6 : Régime transitoire

I.3.2.3 Régime turbulent

L'écoulement se caractérise par de grands tourbillons et un mélange significatif du fluide.



Figure I.7 : Régime turbulent[8]

I.4 Ecoulement autour des obstacles

L'écoulement autour des obstacles est un phénomène fréquent dans divers domaines de l'ingénierie, notamment l'aéronautique, l'automobile, la construction et la conception de composants électroniques. Il est crucial de comprendre ce phénomène pour optimiser la conception de nombreux systèmes, tels que les avions, les voitures, les bâtiments, les composants électroniques, les profils d'ailes d'avion NACA, les échangeurs de chaleur, les radiateurs, les turbines industrielles, ainsi que pour l'étude des trajectoires de bateaux et des obstacles carrés et cylindriques. La recherche sur les phénomènes hydrodynamiques et aérodynamiques générés par le sillage d'un obstacle demeure un sujet d'intérêt dans divers domaines.[9]

Les obstacles aérodynamiques peuvent être classés en trois catégories selon leur géométrie :

- 1- Les obstacles à courbure progressive, tels que les sphères ou les cylindres, où le point de décollement de la couche limite peut varier.
- 2- Les obstacles à arrête vive, comme une plaque plane inclinée par rapport à la direction de la vitesse, où le point de décollement de la couche limite est fixe.
- 3- Les obstacles profilés, comme une plaque plane parallèle à la vitesse, où il n'y a pas de décollement de la couche limite.

I.4.1 Ecoulement autour des obstacles carrés

Dans de nombreux domaines industriels et techniques, tels que l'aérodynamique des structures, l'écoulement autour d'un obstacle carré est d'une grande importance. Ces phénomènes sont fréquemment observés dans le domaine de l'ingénierie du vent, notamment autour des immeubles de grande hauteur, des ponts, des monuments et des tours qui sont exposés en

permanence aux vents. De plus, on les rencontre également autour des piliers de ponts et des supports des plates-formes côtières, qui sont constamment soumis aux forces générées par les courants maritimes et fluviaux. En conséquence, ces types d'écoulements ont été l'objet de nombreuses études, qu'elles soient expérimentales ou numériques.[10]

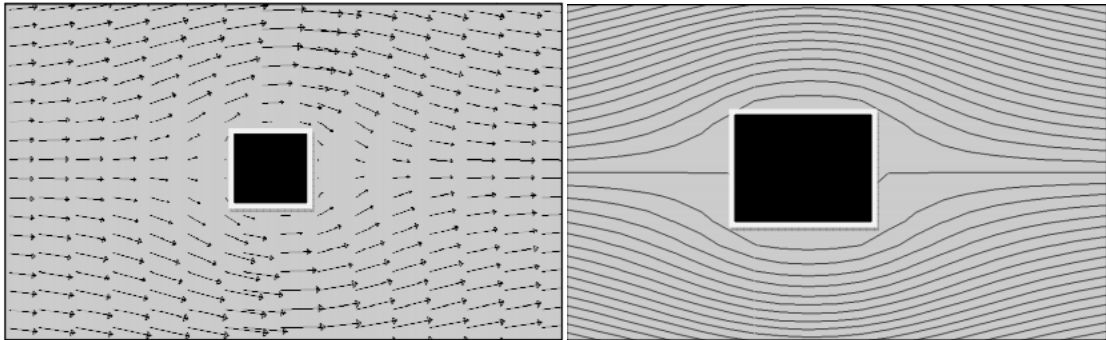


Figure I.8 : Écoulement autour d'un obstacle carré [9]

I.4.2 Écoulement de von karman

Lorsque des tourbillons se détachent, un écoulement asymétrique se forme autour d'un objet, ce qui altère la répartition des pressions. Cette alternance de séparation des tourbillons peut induire une portance périodique sur l'objet, entraînant ainsi des vibrations. Si la fréquence de séparation correspond à la fréquence naturelle d'une structure, cela peut provoquer une résonance, générant des vibrations forcées.

Ces vibrations peuvent être responsables de phénomènes tels que le "chant" des lignes électriques, l'augmentation des vibrations des antennes de voiture à certaines vitesses, ou encore les battements des stores vénitiens lorsque le vent souffle à travers eux.

Dans divers domaines techniques, ce phénomène peut avoir des conséquences graves, telles que les vibrations des câbles de ponts suspendus, voire leur rupture, ou encore l'effondrement de cheminées. Les allées de tourbillons de Bénard-Karman disparaissent à un régime critique, mais réapparaissent à des nombres de Reynolds plus élevés.[11]

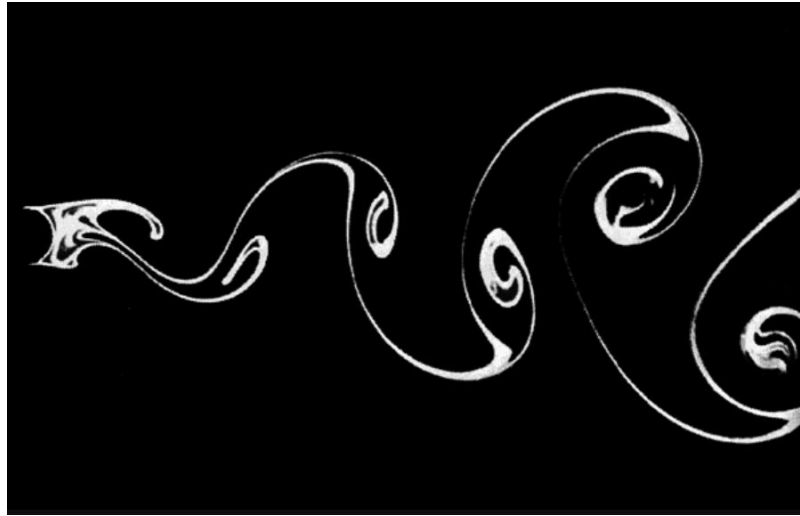


Figure I.9 : L'allée tourbillonnaire de von Kármán [12]

I.4.3 Caractéristiques de l'écoulement autour d'un obstacle carré

I.4.3.1 Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds, introduit par Osborne Reynolds, est une grandeur sans dimension fondamentale en mécanique des fluides. Il caractérise les régimes d'écoulement en déterminant le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Cet outil essentiel émerge lors de la mise à l'échelle des équations de Navier-Stokes, fournissant ainsi une base pour l'analyse et la modélisation des écoulements fluides autour des objets. Pour un obstacle carré, le nombre de Reynolds aide à définir si l'écoulement est laminaire, transitoire ou turbulent, influençant ainsi la formation de structures tourbillonnaires et les caractéristiques de traînée et de portance de l'obstacle. En résumé, le nombre de Reynolds est crucial pour comprendre et prédire le comportement des écoulements fluides, qu'il s'agisse de simples conduites cylindriques ou d'écoulements plus complexes autour de formes géométriques variées, telles que des obstacles carrés. On le définit de la manière suivante :

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (I.5)$$

Avec :

ρ : la masse volumique du fluide ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

μ : viscosité dynamique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$).

v : vitesse moyenne d'écoulement (m/s) .

L : la longueur caractéristique (m).

I.4.3.2 Nombre de Strouhal

Le nombre de Strouhal, nommé d'après le physicien tchèque Vincent Strouhal, est une grandeur sans dimension qui décrit les phénomènes de circulation oscillante. Physiquement, il exprime le rapport entre le temps d'advection et le temps caractéristique de l'instantanéité. Lorsque l'écoulement est qualifié de quasi-stationnaire, ce nombre prend une importance particulière.[14]

En 1878, Vincent Strouhal fut le premier à observer la relation entre la fréquence du son et le rapport entre la vitesse du vent et le diamètre d'un fil tendu, en étudiant les vibrations émises par ce dernier soumis au vent. Cette relation s'exprime par la formule :

$$s_t = \frac{F \cdot L}{v} \quad (\text{I.6})$$

Avec :

F : fréquence d'émission des tourbillons (cette fréquence étant définie classiquement comme l'inverse de la période mesurée de situation homologue à situation homologue) ;

L : longueur caractéristique (diamètre du fil dans les expériences de Strouhal) ;

v: vitesse de l'écoulement non perturbé.

I.4.3.3 Coefficient de traînée (Drag coefficient)

Prenons l'exemple d'une sphère se déplaçant uniformément dans un fluide. Il est important de noter que la viscosité est un facteur crucial pour expliquer la présence d'une force de traînée. En présence d'un fluide parfait, la traînée est absente car les couches de fluide glissent simplement sur l'obstacle sans frottement.[15]

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{\rho}{2} U_0^2 D} \quad (\text{I.7})$$

Avec :

F_D : Force de traînée(N).

$\frac{\rho}{2} U_0^2$: Pression dynamique d'écoulement libre(Pa).

D : une longueur caractéristique de l'obstacle.

I.4.3.4 Coefficient de portance (Lift coefficient)

Le coefficient de portance, également appelé coefficient de lift, est un nombre sans dimension qui fait partie des forces aérodynamiques agissant sur un objet lors de son déplacement dans l'air ou tout autre milieu. Sa valeur dépend de la forme et de la position de l'objet par rapport au fluide environnant . Elle est illustrée par l'équation suivante :

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{\rho}{2} U_0^2 D} \quad (I.8)$$

Avec :

F_L : Force de portance(N).

$\frac{\rho}{2} U_0^2$: Pression dynamique d'écoulement libre(Pa).

D : une longueur caractéristique de l'obstacle.

I.4.4 La couche limite

Dans les environs d'une paroi, une zone de gradients de vitesse et de température existe, où la viscosité d'un fluide joue un rôle significatif, d'autant plus prononcé lorsque le nombre de Reynolds est élevé. Cette région est appelée la couche limite, représentant l'interface entre un corps et le fluide environnant lors d'un mouvement relatif entre les deux, résultant de la viscosité du fluide.

Elle revêt une importance primordiale en mécanique des fluides (aérodynamique, hydrodynamique), en météorologie, en océanographie, entre autres. La couche limite résulte des échanges de quantité de mouvement et de chaleur entre le fluide et la paroi. En dehors de cette zone, le fluide peut être considéré comme parfait (sans viscosité), obéissant ainsi aux équations d'Euler.

Dans le cas d'un écoulement interne, les couches limites visqueuses s'épaississent de part et d'autre des parois, se rejoignant après une certaine distance parcourue, connue sous le nom de longueur d'établissement. À partir de ce point, l'écoulement devient totalement visqueux et entièrement développé. Par conséquent, il est crucial que le maillage près de la paroi soit soigneusement conçu. Un maillage grossier près de la paroi ne permettrait pas de capturer le développement de la couche limite et pourrait entraîner une sous-estimation de la longueur d'établissement de l'écoulement.[16]

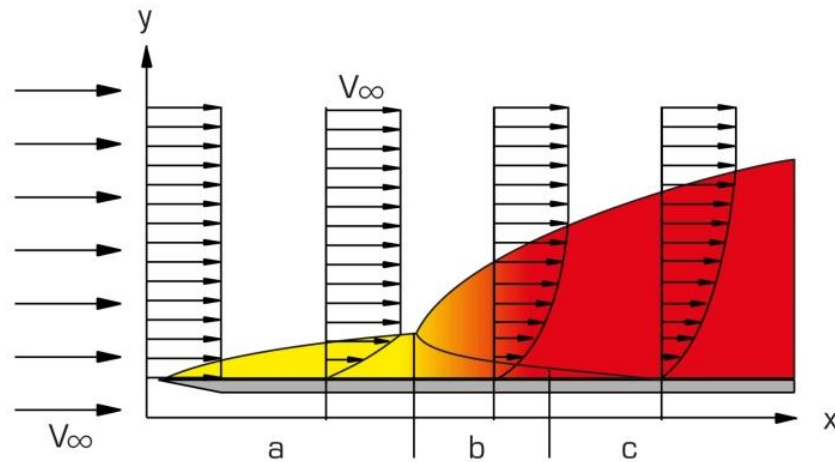


Figure I.10 : La couche limite[17]

I.4.4.1 Point de séparation

Le point de séparation, où la couche limite se détache de la paroi et où le frottement devient nul, est défini comme le point où le frottement s'annule.

Contrairement à certaines géométries, telles que celle d'un obstacle carré, le décollement dans le cas d'un cylindre circulaire n'est pas dû à une singularité dans la géométrie, mais plutôt au développement de la couche limite en présence d'un gradient de pression adverse (un gradient de pression tel que la pression augmente dans le sens de l'écoulement).

Lorsque ce gradient de pression adverse est suffisamment important, la vitesse des particules de fluide diminue jusqu'à devenir nulle, puis négative. C'est le processus de décollement de la couche limite.

I.4.4.2 Couche de cisaillement

Les couches de cisaillement sont des zones de fluides où il existe un gradient de vitesse important. Cette différence de vitesse à l'intérieur du fluide entraîne des contraintes de cisaillement significatives. Les particules de fluide se déplaçant rapidement sont freinées par les particules de fluide moins rapides.

Dans le cas de l'écoulement autour d'un obstacle, deux couches de cisaillement se développent de part et d'autre de l'obstacle, entre la zone d'écoulement libre et la zone de vitesse quasi nulle qui constitue le sillage.

I.4.4.3 Zone de recirculation

La zone de recirculation est un domaine qui se caractérise par les effets de la zone de recirculation, laquelle a une influence significative sur la traînée prédite sur un obstacle carré et sur la fréquence de formation du vortex. Cette zone est sensible aux conditions initiales externes telles que le nombre de Reynolds, le taux de turbulence, la taille de l'obstacle et les conditions finales.[18]

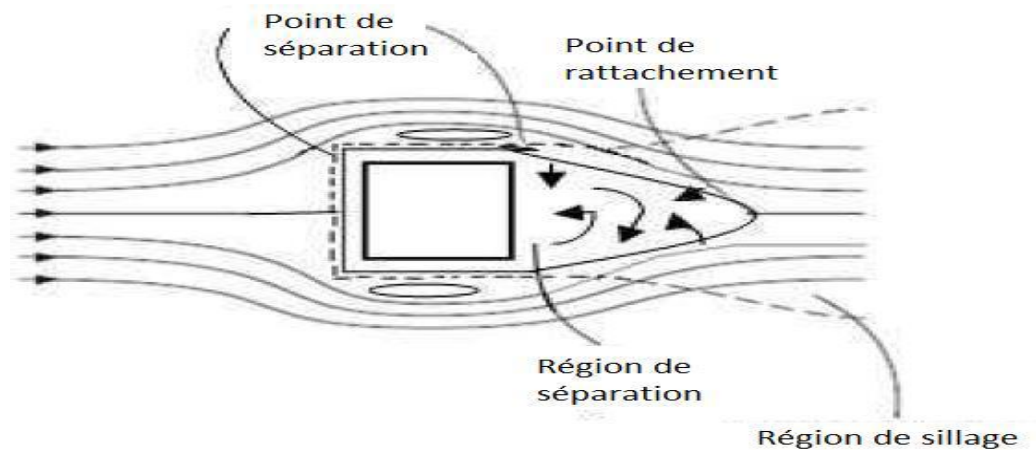


Figure I.11 : Ecoulement autour d'un obstacle carré pour des petits nombres de Reynolds[18]

I.4.5 Profil de vitesse

Le profil de vitesse se forme sous l'effet des interactions entre les molécules de fluide et entre les molécules de fluide et celles de la paroi. En raison de ces interactions, chaque molécule de fluide ne se déplace pas à la même vitesse, ce qui crée un profil de vitesse. Les profils de vitesse sont étroitement liés à la notion de couche limite. La viscosité génère un gradient de vitesse dans une section droite de conduite : la vitesse du fluide est nulle au niveau de la paroi (condition d'adhérence), tandis qu'elle est maximale au centre de la conduite.

