



**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1**

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE MECANIQUE

**Projet de fin d'études**

**En vue de l'obtention de diplôme de Master en génie mécanique  
option Installation énergétique et turbomachine**

**Thème**

**Simulation numérique d'écoulement nanofluide autour de deux  
cylindres en arrangement vertical**

Présenté par :

- **Hamida Mohamed Rafik**

Proposé et encadré par :

- **Promoteur : Mr. Bensedira Sidali**

- **Co-Promoteur: Mr. Salhi Merouane**

**Année universitaire 2021/2022**

## *Remerciements*

Je veux remercier mon promoteur monsieur **BENSEDIRA SIDALI** qui m'a guidé et encouragé tout au long de mon travail et ces judicieux conseils et remarques.

Je veux remercier toutes les personnes qui de près ou de loin a m'aider par leur présence et leurs soutiens dans ce travail.

je adreser également, remercier à mes camarades et enseignants du département de génie mécanique.

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Ma très chère mère et chère père pour leurs tendresses et leurs efforts.*

*Mes frère Mes chères sœurs*

*Tous mes amis et mes proches que leur vie soit pleine de bonheur et de joie*

*Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

*Mercie a tous ...*

***Mohamed.***

**RESUME :**

L'écoulement d'un fluide autour d'un cylindre est un cas d'étude fondamental, partie des problèmes les plus étudiés en mécanique des fluides ou en aérodynamique, on le rencontre dans de nombreux domaines de l'ingénierie mécanique.

On propose dans ce travail d'étudier l'effet de la distance  $L/D$  entre les deux cylindres en arrangement vertical, pour cela, nous effectuerons une simulation numérique de l'écoulement des nanofluides autour de ces cylindres et nous modifierons la distance entre eux, puis nous calculerons les coefficients hydrodynamiques de traînée et de portance pour chaque cas dans un ordre vertical.

**Mots-clés :**

Écoulement, portance, traînée, cylindres, simulation

**ABSTRACT:**

The flow of a fluid around a cylinder is a fundamental case study, one of the most studied problems in fluid mechanics or aerodynamics, it is found in many fields of mechanical engineering. We propose in this work to study the effect of the distance  $G/D$  between the two cylinders in vertical arrangement, for this, we will perform a numerical simulation of the flow of nanofluids around these cylinders and we will modify the distance between them, then we will calculate the hydrodynamic coefficients of drag and lift for each case in a vertical order.

**Keywords:**

Flow, lift, drag, cylinders, simulation.

## ملخص :

تدفق السائل حول الاسطوانة هو دراسة حالة أساسية، و هي واحدة من أكثر المشاكل المدروسة في ميكانيكا الموائع أو الديناميكا الهوائية، وهي موجودة في العديد من مجالات الهندسة الميكانيكية.

يقترح في هذا العمل دراسة تأثير المسافة  $G / D$  بين الأسطوانتين في الترتيب العمودي، لهذا الغرض سنجري محاكاة عددية لتدفق السائل النانوية حول هذه الأسطوانات وسنعدل المسافة بينها، ثم سنحسب المعاملات الهيدروديناميكية للسحب والرفع لكل حالة بترتيب عمودي.

## الكلمات الدالة :

تدفق - السحب - الرفع - الاسطوانة - محاكاة.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>5</b>
------------------------------------	----------

## **CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES NANOFLEUDES**

I.1	Généralités sur les nanofluides : .....	8
I.2	Etat de l'art : .....	8
I.3	Préparation des nanofluides : .....	9
I.3.1	Procédé en une étape (one-step méthode) : .....	10
I.3.2	Procédé en deux étapes (two-step méthode) : .....	10
I.4	Nanoparticules et le fluide porteur : .....	10
I.4.1	Types de nanoparticules : .....	11
I.4.2	Propriétés et Caractéristique : .....	12
I.5	Art et revue bibliographique : .....	13
I.5.1	Intérêt de l'écoulement autour de deux cylindres : .....	14
I.5.2	Méthode résolution implicite totalement couplée : .....	14
I.5.4	Régime d'écoulement : .....	14
I.5.5	Les problèmes impliquant une turbulence des fluides : .....	15
I.5.6	Ecoulement en régime laminaire -l'eau- ( $Re < 2000$ ) : .....	16
I.5.6	Les régimes transitoires ( $2000 < Re < 3000$ ) : .....	17

## **CHAPITRE II : FORMULES MATHÉMATIQUES**

II.1	Introduction : .....	19
II.2	Nombre de Reynolds : .....	19
II.3	Notions sur l'écoulement autour des obstacles : .....	19
II.4	Domaines d'application : .....	20
II.5	Formulations mathématiques : .....	20
II.5.1	Equation de continuité : .....	20
II.5.2	Equations de quantité de mouvement : .....	21
II.6	Propriétés thermophysique : .....	23
II.6.1	La conductivité thermique $K_{nf}$ : .....	23
II.6.2	La fraction volumique ( $\varphi$ ) : .....	23
II.6.3	La masse volumique ( $\rho$ ) : .....	23
II.6.4	Coefficient d'expansion volumique ( $\beta$ ) : .....	24
II.6.5	La chaleur massique ( $C_p$ ) <sub>nf</sub> : .....	24
II.6.6	La viscosité thermique $\mu_{nf}$ : .....	24

### CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE PAR ANSYS ET RESULTATS

III.1 Généralité sure ANSYS : .....	26
III.2 ANSYS CFX : .....	26
III.3 Les Matére Utilisé pour la simulation : .....	26
III.4 Propriétés de nanofluide : .....	27
III.4.1 La conductivité thermique $K_{nf}$ : .....	27
III.4.2 La viscosité thermique $\mu_{nf}$ : .....	27
III.4.3 La masse volumique $\rho_{nf}$ : .....	27
III.4.4 La chaleur massique ( $C_p$ ) <sub>nf</sub> : .....	27
III.4.5 Coefficient d'expansion volumique $B_{nf}$ : .....	28
III.5 Les résultats de calculs : .....	28
III.6 Début de la simulation : .....	29
III.6.1 Géométrie : .....	29
III.6.2 Maillage : .....	30
III.6.3 Résultats : .....	30
<b>CONCLUSION GENERALE : .....</b>	<b>45</b>

## *Liste de Figures*

### **Chapitre I :**

<b>Figure I.2 :</b> la Vue schématique de Nanofluide .....	9
<b>Figure I.2 :</b> Carbone nanotubes , les Nanomatériaux à base de métaux .....	11

### **Chapitre III :**

<b>Figure III.1 :</b> Esquisse d'espace de travail .....	29
<b>Figure III.2 :</b> Le Maillage .....	30
<b>Figure III.3 :</b> Variation de trainée moyenne ( $CD_{moy}$ ) en fonction du temps de tous les cas .....	30
<b>Figure III.4 :</b> Variation de portance moyenne ( $CD_{moy}$ ) en fonction du temps de tous les cas .....	31
<b>Figure III.5 :</b> Variation de portance (CL) en fonction du temps de tous les cas .....	32
<b>Figure III.6 :</b> Variation de trainée (CD) en fonction du temps de tous les cas .....	33
<b>Figure III.7 :</b> Variation de portance ( CL ) en fonction du temps de tous les cas .....	33