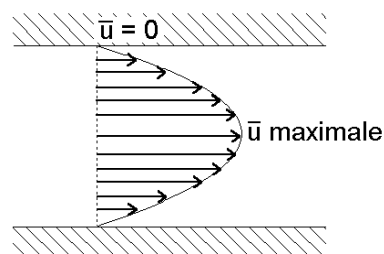


Figure I.12 : Profil de vitesse

I.5 Revue des travaux sur les écoulements autour d'un obstacle carré

La progression de la recherche est étroitement liée à l'évolution technologique. C'est ce lien qui motive les chercheurs à explorer des sujets complexes et actuels, pouvant être abordés grâce à des outils informatiques puissants et des moyens expérimentaux sophistiqués. Pour enrichir notre compréhension dans ce domaine, nous avons examiné les travaux d'auteurs, dont les points clés sont les suivants :

Okajima a effectué une série des expériences découvrant le nombre de Strouhal associé à chaque nombre de Reynolds et en fonction de rapport largeur / hauteur des cylindres rectangulaires. Le nombre de Reynolds a varié de 70 à 2 104, Le rapport largeur / hauteur variait de 1 à 4. Les résultats ont été confirmés par des calculs numériques.[19]

Kelkar et Patankar ont étudié le flux 2D autour d'un obstacle carré à différents nombres de Reynolds via l'utilisation d'une analyse de stabilité linéaire. Le début de l'instabilité a été étudié et analysée à travers diverses techniques de progression temporelle, le but principal était de déterminer la technique la plus appropriée pour étudier la croissance des perturbations. Une simulation chez Reynolds un nombre au-delà de la valeur critique a également été effectué pour connaître les caractéristiques périodiques de l'écoulement. Ils ont trouvé le nombre critique de Reynolds entre débit constant et instable était de 53 [19]

Sohankar et al ont étudié le flux laminaire autour d'un obstacle carré aux nombres de Reynolds allant de 45 à 250. Pour chaque nombre de Reynolds testé, ils ont prédit la portance, traînée, coefficient de pression et nombre de Strouhal. Il s'est avéré qu'au numéro 55 de Reynolds, le flux présentait une fréquence de perte de tourbillon bien définie mais au numéro 50 de Reynolds, le débit était toujours stable.[19] Quatre ans plus tard, **Sohankar et al.** a entrepris une autre étude sur l'écoulement autour d'un cylindre carré 3D à modéré. Les nombres de Reynolds, basés sur leurs expériences ils ont rapporté que les Reynolds stables / instables la valeur critique était de 47 2, à partir des simulations effectuées, ils ont observé le nombre de Reynolds a dont le flux est devenu 3D se situait entre 150 et 200.

Luo et al. Ont étudié expérimentalement le débit transition dans le sillage d'un obstacle carré. Dans leurs études, ils ont déterminé deux modes instables différents, modes A et B, leurs nombres de Reynolds respectifs 188-190 et 230-260 étaient associés.

Conclu que le mécanisme de formation de vortex cylindres circulaires et carrés était le même, en raison de les structures verticales similaires qu'ils ont observées entre modes correspondants pour ces deux corps de bluff.[19]

Ul-Islam et Zhou ont enquêté sur le flux autour d'un obstacle carré au numéro 100 de Reynolds via en utilisant la méthode de Boltzmann sur réseau, le but était de déterminer l'influence des différentes limites conditions sur les caractéristiques d'écoulement en aval.[20]

Ali et al. A réalisé une grille étude de convergence pour un flux 2D autour d'un carré obstacle à Reynolds numéro 150. Ils ont remarqué que l'indépendance du réseau a été atteinte lorsque la première cellule a été placée à une distance non dimensionnelle de 0,005 de la surface solide. Récemment, la technologie de contrôle du débit a été appliqué à l'écoulement sur les corps de bluff, la plupart du travail fait référence au contrôle de débit passif [12–18], où le flux est modifié via l'utilisation de dispositifs statiques, étant c'est l'idée du noyau du contrôle de flux passif .[20]

Zhou et al. a étudié l'écoulement autour d'un obstacle carré avec une plaque de contrôle en amont. Ils ont placé une verticale plaque devant le obstacle carré et introduit la hauteur de la plaque comme paramètre modifiable, ils ont étudié son influence sur le vortex en aval perte de sillage. [20]

Cheng et al. A effectué une série de calculs via la méthode de Boltzmann sur réseau, étudier les caractéristiques d'écoulement d'un flux de cisaillement linéaire devant un obstacle carré aux nombres de Reynolds de 50 à 200. Les auteurs ont présenté un paramètre contrôlable connu sous le nom de taux de cisaillement, en modifiant ce paramètre, à $Re = 50$, ils ont remarqué que le flux régulier pourrait être perturbé et devenu instable.[20]

Doolan a étudié l'interaction entre un obstacle carré et une plaque horizontale détachée en aval à $Re=150$. Dans son étude, les équations 2D N-S ont été résolues en utilisant la méthodologie des volumes finis mise en oeuvre dans OpenFOAM. Il a signalé la perturbation causée par la plaque pourrait avoir une influence non négligeable sur la Nombre de Strouhal et coefficients de force.[20]

Ali et al., ils ont étudié un obstacle carré avec un séparateur plaque fixée à l'arrière, ils ont introduit la plaque longueur comme paramètre modifiable. Numériquement, ils ont découvert que la plaque de séparation peut fondamentalement changer la structure d'écoulement du sillage. [20]

Ul-Islam et al. Ont réalisé une étude similaire mais avec une épaisseur plaque de séparation détachée. Dans leur étude, ils ont pris distance entre le obstacle carré et la plaque en tant que paramètre modifiable.[21]

Wang et al. a présenté une étude sur l'écoulement autour d'un obstacle carré, avec une plaque verticale poreuse près du sillage. Ils ont conclu que le coefficient de traînée a diminué à une certaine mesure par rapport à celle associée au obstacle sans plaque. Le numéro Strouhal était également réduit et dans certaines conditions le vortex l'excrétion pourrait même être supprimée.[21]

S.C Luo et al. Les travaux expérimentaux sur les obstacles carrés, employant comme méthode de mesure un colorant fluorescent et la visualisation laser, ont permis de déterminer le nombre Reynolds critique de transition à 160 pour le mode A et à 200 pour le mode B. Il a été observé qu'au fur et à mesure que le nombre de Reynolds augmente jusqu'à 160, le caractère onduleux de sillage augmente. Ce qu'implique le mode A. A partir d'un nombre de Reynolds égal à 200, le sillage derrière l'obstacle devient complètement déformé, et les longueurs d'ondes sont de plus en plus faibles ; ce qui caractérise le mode B.[22]

M.M. Ouestati et al se sont intéressés à la simulation par les différentes formulations de la fonction-vorticité pour résoudre l'équation de Navier-stoks étudié l'écoulement de fluide régulier et transitoire autour d'un obstacle carré. Ils ont conclu que cette formulation a plusieurs avantages, puisque la limite de pression est éliminée des équations de gouvernement et satisfait automatiquement l'équation de continuité.[22]

Marcin Huptas, Witold Elsner Ont travaillé sur un écoulement stationnaire et instationnaire autour deux obstacles carrés. Ils ont présenté avec l'utilisation du FLUENT des résultats numériques concernant l'écoulement autour d'un obstacle carré en premier cas, et autour deux obstacles carrés sur même ligne en deuxième cas. Pour la première résolution, ils ont montré que l'épaisseur de la couche limite peut influencer sur la couche de cisaillement près de la paroi. Et pour la deuxième résolution, ils ont constaté que l'union des deux zones tourbillonnaires en aval du premier cube et en amont du deuxième rend l'écoulement plus turbulent.[22]

M. Breuer et al. ont réalisé des calculs précis sur un écoulement laminaire autour d'un obstacle carré. Ces calculs sont basés sur deux méthodes : Lettice-Boltzmann (LBA) et la méthode des volumes finis (FVM). Le nombre de Reynolds est environ de 0.5 à 300. Le rapport de blocage est de 1/8. Les résultats des deux méthodes ont été évalués et comparés en détail. Les profils de vitesse, les longueurs de la recirculation et le nombre de Strouhal ont été étudiés. Ils ont constaté que malgré le manque des données précises et détaillées dans la littérature sur l'écoulement laminaire autour d'un obstacle carré, mais L'excellent accord entre les calculs de LBA et FVM a été trouvé pour la longueur de recirculation pour Re inférieure à 60.[22]

Jirapom Yojina et al ont présenté une investigation aux configurations de l'écoulement dans un canal avec l'existence des obstacles carré. la modélisation est réalisé Par la méthode de Boltzmann (LBM) avec un rapport de blocage de 1/4. Le nombre de Reynolds est compris entre 1 et 300. Les lignes de courant et les profils de vitesse sont présentés pour indiquer le décollement de tourbillon. Le nombre de Strouhal est calculé pour caractériser le dynamique fréquentiel de l'écoulement. Les résultats obtenus prouvent que l'écoulement est laminaire à l'entrée, ensuite, ils ont constaté une transition périodique et instable sur l'écoulement. Cette transition est obtenue au fur et à mesure avec l'augmentation du nombre de Reynolds. On outre,[23] avec un nombre suffisant d'itérations, ils ont montré que la périodicité de l'écoulement dans le sillage produit le décollement du tourbillon de Von Karman.

Gera. B et al Ont étudié avec CFD (Computational Fluid Dynamics) l'écoulement instationnaire 2D autour d'un obstacle carré. La simulation a été réalisée pour un écoulement autour d'un obstacle carré afin d'analyser le comportement de sillage. Le nombre de Reynolds a été pris de l'ordre de 50 à 250. La méthode des volumes finis a été utilisée avec une grille décalée. L'algorithme SIMPLE a été utilisé pour le couplage vitesse-pression.

Le coefficient de portance et la vitesse dans la région de sillage ont été surveillés pour le calcul du nombre de Strouhal. Et enfin la variation du nombre de Strouhal avec le nombre de Reynolds a été trouvée a partir de cette analyse.[23]

Hafida .N, Mohamed. S ont mené une étude numérique des effets des obstacles carrés sur le profil du vent. Cette étude leur permis d'évaluer les perturbations aérodynamiques engendrées par la présence d'un obstacle carré dans un champ de vitesse caractérisé par un profil incident parallèle et logarithmique.

Les équations régissant l'écoulement du fluide supposé incompressible ont été résolues via des modèles numériques CFD (Computational Fluid Dynamics). Toutefois, les zones de recirculations, les longueurs de rattachement et les points de séparations ont été évalués en utilisant les modèles K- ϵ standard et K- ϵ réalisable pour des nombres de Reynolds de l'ordre de 10^4 et 10^5 . Dans ce travail, ils ont constaté que l'influence de l'obstacle sur l'écoulement du vent est clairement apparue. Ils ont montré l'évolution des forts gradients de vitesse qui se forment autour du bâtiment et près du sol.[23]

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit quelques concepts théoriques fondamentaux concernant les écoulements de fluides autour d'obstacles de type carré, ainsi que quelques expériences menées par des chercheurs sur ce phénomène. Dans le prochain chapitre, nous aborderons les aspects mathématiques et numériques, en présentant la formulation mathématique et numérique du problème. Nous fournirons également une présentation du code informatique utilisé pour résoudre notre problème.

CHAPITRE II

**FORMULATION MATHÉMATIQUE
ET MODÉLISATION NUMÉRIQUE**

Chapitre II : Formulation mathématique et modélisation numérique

II.1 Introduction

Ce chapitre est constitué une formulation mathématique et une modélisation numérique des écoulements des fluides autour d'un obstacle carré. Il s'attache surtout à présenter Le code ANSYS qui se concentre principalement sur la simulation et l'analyse du comportement physique de systèmes complexes en ingénierie, en utilisant des méthodes de calcul par éléments finis pour prédire le comportement des structures, des fluides et d'autres phénomènes physiques.

II.2 Formulation mathématique

La modélisation mathématique de l'écoulement repose sur les fondements théoriques des lois de la mécanique des fluides, notamment les équations de Navier-Stokes, la loi de conservation de la masse, de l'impulsion et de l'énergie. Ces principes fournissent un cadre essentiel pour décrire le comportement des fluides dans diverses applications, allant de l'aérodynamique à l'hydrodynamique.

Les équations de Navier-Stokes, en particulier, sont des équations différentielles partielles non linéaires qui décrivent le mouvement des fluides. Elles sont fondamentales pour la modélisation des écoulements d'air dans l'atmosphère, des courants océaniques et de nombreux autres phénomènes liés aux fluides. Cependant, ces équations, en général, ne possèdent pas de solutions analytiques et nécessitent donc des méthodes numériques pour leur résolution.

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons principalement aux écoulements tridimensionnels, turbulents ou laminares, stationnaires ou instationnaires, d'un fluide incompressible, sans transfert de chaleur. Ces conditions simplifiées permettent de formuler les équations de manière plus concise et de faciliter leur résolution numérique.

Nous décrivons également les simplifications spécifiques qui sont appliquées dans le cadre du logiciel ANSYS pour résoudre ces équations dans différents scénarios. Ces simplifications sont adaptées aux cas d'étude considérés, facilitant ainsi la modélisation et la simulation des écoulements dans des conditions spécifiques. [24]

II.2.1 Hypothèses Simplificatrices

Afin de rendre le modèle de calcul plus détaillé et plus précis, il faut introduire certaines hypothèses simplificatrices, qui se sont réparties comme suit :

- L'écoulement est instationnaire et le fluide est incompressible.
- L'écoulement est bidimensionnel.
- Le fluide est visqueux et newtonien.
- Le profil de vitesse à l'entrée du canal est constant.
- Le transfert thermique par tous les modes est négligeable.

II.2.2 Équations Utilisées dans ANSYS CFX

Un écoulement établi, instationnaire, bidimensionnel, d'un fluide incompressible, Newtonien autour d'un obstacle est caractérisé par les équations suivantes :

II.2.2.1 Equation de continuité

L'équation de continuité assure la conservation de la masse dans le fluide et s'exprime pour un fluide incompressible comme suit : [25]

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (\text{II.1})$$

Pour un écoulement incompressible, cette équation stipule que le flux de masse entrant dans un volume de contrôle est égal au flux sortant. En termes bidimensionnels, cela se traduit par :

$$\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} = 0 \quad (\text{II.2})$$

où u_1 et u_2 sont les composantes de la vitesse dans les directions x_1 et x_2 respectivement. Cette équation est une condition nécessaire pour que le fluide soit incompressible, signifiant que le volume de fluide ne change pas au cours de l'écoulement.

II.2.2.2 Equations de quantité de mouvement :

Les équations de Navier-Stokes décrivent le mouvement des fluides en prenant en compte les effets de la viscosité et les forces appliquées. Pour un fluide Newtonien, ces équations sont :

$$\rho \left(\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x_1} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_2^2} \right) \quad (\text{II.3})$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x_2} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_2^2} \right) \quad (\text{II.4})$$

où \mathbf{v} est le vecteur vitesse du fluide, p est la pression, ρ est la masse volumique du fluide, et μ est la viscosité dynamique.

II.2.2.3 Équation de Vorticité

La vorticité est une mesure de la rotation du fluide et est calculée à partir du champ de vitesse comme suit :

$$\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{v} \quad (\text{II.5})$$

La vorticité quantifie la rotation locale du fluide. Pour un écoulement bidimensionnel est :

$$\omega_z = \frac{\partial u_2}{\partial x_1} - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \quad (\text{II.6})$$

II.2.2.4 Coefficients de Traînée et de Portance

Les coefficients de traînée C_D et de portance C_L quantifient les forces exercées par le fluide sur un obstacle.

$$C_L(t) = \frac{F_L(t)}{0,5\rho A U_0^2} = - \int_0^{2\pi} P(t) \sin \theta \, d\theta - \int_0^{2\pi} \frac{1}{\text{Re}} \omega(t) \cos \theta \, d\theta \quad (\text{II.7})$$

$$C_D(t) = \frac{F_D(t)}{0,5\rho A U_0^2} = - \int_0^{2\pi} P(t) \cos \theta \, d\theta - \int_0^{2\pi} \frac{1}{\text{Re}} \omega(t) \sin \theta \, d\theta \quad (\text{II.8})$$

Ces coefficients sont utilisés pour évaluer la performance de l'obstacle en termes de forces de traînée et de portance :

- **Traînée C_D** : Force parallèle à la direction de l'écoulement.
- **Portance C_L** : Force perpendiculaire à la direction de l'écoulement.

Où :

- $\mathbf{F}_L(t)$ et $\mathbf{F}_D(t)$ sont les forces de portance et de traînée totales.
- θ est l'angle de l'obstacle par rapport à l'écoulement.
- A est une surface caractéristique de l'obstacle.
- U_0 est la vitesse de l'écoulement.

Ces équations permettent de simuler et d'analyser les comportements dynamiques des fluides en interaction avec des obstacles, et sont essentielles pour les simulations réalisées avec ANSYS CFX.

II.3 Résolution numérique

La discrétisation des équations aux dérivées partielles vise à convertir un problème continu en un problème discret, permettant ainsi de le résoudre à l'aide de méthodes numériques telles que les éléments finis, les différences finies et les volumes finis. Parmi celles-ci, la méthode des éléments finis est largement préférée et est notamment utilisée dans le logiciel de simulation numérique CFX.[26]

II.3.1 Méthode des différences finie

La méthode des différences finies a été pionnière dans les premières simulations en mécanique des fluides et en transfert de chaleur entre 1960 et 1965. Son principe réside dans la transformation des équations aux nœuds d'une grille en évaluant chaque dérivée partielle à l'aide du développement de Taylor. Cela conduit à des équations linéaires reliant les variables inconnues à un nœud aux valeurs de ces mêmes variables aux nœuds voisins. La précision de cette méthode dépend du nombre de nœuds utilisés pour approximer une dérivée donnée, ainsi que de la qualité du maillage réalisé, typiquement régulier et structuré.

La méthode des différences finies offre une approche simple et directe pour la discrétisation des équations de la mécanique des fluides, mais elle nécessite un maillage régulier et peut devenir imprécise pour les géométries complexes ou les écoulements turbulents.

II.3.2 Méthode des éléments finie

La méthode des éléments finis découpe l'espace en utilisant des formes géométriques simples, comme des triangles ou des quadrangles. Cette approche est particulièrement utile pour modéliser des structures complexes. Contrairement à la méthode des volumes finis, elle offre une grande flexibilité dans la représentation de la géométrie. Ensuite, les équations sont reformulées dans leur forme faible, où les inconnues sont approximées par des combinaisons linéaires de fonctions de base définies sur chaque élément. Cette méthode a été initialement utilisée pour résoudre les équations de Navier-Stokes dans les années 1970. En utilisant cette approche, les variables inconnues sont calculées à partir de ces fonctions de base. L'approche éléments finis se décompose en deux étapes:

- Approximation nodale des fonctions inconnues par sous-domaines (fonctions D'interpolation)
- Utilisation de la méthode des résidus pondérés qui permet de construire une Formulation Intégrale à partir des équations aux dérivées partielles (la méthode Galerkin est la plus fréquemment utilisée). C'est une méthode conservative sur un domaine. [27]

II.3.3 Méthode des volumes finie

Cette approche implique de diviser la région physique de l'écoulement en éléments de volume plus ou moins réguliers. Dans ces éléments, les équations décrivant l'écoulement, exprimées sous une forme conservatrice, sont intégrées.

L'objectif est de transformer l'équation différentielle générale en un système d'équations algébriques en reliant les valeurs de la variable considérée aux points nodaux adjacents d'un volume de contrôle typique. Cette transformation est réalisée en intégrant l'équation différentielle principale dans le volume de contrôle et en approximant les différents termes (convection, diffusion et source). la méthode des volumes finis, elle consiste en :

- La division du domaine de calcul en des volumes de contrôle discret par un maillage de calcul.
- L'intégration des équations gouvernantes sur les volumes de contrôle individuels, afin de construire les équations algébriques pour les variables dépendantes discrètes (les inconnus), tels que les vitesses, pressions, températures et les autres scalaires conservés.
- La linéarisation des équations discrétisées et la solution du système d'équations linéaires résultants pour pouvoir adapter les valeurs des variables dépendantes.

La méthode des volumes finis divise la région d'écoulement en volumes de contrôle et intègre les équations de conservation sur ces volumes. Elle est particulièrement avantageuse pour les écoulements où la conservation des propriétés physiques est cruciale.[28]

II.3.3.1 Principe de la méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis (MEF) repose sur la division du domaine d'étude en petits éléments discrets, appelés mailles, et sur l'approche des équations différentielles par une formulation discrète. La première étape consiste à créer un maillage du domaine en subdivisant celui-ci en éléments finis interconnectés. Ensuite, la géométrie du problème est définie, et les équations différentielles qui décrivent le phénomène physique sont intégrées sur chaque élément à l'aide de fonctions de forme. Les conditions aux limites et les propriétés des matériaux sont alors appliquées pour chaque élément, et les équations résultantes sont assemblées pour former un système global d'équations. La MEF est particulièrement efficace pour résoudre des problèmes complexes grâce à sa capacité à gérer des géométries irrégulières et des conditions de bord variées. Sa robustesse et sa flexibilité en font une méthode très utilisée dans des logiciels de simulation tels qu'ANSYS et COMSOL Multiphysics. La mise en œuvre de la méthode nécessite une attention minutieuse à la création du maillage, à la définition des propriétés des

éléments, et à l'assemblage des équations. Une approche rigoureuse dans ces phases garantit la précision et la stabilité des simulations.

II.4 Description générale

Pour étudier l'influence des ailettes sur l'écoulement autour d'un obstacle carré, nous avons étudié la présence de deux ailettes selon deux orientations (horizontale et verticale). Pour chaque orientation, les dimensions des ailettes ont été variées en termes d'épaisseur relative (G/D) et de longueur relative (L/D).

II.4.1 Le dimensionnement des ailettes

- **Épaisseur des ailettes (G/D)** : 0.1, 0.05, 0.025
- **Longueur des ailettes (L/D)** : 1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125

Tableau II.1 : Tableau de dimensionnement des ailettes

Orientation	G/D	L/D
Horizontale	0.1	1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125
Horizontale	0.05	1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125
Horizontale	0.025	1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125
Verticale	0.1	1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125
Verticale	0.05	1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125
Verticale	0.025	1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125

II.4.2 Présentation des paramètres de simulation et leur interprétation

Tableau II.2 : Tableau des paramètres de simulation

Paramètre	Valeur	Description
Durée totale de la simulation	300 secondes	Temps total de la simulation pour observer les phénomènes d'écoulement.
Pas de temps	0,01 seconde	intervalle de temps pour chaque étape de la simulation, assurant une résolution temporelle précise.

Pression à la sortie	0 Pa	Pression de référence à la sortie, fixée à la pression atmosphérique.
Fluide	Eau	Propriétés de l'eau : masse volumique $\approx 997 \text{ kg/m}^3$, viscosité dynamique $\approx 8.899 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.
Nombre de Reynolds	200	Caractérise un écoulement laminaire autour de l'obstacle.
Conditions aux limites	Non-glissement (no slip)	Vitesse du fluide nulle à la surface des parois et de l'obstacle.

II.4.2.1 Interprétation des paramètres :

Durée totale et pas de temps :

- **Durée totale de 300 secondes** : Suffisant pour atteindre un état stable ou pour observer les phénomènes transitoires.
- **Pas de temps de 0,01 seconde** : Permet de capturer les détails des variations temporelles et de garantir la stabilité numérique.

Pression à la sortie :

- **0 Pa (par rapport à l'atmosphérique)** : Fixe une condition de sortie sans affecter le champ de pression interne.

Fluide : (Eau)

- **Densité et viscosité de l'eau** : Bien définies, simplifiant la modélisation. À température ambiante, la densité de l'eau est environ 997 kg/m^3 et la viscosité dynamique est environ $8.899 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Nombre de Reynolds = 200 :

- **Écoulement laminaire** : Simplifie l'analyse car les modèles de turbulence ne sont pas nécessaires. L'écoulement sera dominé par les forces visqueuses, et des phénomènes comme la séparation de l'écoulement et la formation de zones de recirculation peuvent être observés.

Conditions aux limites de non-glissement (no slip) :

- **Parois du canal et obstacle** : La vitesse du fluide est nulle à la surface des parois, crucial pour capturer correctement les effets de la viscosité et prédire les profils de vitesse près des parois.

II.5 Le maillage

Il s'agit de la division du domaine d'étude en grilles longitudinales et transversales, où chaque intersection forme un nœud contenant les composantes u et v de la vitesse, situées au centre des segments reliant les nœuds adjacents. Le domaine est discrétisé en utilisant un maillage constitué d'un réseau de points. Les grandeurs scalaires telles que la pression et la température sont stockées dans le nœud P , tandis que les grandeurs vectorielles u et v sont stockées au milieu des segments reliant les nœuds. L'équation générale du transport est intégrée sur le volume de contrôle associé aux variables scalaires, tandis que les équations de la quantité de mouvement sont intégrées sur le volume de contrôle associé aux composantes de vitesse.

Le volume de contrôle pour la composante longitudinale u est déplacé selon la direction x par rapport au volume de contrôle principal, tandis que celui pour la composante transversale v est déplacé selon la direction y .

Ce type de maillage est dit maillage décalé permet une bonne approximation des flux convectifs est une meilleure évaluation de des gradients de pression ainsi une stabilisation numérique de la solution[43]. La construction des volumes des contrôle et le maillage décale sont montres dans le schéma suivant :

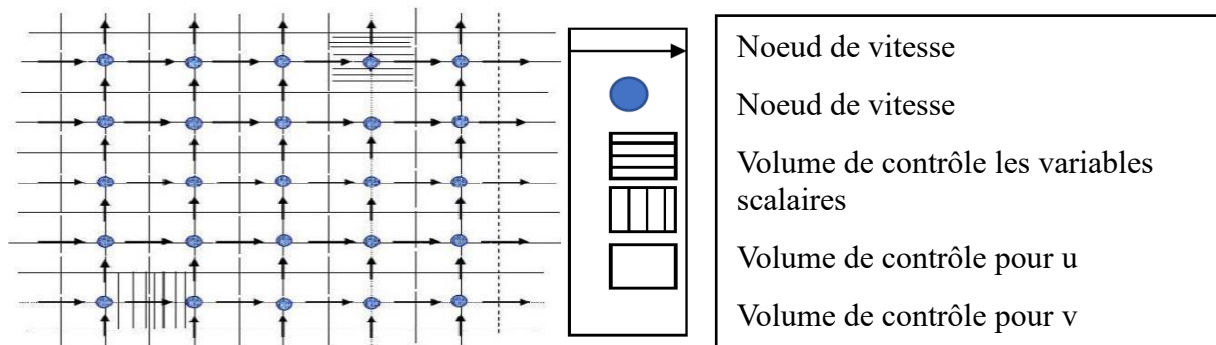


Figure II.1 : Schéma du maillage [29]

II.5.1 Nœuds et éléments

La modélisation numérique repose sur la reformulation des équations de conservation sur des volumes élémentaires ou discrets, appelés éléments ou mailles. Ces éléments sont associés à des points de résolution, appelés nœuds de discrétisation, où les équations discrètes sont résolues. Ces nœuds peuvent être positionnés aux sommets des éléments, au centre des éléments, ou même sur les faces, en fonction de la méthode de discrétisation utilisée. Ensemble, ces éléments et les nœuds associés forment un maillage, obtenu par un découpage géométrique du domaine de calcul.

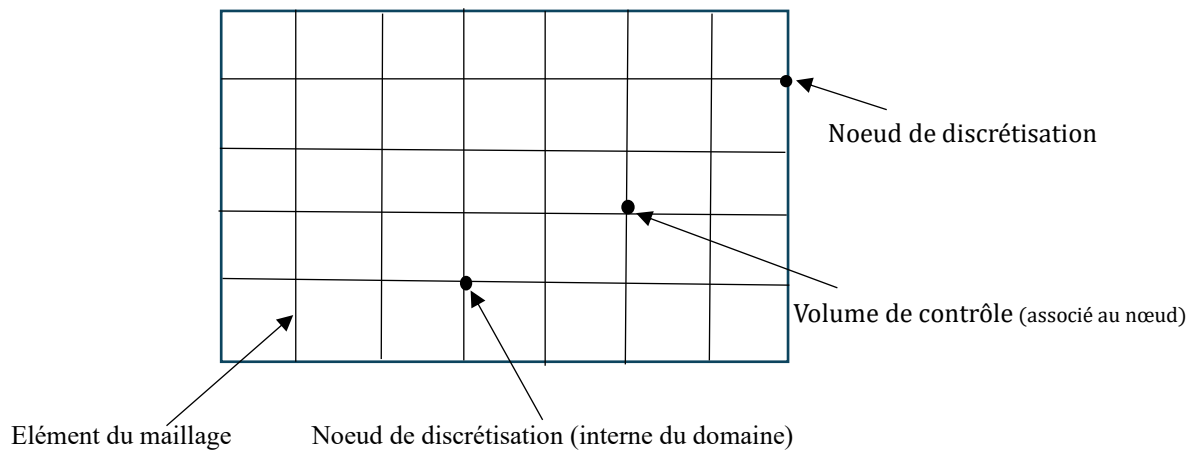


Figure II.3 : Illustration de la notion de maillage

II.5.2 Connectivité

La connectivité décrit les liaisons entre les sommets des éléments. Un maillage est qualifié de structuré lorsque les nœuds du même type (dans le domaine, sur une limite ou à un coin) ont toujours le même nombre de voisins, ou sont associés au même nombre d'éléments. Dans ce cas, la connectivité de ces nœuds est uniforme. En revanche, pour un maillage non structuré, la connectivité est variée et le nombre de voisins pour chaque nœud peut varier localement.

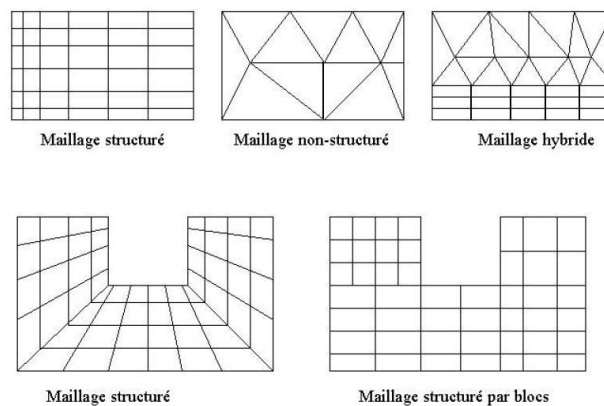


Figure II.5 : Les différences structurent de maillage [30]

II.6 Géométrie et topologie

La géométrie du problème considéré est schématisée par la figure II.4 Elle décrit un canal rectangulaire de longueur L et de hauteur h , et d'un obstacle de section carré placé Sur le fond du canal.

Le canal est de longueur de $15D$ et la hauteur du canal est de $5D$

La distance entre l'entrée du canal et la première arrête de cube est de $5D$

La distance entre la deuxième arrête de l'obstacle et la sortie du canal est de $10D$

$1D$ c'est le côté d'obstacle, L/D c'est la longueur d'ailettes et G/D c'est l'épaisseur d'ailettes

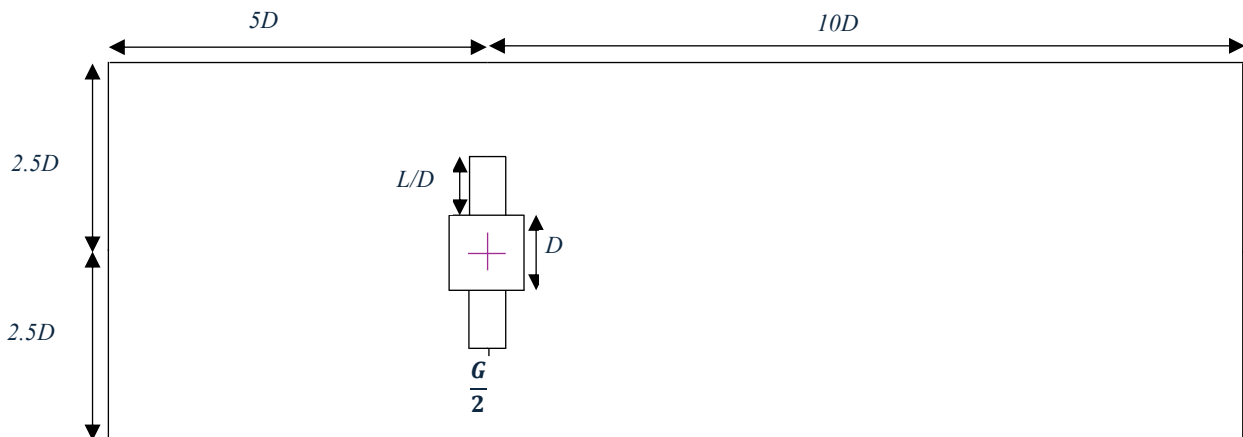


Figure II.4 : Géométrie du domaine

II.7 Étapes de la simulation numérique de l'écoulement autour d'un obstacle carré avec ailettes dans ANSYS CFX

II.7.1 Vue d'ensemble d'ANSYS Inc

ANSYS, Inc. est un éditeur de logiciels spécialisé dans la simulation numérique. L'entreprise propose deux logiciels avancés de dynamique des fluides computationnelle pour l'optimisation de la conception de processus et de produits : ANSYS Fluent et ANSYS CFX. Dans cette section, nous examinerons les caractéristiques et les fonctionnalités d'ANSYS CFX.

II.7.1.2 Présentation d'ANSYS CFX

ANSYS CFX est un logiciel de dynamique des fluides computationnelle (CFD) à haute performance, utilisé depuis plus de vingt ans pour résoudre des problèmes complexes de dynamique des fluides. Au cœur d'ANSYS CFX se trouve une technologie de solveur innovante, qui constitue la principale force motrice pour obtenir des résultats très fiables et précis de manière plus efficace que les autres solveurs CFD. Ce solveur avancé offre aux utilisateurs un vaste choix de modèles physiques, permettant de capturer pratiquement tous les types de phénomènes liés aux écoulements fluides. Que les écoulements soient turbulents ou laminaires, compressibles ou incompressibles, réactifs ou non réactifs, les capacités d'ANSYS CFX couvrent presque tout le spectre des simulations de dynamique des fluides.[31]

Pour mieux comprendre les étapes de notre simulation, nous allons d'abord détailler le processus de création de la géométrie, du maillage, de la configuration des paramètres, et enfin de la solution de simulation. Chaque étape est cruciale pour garantir la précision et la fiabilité des résultats obtenus.

II.7.2 Géométrie

La première étape de notre simulation consiste à créer la géométrie du modèle. Le modèle comprend un obstacle carré avec des ailettes attachées. Cette géométrie est créée en utilisant ANSYS CFX.

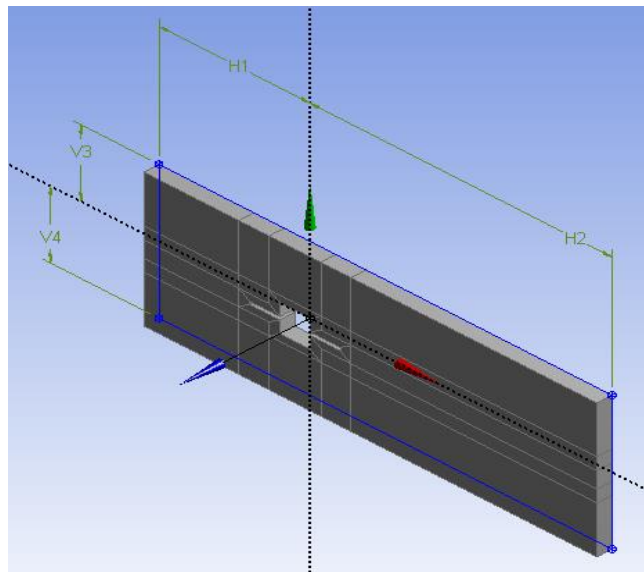


Figure II.6 : Géométrie du modèle ($G/D=0.025$ $L/D=1$)

II.7.3 Maillage

La seconde étape consiste à générer le maillage du modèle. Le maillage décompose la géométrie en petits éléments où les équations de fluides seront résolues.

Étapes :

- **Définition du maillage global** : Configurer un maillage de base pour l'ensemble du volume en utilisant ANSYS Meshing.
- **Raffinement local** : Raffiner le maillage autour des zones critiques, comme les bords des ailettes et les surfaces de l'obstacle carré, pour capturer les gradients de flux plus précisément.

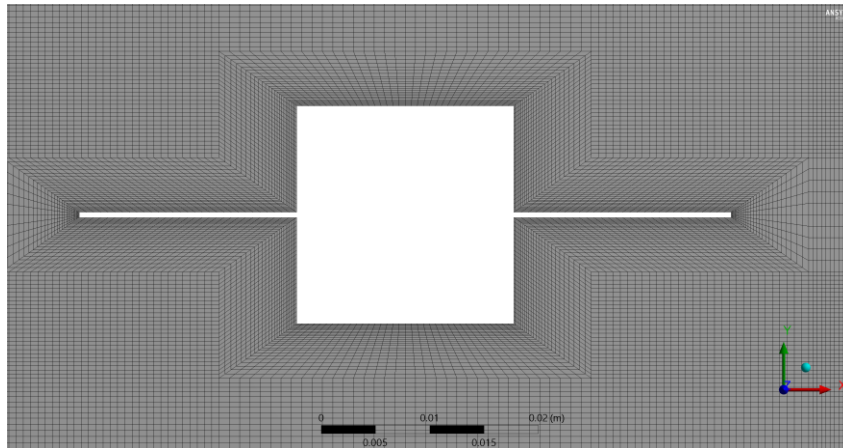


Figure II.7 : Maillage du modèle ($G/D=0.025$ $L/D=1$)

II.7.4 Configuration

Cette étape implique la configuration des paramètres de simulation dans ANSYS CFX.

Étapes :

- **Définition des propriétés du fluide** : Spécifier les propriétés physiques du fluide utilisé dans la simulation .

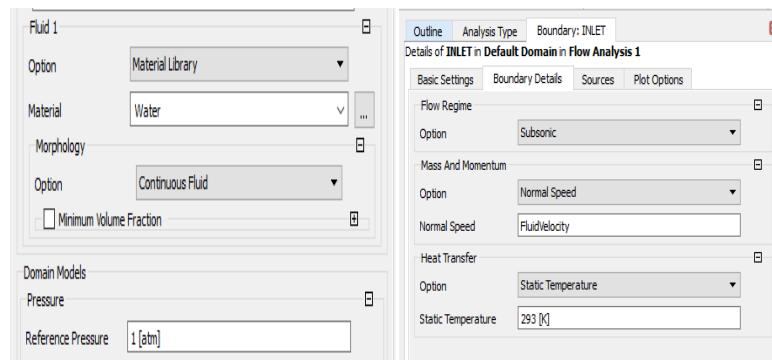


Figure II.8 : Caractéristiques du liquide

- **Définition des conditions aux limites** : Assigner les conditions d'entrée (vitesse ou débit), de sortie (pression), et les conditions aux parois (aucun glissement ou rugosité).

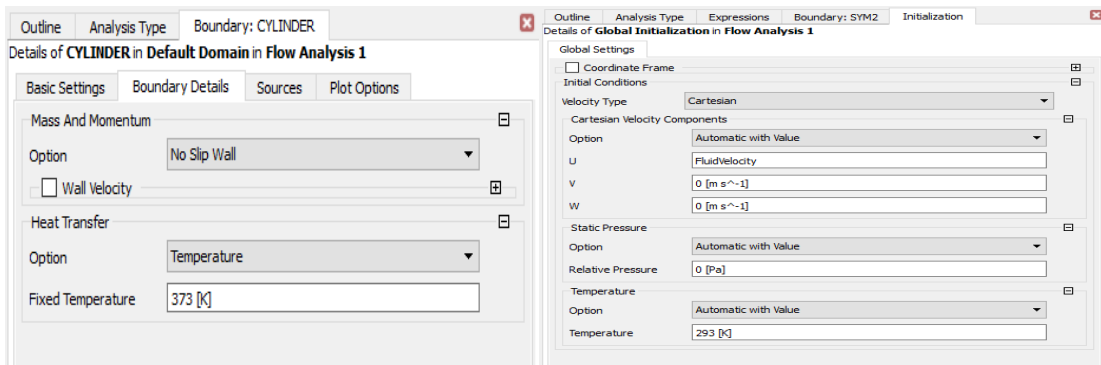


Figure II.9 : Les conditions d'entrée et de sortie

- **Sélection des modèles physiques** : Choisir les modèles de turbulence appropriés et autres paramètres nécessaires pour la simulation.

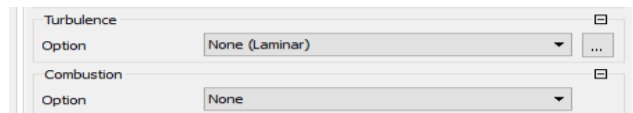


Figure II.10 : Modèle de turbulence appropriés

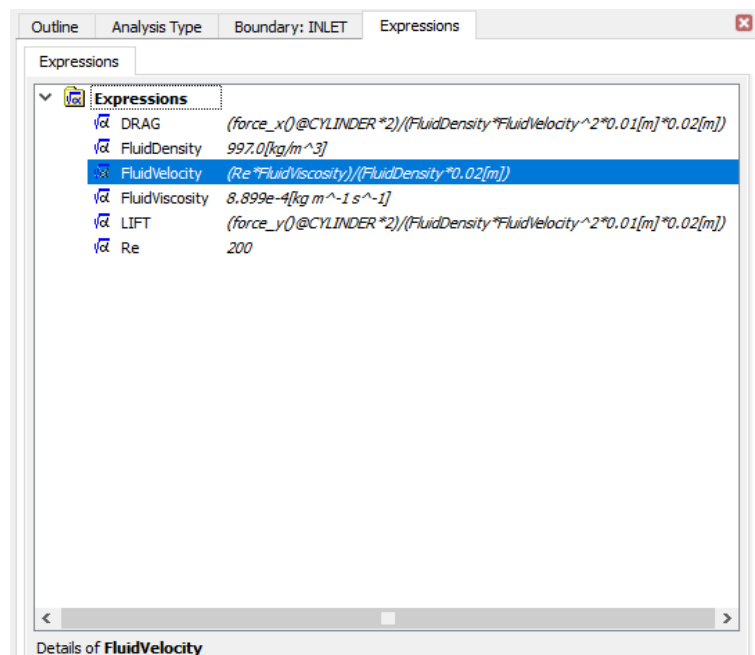
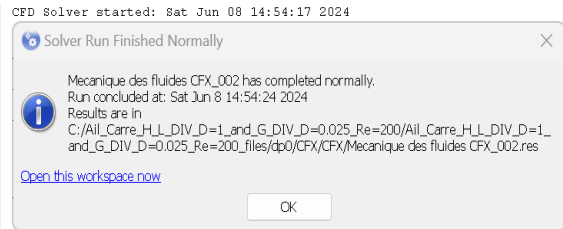
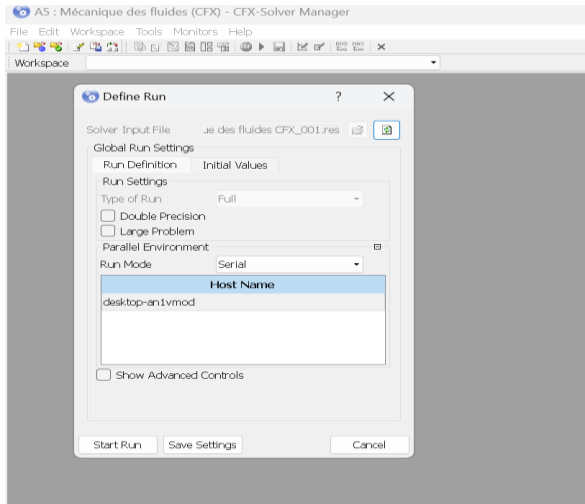


Figure II.11 : Les Expressions utilisés

II.7.5 Solution

L'étape de simulation consiste à résoudre les équations de fluides en fonction de la géométrie et du maillage définis. Étapes :

- **Initialisation de la simulation** : Lancer la simulation en configurant les conditions initiales et en démarrant le solveur.
- **Surveillance de la convergence** : Suivre les résidus et autres critères de convergence pour s'assurer que la solution est stable et précise.



Timestepping Information			
Timestep	RMS Courant Number	Max Courant Number	
1.0000E-02	0.15	0.89	

TIME STEP = 30001	SIMULATION TIME = 3.0001E+02	CPU SECONDS = 4.650E+04		
(THIS RUN: 1	1.0000E-02	5.058E+00)		
COEFFICIENT LOOP ITERATION = 1	CPU SECONDS = 5.059E+00			
Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution

Figure II.12 Exécution dans ANSYS CFX **Figure II.13** Achèvement de la simulation

II.8 Conclusion

Ce chapitre présente une approche détaillée et méthodique pour la formulation mathématique et la modélisation numérique des écoulements de fluides autour d'un obstacle carré en utilisant le logiciel ANSYS. En exposant les équations fondamentales de la mécanique des fluides et en détaillant les différentes méthodes numériques employées, il fournit une base solide pour la compréhension et la simulation des phénomènes de fluides complexes. Les hypothèses simplificatrices et la méthodologie de maillage sont clairement définies, ce qui facilite la mise en œuvre pratique des simulations. Pour améliorer la clarté et l'accessibilité du chapitre, il serait bénéfique d'intégrer des illustrations et des résumés intermédiaires. Globalement, ce chapitre constitue une ressource précieuse pour les ingénieurs et les chercheurs travaillant dans le domaine de la mécanique des fluides et de la simulation numérique.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Introduction

L'étude des écoulements autour des obstacles est un sujet crucial en dynamique des fluides, avec des applications variées dans l'ingénierie civile, aéronautique et marine. Les formes angulaires, comme les obstacles carrés, génèrent des écoulements complexes caractérisés par des séparations, des recirculations et des tourbillons, affectant significativement les forces de portance et de traînée. La présence d'ailettes est une méthode couramment utilisée pour modifier ces écoulements afin d'optimiser les performances aérodynamiques.

Cette étude se concentre sur les effets des ailettes horizontales et verticales sur un obstacle carré. En utilisant des simulations numériques réalisées avec ANSYS CFX, nous analysons comment ces ailettes influencent les distributions de vitesse de l'écoulement et de vorticité (mesure de la rotation dans l'écoulement), ainsi que les forces de traînée et de portance. Les configurations avec et sans ailettes sont comparées pour différentes tailles et espacements des ailettes, afin de comprendre leurs impacts sur la dynamique de l'écoulement.

L'objectif principal de cette étude est d'optimiser la conception des ailettes pour minimiser la traînée et contrôler la portance, tout en réduisant les perturbations de l'écoulement, notamment en influençant la distribution de la vitesse et de la vorticité. Les résultats de cette étude peuvent offrir des insights précieux pour le développement de structures plus efficaces et aérodynamiques, améliorant ainsi leur performance et leur stabilité dans divers environnements d'écoulement.

III.2 Validation des Résultats

Pour valider les résultats obtenus, nous avons comparé la traînée moyenne avec une valeur de référence de 1.8, telle que rapportée par D. Arumuga Perumal, Gundavarapu V. S. Kumar, et Anoop K. Dass dans leur étude "Numerical Simulation of Viscous Flow over a Square Cylinder Using Lattice Boltzmann Method", 2012 [32]. Et une autre valeur de référence de 1.98 rapportée par "Numerical investigation on the flow around a square cylinder with an upstream splitter plate at low Reynolds numbers", 2020 [33]. Le tableau ci-dessous présente les détails du maillage, y compris le nombre de nœuds, d'éléments et la moyenne de traînée obtenue pour chaque configuration :

Tableau III.1 Détails du maillage et de traînée moyenne obtenue pour chaque configuration

Étude actuelle				Autre simulation	
Maillage	Nœuds	Éléments	C_{Dmoy}	C_{Dmoy}	C_{Dmoy}
Maillage 1	5260	2500	2.001	1.8[32]	1.98[33]
Maillage 2	17760	8650	2.001		
Maillage 3	48640	23950	1.964		
Maillage 4	71280	35175	1.934		
Maillage 5	104320	51600	1.921		

D'après plusieurs maillages, nous avons constaté que l'erreur entre le maillage 4 et le maillage 5 est inférieure à 10 %. Par conséquent, il suffit de prendre le maillage 4 pour toutes les configurations étudiées ultérieurement.

III.3 Analyse de portance moyenne et de traînée moyenne avec et sans ailettes

L'objectif de cette section est de présenter et d'analyser les résultats obtenus pour la portance (C_L) et la traînée (C_D) d'un obstacle carré sans ailettes et avec des ailettes horizontales et verticales. L'étude se concentre sur les valeurs moyennes de ces forces aérodynamiques, ainsi que sur leur variation en fonction de différents rapports de diamètre (G/D) et de longueur (L/D). Dans les écoulements autour d'obstacles, la portance et la traînée sont des paramètres essentiels pour comprendre les forces exercées par le fluide sur l'obstacle. la présence d'ailettes peut significativement influencer ces forces en modifiant les caractéristiques de l'écoulement. Ainsi, il est crucial d'examiner comment les ailettes affectent les moyennes de portance et de traînée, et d'évaluer leur impact sur l'attitude du fluide avant et après leur installation.

Tableau III.2 Portance moyenne (C_{Lmoy}) et traînée moyenne (C_{Dmoy}) pour un Obstacle Carré avec ailettes horizontales en fonction des rapports G/D et L/D

L/D	1		0.75		0.5		0.25		0.125		
	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	
G/D	0.1	0.00184	1.423	0.00498	1.502	0.00463	1.629	0.00548	1.777	-0.00234	1.824
	0.05	-0.00592	1.478	-0.003003	1.561	-0.00247	1.677	0.00131	1.796	0.00272	1.832
	0.025	0.00361	1.508	-0.00404	1.588	-0.0046	1.698	-0.00368	1.8009	-0.00258	1.8305

Tableau III.3 Portance moyenne (C_{Lmoy}) et traînée moyenne (C_{Dmoy}) pour un obstacle carré avec ailettes verticales en fonction des rapports G/D et L/D

L/D	1		0.75		0.5		0.25		0.125		
	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	C_{Lmoy}	C_{Dmoy}	
G/D	0.1	-0.199	30.551	0.101	11.213	0.0147	6.101	0.00517	2.813	-0.0055	11.969
	0.05	0.0363	128.917	-0.0363	13.229	-0.0410	5.988	-0.00916	2.8005	0.00709	1.952
	0.025	0.103	23.387	0.0551	16.957	-0.0110	6.106	-0.00158	2.865	-0.00284	1.817

On va interpréter les résultats obtenus à partir des simulations numériques réalisées sur un obstacle carré, avec et sans ailettes (Les résultats ont été développés sur l'Origin Pro 2019)

III.3.1 Analyse des résultats pour l'obstacle avec ailettes horizontale

III.3.1.1 Interprétation graphique de portance moyenne

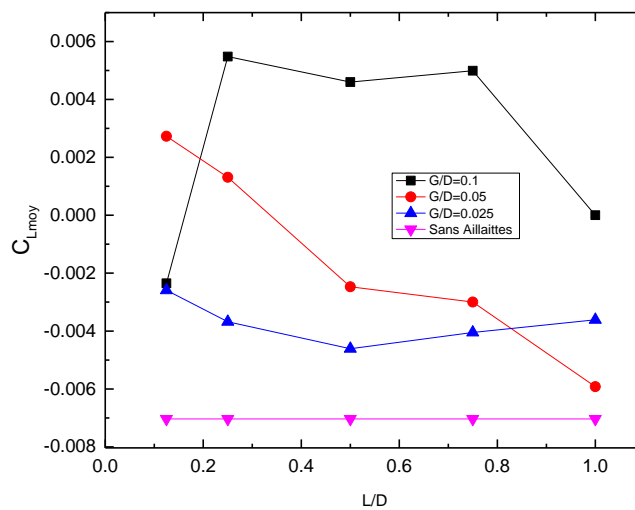


Figure III.1 Variation de portance moyenne en fonction du L/D avec ailettes horizontale a $Re=200$

La Figure montre la variation du coefficient de portance moyen (C_L) pour toutes les configurations étudiées : sans ailettes, avec $G/D=0.1$, $G/D=0.05$, et $G/D=0.025$. Les points sur l'axe des X varient entre 0 et 1, et sur l'axe des Y, C_L varie entre -0.008 et 0.006. Dans le cas sans ailettes, C_L est constant et négatif, autour de -0.007, indiquant une portance négative stable. Pour $G/D=0.1$, C_L commence à environ -0.002 pour $L/D=0.125$ atteint un pic à environ 0.006 pour $L/D=0.25$, puis diminue progressivement pour atteindre environ 0.001 à $L/D=1$, montrant que les ailettes génèrent initialement une portance positive, qui diminue avec l'augmentation de L/D . Pour $G/D=0.05$, C_L commence à environ 0.003 pour $L/D=0.125$ et diminue progressivement pour atteindre une valeur légèrement négative autour de -0.006 pour $L/D=1$, indiquant une portance positive initiale qui devient légèrement négative avec l'augmentation de L/D . Enfin, pour $G/D=0.025$, C_L commence négatif à environ -0.002 pour $L/D=0.125$ et continue de diminuer jusqu'à environ -0.004 à $L/D=0.5$, et après augmente légèrement vers -0.003 à $L/D=1$ montrant que les ailettes avec ce rapport génèrent une portance négative qui diminue en magnitude avec l'augmentation de L/D . En résumé, Ce graphe montre clairement l'impact des ailettes horizontales de différentes tailles et longueurs sur la moyenne de portance d'un obstacle carré. Les ailettes influencent significativement la portance, et cet impact varie selon les dimensions des ailettes. La configurations sans ailettes montrent une portance négatif et constante, tandis que les configurations avec ailettes montrent des variations notables, indiquant des interactions complexes avec le flux d'écoulement.

III.3.1.2 Interprétation graphique de traînée moyenne

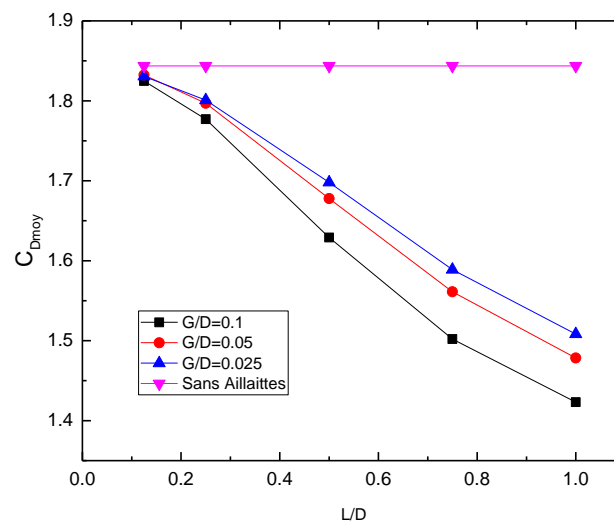


Figure III.2 Variation de traînée moyenne en fonction du L/D avec ailettes horizontale a $Re=200$

La figure montre la variation du coefficient de traînée moyen (C_D) en fonction du rapport L/D pour différentes configurations : sans ailettes, avec $G/D=0.1$, $G/D=0.05$ et $G/D=0.025$. Pour le cas sans ailettes, C_D reste constant à environ 1.85, indiquant une traînée stable et élevée. Pour $G/D=0.1$, C_D commence à environ 1.8 pour $L/D=0.125$, puis diminue progressivement pour atteindre environ 1.4 à $L/D=1$. Cela montre que la présence d'ailettes avec ce rapport réduit significativement la traînée à mesure que L/D augmente. Pour $G/D=0.05$, C_D commence à environ 1.8 pour $L/D=0.125$ et diminue progressivement jusqu'à environ 1.55 à $L/D=1$. Bien que la réduction de la traînée ne soit pas aussi prononcée que dans le cas $G/D=0.1$, il y a une tendance similaire à la diminution de la traînée avec l'augmentation de L/D . Enfin, pour $G/D=0.025$, C_D commence également à environ 1.8 pour $L/D=0.125$ et diminue progressivement pour atteindre environ 1.6 à $L/D=1$. La réduction de la traînée est la plus faible parmi les configurations avec ailettes, mais elle montre tout de même une amélioration par rapport au cas sans ailettes. En résumé, la présence d'ailettes horizontales réduit globalement la traînée moyenne (C_D) et cette réduction est plus prononcée avec des rapports G/D plus élevés. Les ailettes permettent de diminuer la traînée, ce qui est crucial pour améliorer l'efficacité aérodynamique des objets dans un écoulement. Ces résultats montrent l'importance de la conception et de la dimension des ailettes pour contrôler et réduire la traînée.

III.3.2 Analyse des résultats pour l'obstacle avec ailettes vertical

III.3.2.1 Interprétation graphique de portance moyenne

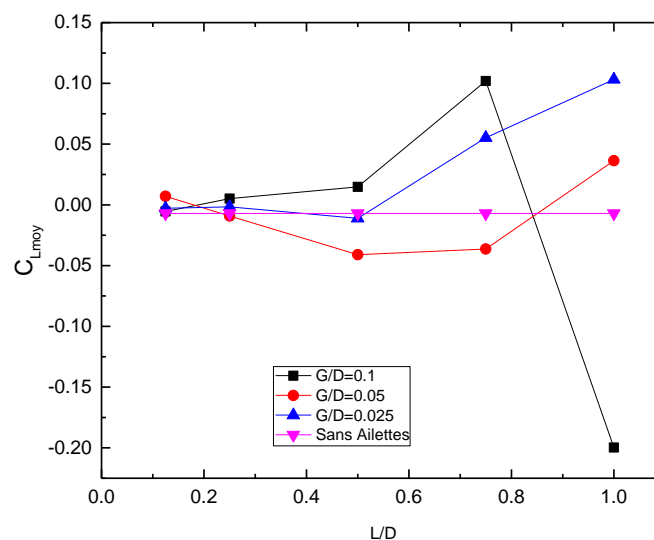


Figure III.3 Variation de portance moyenne en fonction du L/D avec ailettes vertical a $Re=200$

La figure montre la variation du coefficient de portance moyen (C_L) en fonction du rapport L/D pour différentes configurations : sans ailettes, avec $G/D=0.1$, $G/D=0.05$ et $G/D=0.025$.

Pour le cas sans ailettes, C_L reste globalement stable autour de 0. Cette constance indique que l'absence d'ailettes n'affecte pas significativement la portance. Pour $G/D=0.1$ C_L commence proche de 0 pour $L/D=0.125$, augmente légèrement pour atteindre un maximum autour de 0.10 à $L/D=0.75$, puis diminue brusquement à -0.20 à $L/D=1$. Cela montre une variation significative de la portance avec la présence d'ailettes et une instabilité à des ratios L/D élevés. Pour $G/D=0.05$, C_L commence à 0.01 pour $L/D=0.125$, puis ce diminue légèrement à $L/D=0.5$, puis augmente progressivement pour atteindre 0.25 à $L/D=1$. Ce cas montre une meilleure stabilité de la portance avec une augmentation modérée et constante. Pour $G/D=0.025$, C_L commence également légèrement négatif pour $L/D=0.125$, augmente progressivement pour atteindre environ 0.1 à $L/D=1$. Cette configuration montre une tendance à l'augmentation de la portance avec l'augmentation du rapport L/D . En résumé, la présence d'ailettes verticales affecte significativement la portance moyenne (C_L). Les configurations avec $G/D=0.1$ montrent une instabilité à des rapports L/D élevés, tandis que les configurations avec $G/D=0.05$ et $G/D=0.025$ montrent une augmentation plus progressive et stable de la portance. Ces résultats soulignent l'importance de la conception et de la dimension des ailettes pour contrôler et optimiser la portance dans un écoulement.

III.3.2.2 Interprétation du graphe de traînée moyenne

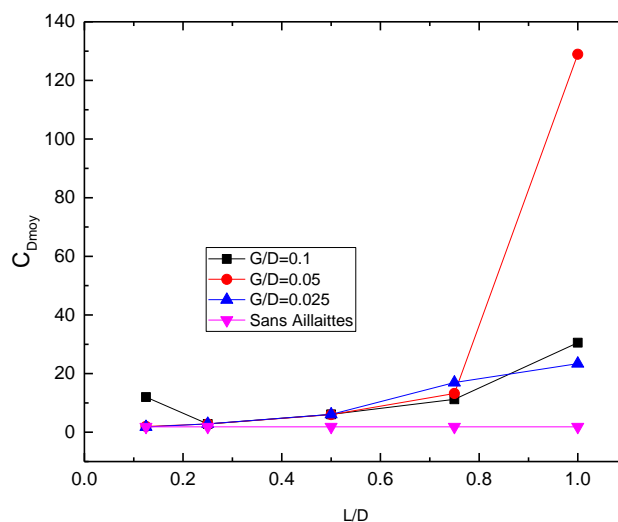


Figure III.4 Variation de traînée moyenne en fonction du L/D avec ailettes vertical a $Re=200$

La figure montre la variation du coefficient de traînée (C_D) en fonction du rapport L/D pour différentes configurations : sans ailettes, avec $G/D=0.1$, $G/D=0.05$ et $G/D=0.025$.

Pour le cas sans ailettes, C_D reste relativement constant autour de 1.8. Pour $G/D=0.1$, C_D commence à environ 15 pour $L/D=0.125$, reste stable jusqu'à $L/D=0.75$, puis augmente brusquement à 30 pour $L/D=1$. Cette augmentation indique une hausse notable de la traînée pour des ratios L/D élevés dans cette configuration. Pour $G/D=0.05$, C_D reste relativement stable autour de 10 pour des valeurs de L/D comprises entre 0.125 et 0.75, puis augmente de manière significative à plus de 120 pour $L/D=1$. Cette forte hausse montre une traînée très élevée à un rapport L/D élevé pour cette configuration. Pour $G/D=0.025$, C_D commence à environ 0 pour $L/D=0.125$, reste stable jusqu'à $L/D=0.75$, puis augmente légèrement à 20 pour $L/D=1$. Cette configuration montre une augmentation modérée de la traînée avec des rapports L/D élevés. En résumé, la présence d'ailettes verticales affecte significativement le coefficient de traînée (C_D). Les configurations avec $G/D=0.05$ montrent une augmentation drastique de la traînée à des rapports L/D élevés, tandis que les configurations avec $G/D=0.1$ et $G/D=0.025$ montrent une augmentation plus modérée. Ces résultats soulignent l'importance de la conception et de la dimension des ailettes pour contrôler et minimiser la traînée dans un écoulement.

III.3.3 Récapitulation des résultats

En résumé, les graphes démontrent que les ailettes, horizontales et verticales, influencent significativement la portance et la traînée d'un obstacle carré. La présence d'ailettes horizontales réduit la traînée moyenne (C_D) et améliore l'efficacité aérodynamique, particulièrement avec des rapports L/D plus élevés. Les ailettes verticales affectent la portance moyenne (C_L) et la traînée (C_D), avec des configurations $G/D=0.05$ montrant des augmentations drastiques de la traînée à des rapports L/D élevés, et des configurations $G/D=0.1$ et $G/D=0.025$ montrant des effets plus modérés.

Ainsi, la conception et la dimension des ailettes sont essentielles pour optimiser la portance et minimiser la traînée dans un écoulement. On va choisir les configurations $G/D = 0.1$ et $G/D=0.025$ avec les longueurs $L/D = 1$ et $L/D = 0.5$ pour les comparer. Ces configurations permettent de mieux comprendre l'impact des variations de la taille des ailettes et des longueurs sur la portance et la traînée. Cette comparaison est cruciale pour optimiser les performances aérodynamiques dans différentes conditions d'écoulement.

1^{er} cas : Voici le graphe de la variation de la portance et de trainée par rapport au pas de temps accumulé pour un obstacle sans ailettes et avec des ailettes horizontales pour les configurations suivantes: $G/D = 0.1$ et $G/D = 0.025$, avec des longueurs $L/D = 1$ et $L/D = 0.5$.

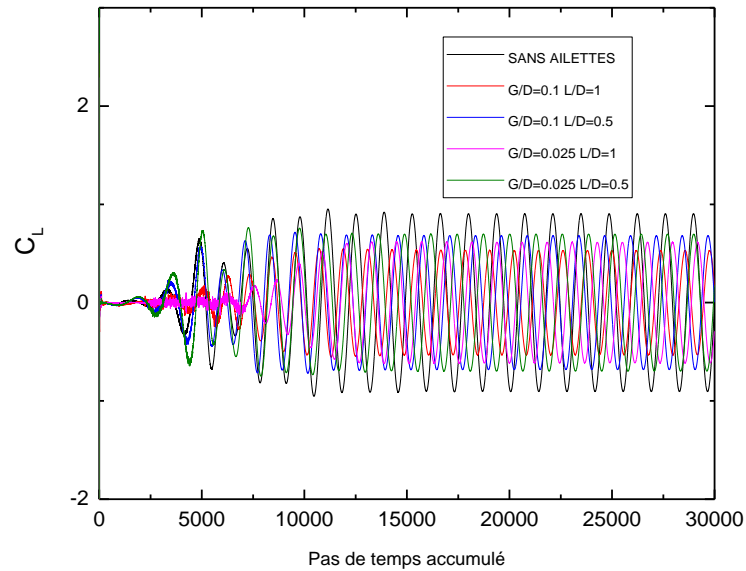


Figure III.5 Variation de portance (C_L) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes horizontales

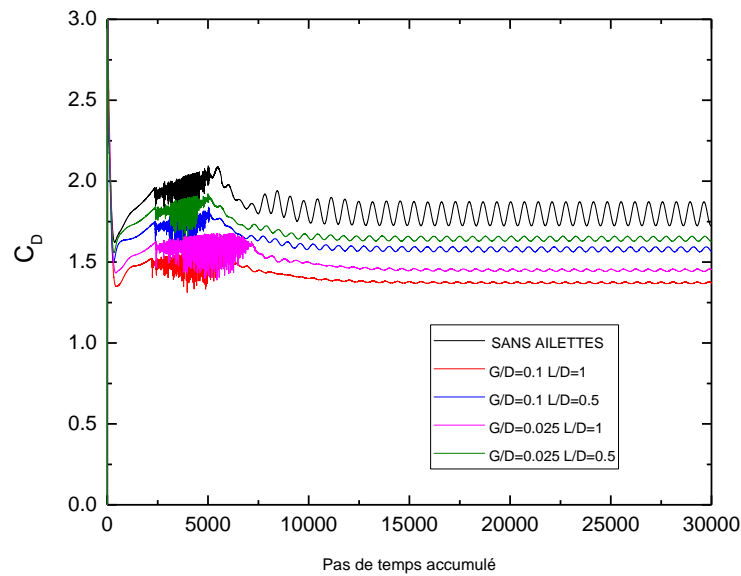


Figure III.6 Variation de trainée (C_D) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes horizontales

2^{ème} Cas : Voici la représentation graphique montrant comment la portance et la trainée varie en fonction du temps accumulé pour deux configurations d'obstacles : l'une sans ailettes et l'autre avec des ailettes verticales. Ces configurations sont caractérisées par des rapports de largeur à diamètre (G/D) de 0.1 et 0.025, ainsi que des rapports de longueur à diamètre (L/D) de 1 et 0.5

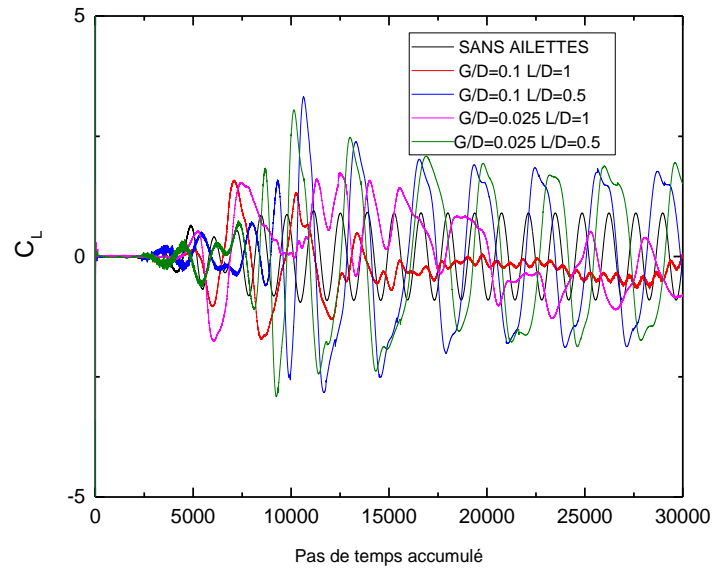


Figure III.7 Variation de portance (C_L) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes verticales

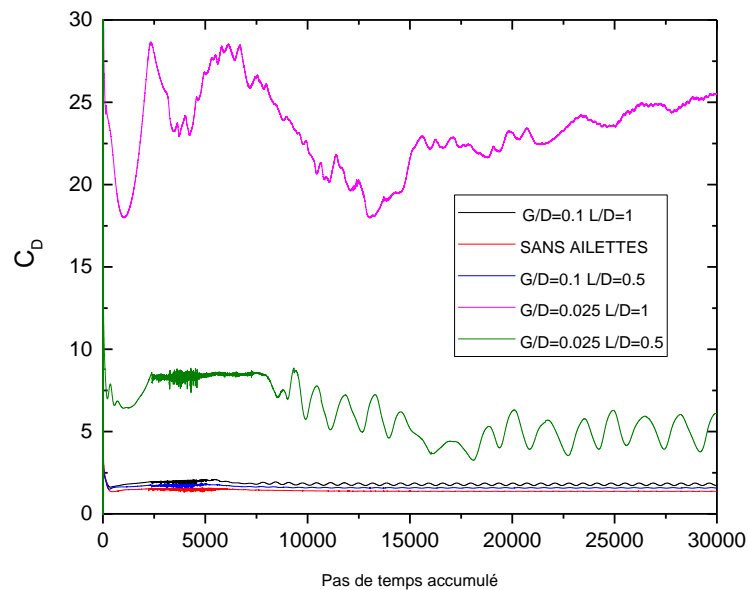


Figure III.8 Variation de trainée (C_D) en fonction du pas de temps accumulé avec ailettes verticales

Les Figures ci-dessus montrent le résultat final de simulation et le dessin final des graphes de la portance et de la traînée dans chaque cas.

Pour le premier cas sans ailette, on observe que la portance C_L n'est pas stable ayant un impact significatif sur l'écoulement, entraînant des fluctuations importantes, tandis que la traînée C_D reste relativement élevé .

Pour les configurations avec des ailettes horizontales, les variations de l'épaisseur $G/D = 0.1$ et $G/D = 0.025$ et de la longueur $L/D = 1$ et $L/D = 0.5$ montrent des impacts différents :

la portance varie d'une façon significative et présente des fluctuations et la traînée est réduite avec $L/D=0.5$. Pour des ailettes $L/D=1$, la traînée est réduite encore plus , indiquant une amélioration de la stabilité de l'écoulement prouvé par la diminution de l'amplitude et elle pas vraiment périodique par rapport au cas de sans ailettes.

Par contre, lors de la présence des ailettes verticales la traînée a augmenté d'une façon brusque en parallèle avec l'augmentation des rapport L/D et la portance varie sur une intervalle plus large.

En résumé, la présence d'ailettes améliore la stabilité de la portance et réduit la traînée par rapport à sans ailette, avec des configurations de L/D plus long $L/D = 1$ étant particulièrement efficaces pour stabiliser la portance et minimiser la traînée. Ces résultats sont cruciaux pour optimiser les performances aérodynamiques, applicables à la conception de structures où la stabilité et l'efficacité de l'écoulement sont essentielles.

III.4 Analyse des effets des ailettes sur les écoulements autour de l'obstacle carré : (Étude de la vitesse, de la vorticité)

Cette étude a examiné les écoulements autour d'un obstacle carré, avec et sans ailettes horizontales et verticales, en utilisant des simulations avec ANSYS CFX. Les analyses ont porté sur la distribution de la vitesse et de la vorticité, ainsi que sur les forces de traînée et de portance, à différents intervalles de temps (50s, 100s, 200s, 300s).

III.4.1 La vitesse :

La vitesse de l'écoulement autour de l'obstacle carré est une caractéristique fondamentale à analyser. Elle permet de comprendre comment la présence d'ailettes influence la distribution de la vitesse dans le champ d'écoulement.

Une modification de la distribution de la vitesse peut affecter la séparation de l'écoulement, la formation des zones de recirculation, et par conséquent, les forces exercées sur l'obstacle. L'analyse de la distribution de la vitesse permet de visualiser les zones où l'écoulement est accéléré ou ralenti par la présence des ailettes.

1^{er} Cas Sans ailettes :

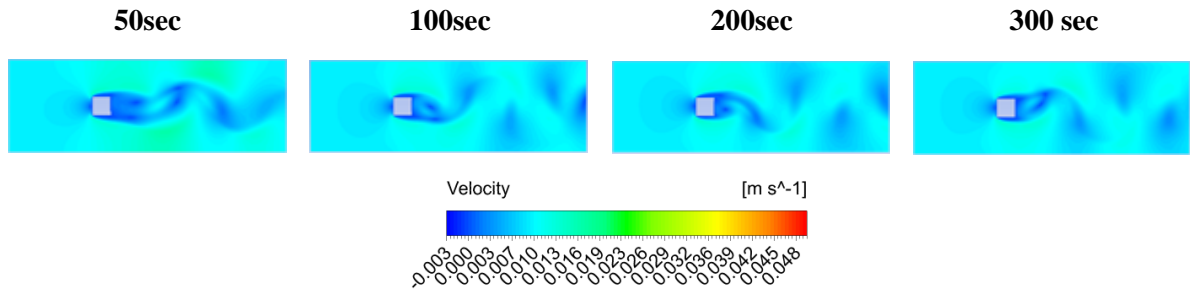


Figure III.9 Évolution de la vitesse de l'Écoulement sans Ailettes

On observe un détachement tourbillonnaire marqué dès les premiers instants (50 s), qui se stabilise en formant des structures tourbillonnaires périodiques derrière l'obstacle. Ces tourbillons sont caractéristiques de l'écoulement autour d'un obstacle sans appendices, résultant en une traînée significative et des fluctuations de portance. La distribution de la vitesse montre des régions alternantes de haute et basse vitesse, créant une traînée importante.

2^{ème} Cas la présence des ailettes Horizontales :

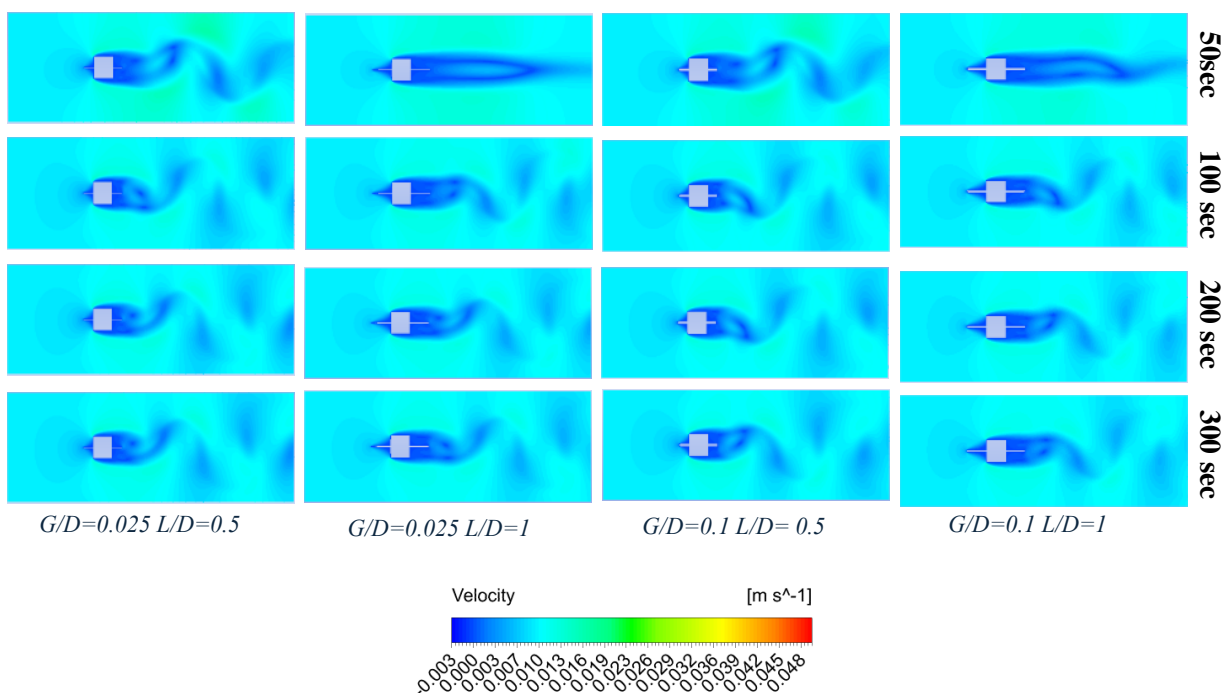


Figure III.10 Évolution de la vitesse de l'Écoulement avec ailettes horizontales

Les captures de l'écoulement du fluide autour de l'obstacle montrent l'évolution des structures tourbillonnaires au fil du temps.

Les images illustrent les conditions à 50, 100, 200 et 300 secondes avec la présence des ailettes horizontales $G/D=0,025$ et $G/D=0,1$ avec $L/D=0,5$ et $L/D=1$. La présence d'ailettes $G/D=0,025$ avec $L/D=0,5$ modifie l'écoulement en réduisant l'intensité des tourbillons derrière l'obstacle. À 50s, les tourbillons sont moins prononcés comparés au cas sans ailettes, indiquant une dissipation d'énergie. À 100 s et au-delà, les structures tourbillonnaires deviennent plus stables et moins intenses, suggérant une diminution de la traînée et des fluctuations de portance, La distribution des vitesses indique une réduction des écarts les plus extrêmes, ce qui réduit la traînée. Lorsque la longueur des ailettes est augmentée à $L/D=1$, les tourbillons sont encore plus atténués. À 50s, l'apparition des tourbillons est presque négligeable, et à 100s et au-delà, l'écoulement reste majoritairement attaché avec des perturbations minimales. Cette configuration montre une réduction significative de la traînée et stabilise davantage la portance, diminuant les fluctuations. La vitesse reste plus uniforme derrière l'obstacle, ce qui réduit encore plus la traînée. Avec ailettes $G/D=0,1$ À 50s et 100s la présence d'ailettes de longueur $L/D=0,5$ montre une réduction de l'intensité des tourbillons par rapport au cas sans ailettes. Cependant, des détachements tourbillonnaires restent présents mais moins prononcés. À 200s et 300s Les ailettes stabilisent le sillage, réduisant ainsi la fréquence et l'amplitude des tourbillons. Cela indique une diminution de la traînée induite par la présence des ailettes. La vitesse moyenne derrière le corps est plus homogène, avec moins de variations brusques. L'allongement des ailettes à $L/D=1$ À 50s et 100s montre une réduction plus significative du détachement tourbillonnaire. Les tourbillons sont moins fréquents et moins énergétiques, ce qui stabilise davantage le sillage. À 200s et 300s Cette configuration montre une stabilisation remarquable du fluide derrière le corps. Les tourbillons sont pratiquement inexistantes, ce qui réduit considérablement la traînée. La vitesse du fluide reste plus constante, indiquant une meilleure efficacité de la stabilisation.

Récapitulation des résultats

La présence d'ailettes horizontales sur un obstacle carré dans un écoulement fluide modifie significativement la dynamique de l'écoulement et la distribution de la vitesse. Les ailettes réduisent l'intensité et la fréquence des structures tourbillonnaires derrière l'obstacle, entraînant une diminution de la traînée et une stabilisation de la portance.

Les ailettes plus longues ($L/D=1$) offrent les meilleurs résultats en termes de réduction de la traînée et de stabilisation des forces. Pour des applications nécessitant une réduction de la traînée et une régularité de la vitesse, la présence d'ailettes horizontales est une stratégie efficace. Cela est particulièrement pertinent pour le design aérodynamique et hydrodynamique, où ces améliorations sont essentielles pour optimiser les performances et l'efficacité énergétique.

3^{ème} Cas la présence des ailettes Verticales :

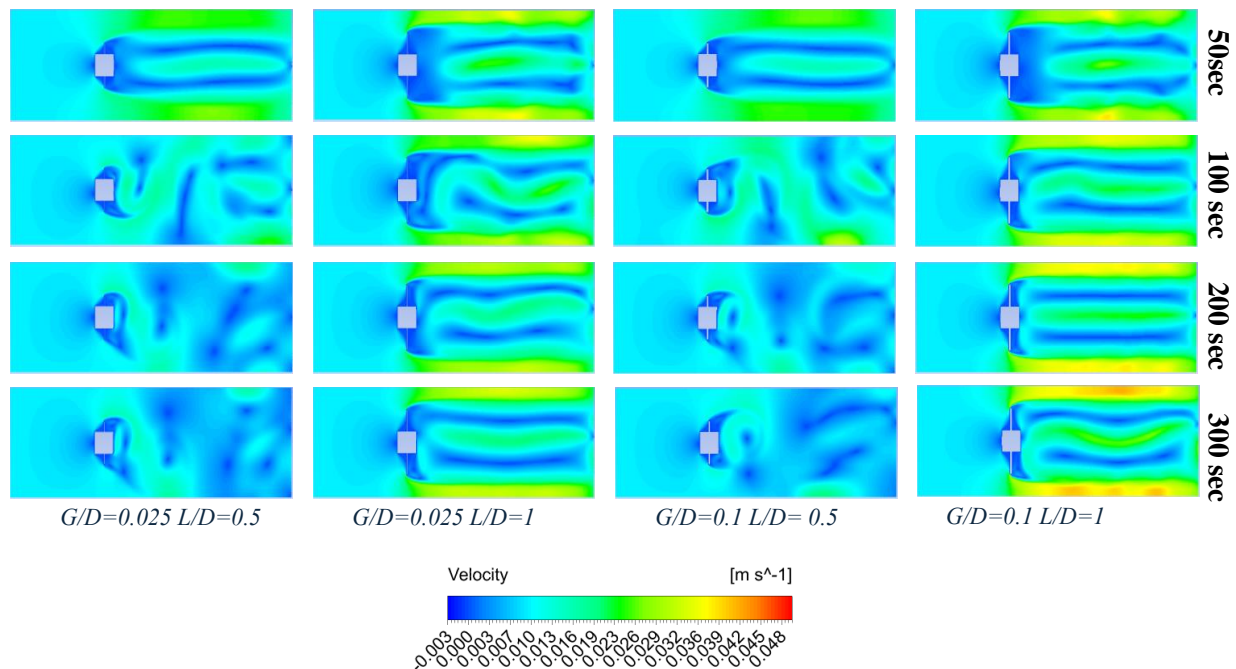


Figure III.11 Évolution de la vitesse de l'Écoulement avec ailettes verticales

Dans ce cas de ce cas, nous comparons l'impact de la présence des ailettes verticales sur le détachement tourbillonnaire et le comportement du fluide autour d'un obstacle carre. Les trois configurations étudiées sont : avec ailettes de $G/D=0.1$ et $G/D=0.025$ avec $L/D=0.5$ et $L/D=1$. Les profils de vitesse sont capturés à 50s, 100s, 200s, et 300s pendant la simulation. Les images ci-dessous illustrent les profils de vitesse pour chaque configuration et chaque temps.

Avec ailettes $G/D=0.025$ et $L/D=0.5$ À 50s et 100s, la présence d'ailettes montre une réduction de l'intensité des tourbillons par rapport au cas sans ailettes. Cependant, des détachements tourbillonnaires restent présents mais moins prononcés. À 200s et 300s, les ailettes stabilisent le sillage, réduisant ainsi la fréquence et l'amplitude. La vitesse moyenne derrière le corps est plus homogène, avec moins de variations brusques.

Avec ailettes $G/D=0.025$ et $L/D=1$ À 50s et 100s, l'allongement des ailettes à $L/D=1$ montre une réduction plus significative du détachement tourbillonnaire. Les tourbillons sont moins fréquents et moins énergétiques, ce qui stabilise davantage le sillage. À 200s et 300s, cette configuration montre une stabilisation remarquable du fluide derrière le corps. Les tourbillons sont pratiquement inexistantes. La vitesse du fluide reste plus constante, indiquant une meilleure efficacité de la stabilisation.

Avec les ailettes de $G/D=0.1$ et $L/D=0.5$, à 50s et 100s, la présence d'ailettes montre une réduction de l'intensité des tourbillons par rapport au cas sans ailettes. Cependant, des détachements tourbillonnaires restent présents mais moins prononcés. À 200s et 300s, les ailettes stabilisent le sillage, réduisant ainsi la fréquence et l'amplitude des tourbillons. La vitesse derrière le corps est plus homogène, avec moins de variations brusques. Avec $L/D=1$, à 50s et 100s, l'allongement des ailettes montre une réduction plus significative du détachement tourbillonnaire. Les tourbillons sont moins fréquents et moins énergétiques, ce qui stabilise davantage le sillage. À 200s et 300s, cette configuration montre une stabilisation remarquable du fluide derrière le corps. Les tourbillons sont pratiquement inexistantes, La vitesse du fluide reste plus constante, indiquant une meilleure efficacité de la stabilisation.

Récapitulation des résultats

La présence d'ailettes verticales améliore la stabilisation du fluide en réduisant le détachement et améliore la distribution de la vitesse. La configuration avec ailettes de longueur $L/D=1$ montre les meilleurs résultats en terme de stabilisation du sillage.

III.4.2 Vorticité :

La vorticité est une mesure de la rotation locale des particules de fluide dans l'écoulement. Elle est particulièrement importante dans l'étude des écoulements turbulents et des zones de recirculation. En examinant la vorticité autour de l'obstacle carré, on peut identifier les zones où des tourbillons se forment, se détachent et interagissent avec l'écoulement principal. la présence d'ailettes peut avoir pour effet de contrôler ou de modifier ces zones de forte vorticité, ce qui peut contribuer à réduire la traînée et à stabiliser l'écoulement.

1^{er} Cas Sans ailettes :

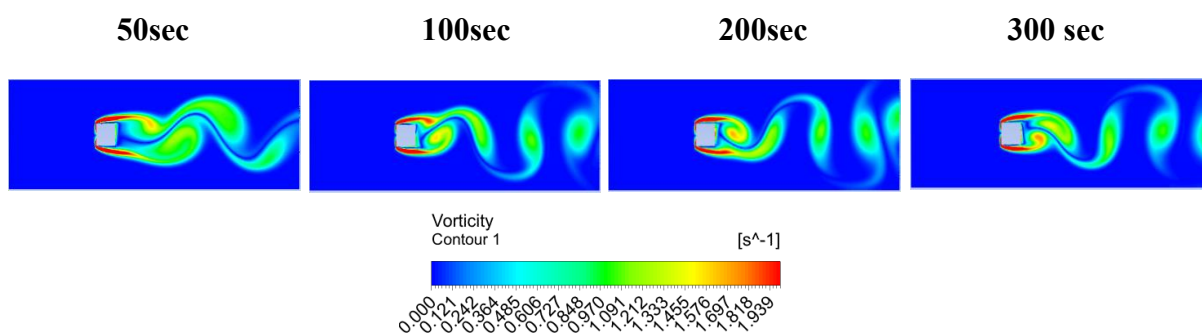


Figure III.12 Évolution de la vorticité de l'Écoulement sans ailettes

À 50s et 100s On observe un détachement tourbillonnaire bien établi derrière le corps, avec des tourbillons symétriques et alternants. Ce phénomène crée une traînée importante et des oscillations notables dans le fluide. Et À 200s et 300s Les tourbillons persistent, avec des variations significatives de vorticité et une traînée accrue due à l'instabilité du sillage.

2^{eme} Cas la présence des ailettes horizontales :

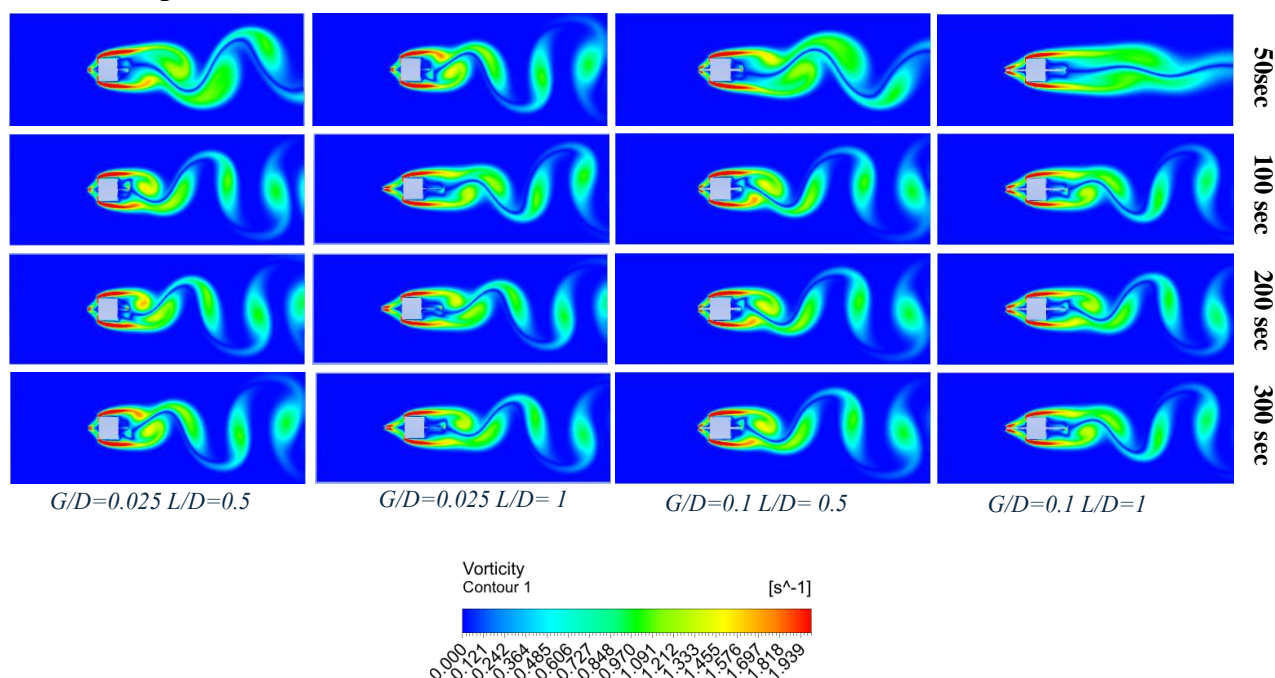


Figure III.13 Évolution de la vorticité de l'Écoulement avec ailettes horizontales

En analysant les configurations avec ailettes horizontales, nous observons des variations significatives dans le comportement du fluide et la vorticité.

Avec des ailettes $G/D=0.025$ et $L/D=0.5$, à 50s et 100s, la présence d'ailettes de longueur $L/D=0.5$ réduit l'intensité des tourbillons par rapport au cas sans ailettes, avec des détachements

tourbillonnaires moins prononcés, indiquant une certaine stabilisation du sillage. À 200s et 300s, les ailettes stabilisent davantage le sillage, réduisant la fréquence et l'amplitude des tourbillons, diminuant la traînée et rendant la vorticité derrière le corps plus homogène avec moins de variations brusques. Avec des ailettes $G/D=0.025$ et $L/D=1$, à 50s et 100s, l'augmentation de la longueur des ailettes montre une réduction encore plus significative du détachement tourbillonnaire, avec des tourbillons moins fréquents et moins énergétiques, stabilisant le sillage de manière plus efficace. À 200s et 300s, cette configuration montre une stabilisation remarquable du fluide derrière le corps, avec des tourbillons pratiquement inexistantes, une traînée considérablement réduite, démontrant une efficacité aérodynamique accrue grâce à une meilleure stabilisation. Avec des ailettes $G/D=0.1$ et $L/D=0.5$, à 50s et 100s, la présence d'ailettes de longueur $L/D=0.5$ réduit l'intensité des tourbillons par rapport au cas sans ailettes, avec des détachements tourbillonnaires présents mais moins prononcés, indiquant une certaine stabilisation du sillage. À 200s et 300s, les ailettes stabilisent davantage le sillage, réduisant la fréquence et l'amplitude des tourbillons, diminuant la traînée et rendant la vitesse derrière le corps plus homogène avec moins de variations brusques.

Enfin, avec des ailettes $G/D=0.1$ et $L/D=1$, à 50s et 100s, l'augmentation de la longueur des ailettes montre une réduction encore plus significative du détachement tourbillonnaire, avec des tourbillons moins fréquents et moins énergétiques, stabilisant le sillage de manière plus efficace. À 200s et 300s, cette configuration montre une stabilisation remarquable du fluide derrière le corps, avec des tourbillons pratiquement inexistantes, une traînée considérablement réduite, démontrant une efficacité aérodynamique accrue grâce à une meilleure stabilisation.

Récapitulation des résultats

En résumé, l'épaisseur des ailettes n'a pas un impact significatif sur la réduction de la traînée par rapport à la longueur des ailettes. Les résultats montrent que la réduction de la vorticité et la stabilisation du sillage sont principalement influencées par la longueur des ailettes.

Avec des ailettes plus longues ($L/D=1$) offrant une meilleure performance en termes de réduction de la traînée et de stabilisation du flux. À différentes épaisseurs de G/D (0.025 et 0.1), la présence d'ailettes de longueur $L/D=1$ stabilise remarquablement le fluide derrière le corps, avec des tourbillons moins fréquents et moins énergétiques, une traînée considérablement réduite. Ces observations sont cruciales pour les applications où la traînée joue un rôle déterminant dans la performance. la présence d'ailettes horizontales, particulièrement celles de longueur $L/D=1$, permet de stabiliser efficacement le sillage derrière le corps, réduisant ainsi la vorticité.

Cela démontre que la longueur des ailettes a un impact significatif sur la stabilisation du fluide, ce qui peut être avantageux pour des applications nécessitant une amélioration de l'efficacité aérodynamique.

3^{ème} Cas la présence des ailettes verticales :

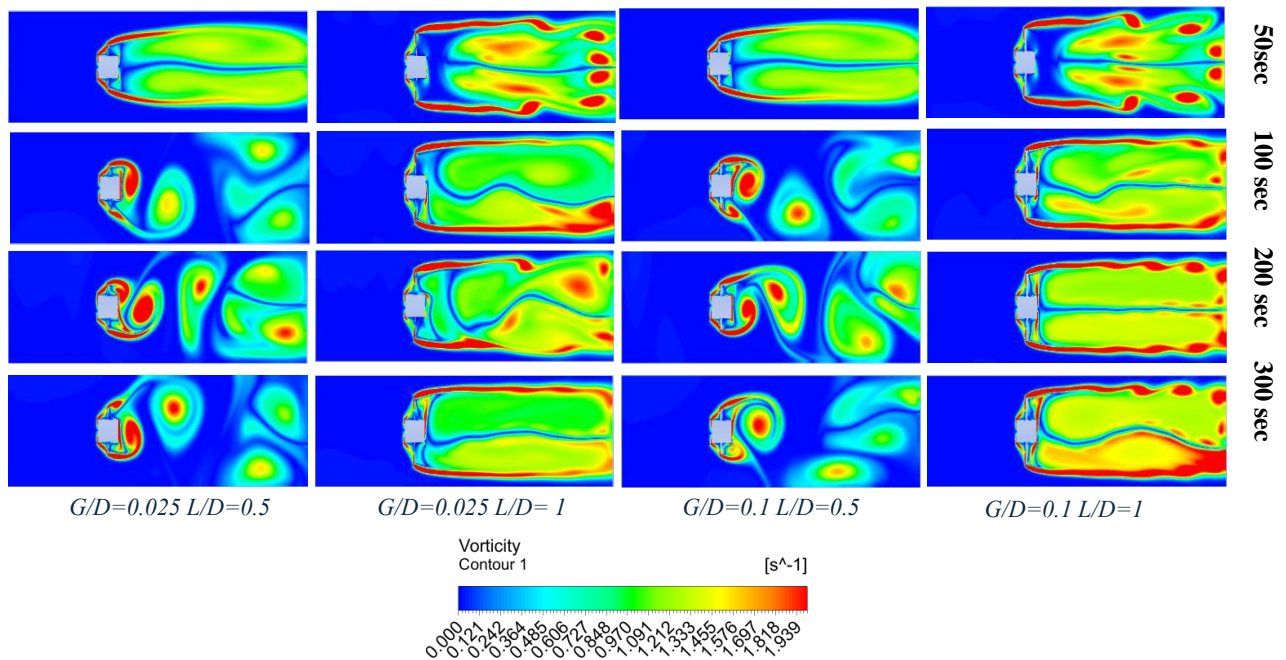


Figure III.14 Évolution de la vorticité de l'écoulement avec ailettes verticales

En analysant les configurations avec ailettes verticales, nous observons des variations significatives dans le comportement du fluide et la vorticité en fonction du temps et des rapports G/D et L/D . Avec des ailettes $G/D=0.025$ et $L/D=0.5$, à 50s et 100s, la présence des ailettes verticales réduit l'intensité des tourbillons par rapport au cas sans ailettes, bien que ceux-ci soient plus concentrés près de l'obstacle. À 200s et 300s, les ailettes stabilisent le sillage, même si les tourbillons persistent, la fréquence de leur détachement diminue légèrement. Avec des ailettes $G/D=0.025$ et $L/D=1$, à 50s et 100s, l'augmentation de la longueur des ailettes verticales montre une réduction significative du détachement tourbillonnaire, les tourbillons étant plus diffus et moins énergétiques. À 200s et 300s, cette configuration montre une stabilisation accrue du fluide derrière le corps, les tourbillons étant quasiment absents, ce qui diminue la traînée de manière notable. Avec des ailettes $G/D=0.1$ et $L/D=0.5$, à 50s et 100s, la présence des ailettes réduit l'intensité des tourbillons, les détachements étant présents mais moins prononcés, suggérant une certaine stabilisation du sillage.

À 200s et 300s, les ailettes continuent de stabiliser le sillage, réduisant la fréquence et l'amplitude des tourbillons, avec une vortacité plus homogène derrière l'obstacle.

Enfin, avec des ailettes $G/D=0.1$ et $L/D=1$, à 50s et 100s, l'augmentation de la longueur des ailettes verticales montre une réduction encore plus significative du détachement tourbillonnaire, les tourbillons étant moins fréquents et moins énergétiques.

À 200s et 300s, cette configuration démontre une stabilisation remarquable du fluide derrière le corps, avec des tourbillons pratiquement inexistantes, réduisant considérablement la traînée et améliorant l'efficacité aérodynamique.

Récapitulation des résultats

Les configurations avec des ailettes verticales montrent que les détachements tourbillonnaires sont moins prononcés, ce qui contribue à la stabilisation du sillage. Cependant, la vortacité reste présente, surtout avec des rapports L/D plus faibles, mais elle est mieux répartie et moins intense, ce qui indique une amélioration générale de l'efficacité de l'écoulement. Les ailettes verticales, en particulier avec un rapport L/D élevé, montrent une performance optimale en termes de stabilisation du sillage.

III.5 Conclusion

L'impact des ailettes est significatif sur la distribution de la vitesse autour de l'obstacle par contre dans le cas Sans ailettes, l'écoulement présente des variations rapides de vitesse, entraînant une traînée importante et des forces fluctuantes sur l'obstacle. Les ailettes modifient ce comportement en lissant l'écoulement et en réduisant les gradients de vitesse :

1. **Réduction des tourbillons** : Les ailettes réduisent la formation de tourbillons derrière l'obstacle. Les tourbillons sont des zones de basse pression qui augmentent la traînée. En atténuant ces tourbillons, les ailettes diminuent la traînée.
2. **Stabilisation de l'écoulement** : Avec des ailettes, l'écoulement devient plus stable et moins turbulent. Cela signifie que les forces sur l'obstacle sont plus constantes, réduisant les fluctuations de portance.
3. **Uniformité de la vitesse** : Les profils de vitesse montrent une réduction des variations extrêmes de vitesse avec des ailettes. Une vitesse plus uniforme derrière l'obstacle signifie moins de résistance et donc une traînée réduite.

=

4. **Portance** : Bien que l'étude se concentre sur la traînée, la stabilisation du fluide peut également avoir un effet sur la portance. Des écoulements plus stables peuvent mener à une distribution de pression plus uniforme autour du corps, ce qui peut influencer la portance de manière positive ou négative selon la configuration.
5. **Traînée** : la présence des ailettes horizontales réduit la vortacité et stabilise le sillage, ce qui diminue la traînée. Plus la longueur des ailettes est grande, plus l'apparition des tourbillons est faible, améliorant ainsi la stabilité du fluide et l'efficacité aérodynamique.
6. **Vortacité** : La vortacité est un indicateur clé de l'instabilité du fluide. La réduction de la vortacité grâce aux ailettes montre une stabilisation du sillage, ce qui diminue la traînée et améliore l'efficacité du corps dans le fluide. Les configurations avec des ailettes plus longues montrent une réduction plus significative de la vortacité, soulignant l'importance de la longueur des ailettes dans la stabilisation du flux.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude a examiné l'influence des ailettes verticales et horizontales sur la dynamique des fluides autour d'un corps immergé, en analysant les effets des ratios de longueur (L/D) et d'épaisseur (G/D) sur la stabilisation du fluide, la vorticité, la vitesse, la portance et la traînée.

L'impact de la longueur des ailettes a été étudié, montrant que des ailettes plus longues réduisent significativement la vorticité et les tourbillons dans le sillage, améliorant ainsi la stabilisation du flux et réduisant la traînée. Parallèlement, l'effet de l'épaisseur des ailettes a été observé, indiquant que des ailettes plus fines permettent-, réduisant la vorticité et la traînée.

Une comparaison entre les ailettes verticales et horizontales a été effectuée, montrant que les premières sont efficaces pour stabiliser les écoulements verticaux, tandis que les secondes influencent principalement les écoulements horizontaux, contribuant toutes deux à la stabilisation de la traînée et de la portance.

La relation entre les paramètres a été analys e, révélant que la réduction de la vorticité grâce à des ailettes plus longues et plus fines conduit à une stabilisation accrue du fluide, réduisant ainsi les fluctuations de pression et améliorant l'efficacité aérodynamique.

Le but principal de cette étude était d'optimiser les paramètres géométriques des ailettes pour améliorer la stabilité du fluide et réduire la traînée. Les résultats démontrent que cette optimisation peut considérablement améliorer les caractéristiques d'écoulement, offrant des avantages significatifs pour les applications dans les domaines de l'ingénierie aérospatiale, navale et automobile, où la performance et l'efficacité énergétique sont cruciales. En résumé, cette étude souligne l'importance de l'optimisation des ailettes pour la réduction de la traînée et la stabilisation du fluide, avec des implications importantes pour diverses technologies.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

- [1] Riadh BEN HAMOUDA, Notions de mécanique des fluides , Centre de Publication Universitaire, Tunis, 2008.
- [2] D. Serre, Systèmes de lois de conservation, 1996.
- [3] White Frank M ,Fluid mechanics, 1994 .
- [4] John D. Anderson Jr , Fundamentals of Aerodynamics, (6ème édition, McGraw-Hill Education, 2015.
- [5] Robert W. Fox, Alan T. McDonald, et Philip J. Pritchard , Introduction to Fluid Mechanics, 2011.
- [6] White, F. M. (2011). Fluid Mechanics (7th ed.). McGraw-Hill.
- [7] ISET Nabeul ,Mécanique des fluides ,2013-2014.
- [8] Michel Dubas Yves Piguero ,Guide pour l'étude sommaire de petites centrales hydrauliques 1e édition, octobre 2009.
- [9] Bessem, M., Benzaoui, A., & Sahnoun, Caractérisation des écoulements autour des obstacles par la technique des images en mécanique des fluides. International Journal of Innovation and Scientific Research, 2016.
- [10] Sakir, Jean Luc Battaglia , Journal of Fluid Mechanics and Engineering , 2022.
- [11] D. Montgomery, The von Kármán Vortex Street Phenomenon", NASA Technical Reports Server (NTRS),1974.
- [12] Uriel Frisch, La turbulence, 2000.
- [13] Peter Smith Stevens trad J. Matricon, D. Morello, Les Formes dans la Nature Patterns in Nature , Paris 1976.
- [14] Strouhal, Ueber eine besondere Art der Tonerregung, 1878.
- [15] Hoerner, Dr. Sighard F, Fluid-Dynamic Drag, Hoerner Fluid Dynamics, Bricktown New Jersey, 1965.
- [16] GUNT Hamburg, Étude de la couche limite avec un tube de Pitot, 1970.
- [17] Jean-Christophe Robinet, Aérodynamique Fondamentale Chapitre 3 : LA COUCHE LIMITE EN AÉRODYNAMIQUE, 2010-2011.
- [18] D.Calluaud, L.David, S. Rouvreau, P. Joulain , étude expérimentale et numérique d'un écoulement autour d'obstacle carre et cylindrique Présenté pour obtenir le diplôme de magistère, 2009/2010.
- [19] Okajima, Strouhal numbers of rectangular cylinders Journal of Fluid Mechanics, 1982.

- [20] Kelkar, K. M., & Patankar, S. V, Numerical prediction of vortex shedding behind a square cylinder International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1992.
- [21] Sohankar, A., Norberg, C., & Davidson, Simulation of three-dimensional flow around a square cylinder at moderate Reynolds numbers Physics of Fluids, 1999.
- [22] Luo, S. C., Chew, Y. T., & Ng, Y. T. ,Characteristics of square cylinder wake transition flows." Physics of Fluids, 2003.
- [23] Ul-Islam, S., & Zhou, Y, Lattice Boltzmann simulation of flow around a square cylinder Progress in Computational Fluid Dynamics an International Journal, 2009.
- [24] MarcinHuptas Witold Elsner, Steady and unsteady simulation of flow structure of two surface-mounted square obstacle Taskquarterly , 2008.
- [25] M.Breuer , J.Bernsdorf , T.Zeiser, F.Durst , Accurate computations of the laminar Flowpast a square cylinderbased on twodifferentmethods: Lattice-Boltzmann and finite-volume International Journal of Heat and Fluid Flow 21 ,2000.
- [26] White, Fluid Mechanics (7th ed.) McGraw-Hill Education, 2011.
- [27] E. Guyon, J. P. Hulin, L. Petit, Hydrodynamique physique nouvelle édition revue et augmentée, Collection savoirs actuels,2001.
- [28] D. Serre, Systèmes de lois de conservation tome 1 Fondations Diderot, 1996.
- [29] ANSYS,Inc ANSYS Fluent, User's Guid , 2013.
- [30] D. Lakehal, W.Rodi, Calculation of the flow past a surface-mounted cube with two-layer turbulence models journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 1997.
- [31] Samir Tabloul, Accroissement du transfert convectif dans une couche limite turbulente perturbée par un obstacle décollé de la paroi, 2006.
- [32] ANSYS CFX, www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx, 2018.
- [33] D. Arumuga Perumal Gundavarapu V. S. Kumar and Anoop K. Dass2, Numerical Simulation of Viscous Flow over a Square Cylinder Using Lattice Boltzmann Method, 2012.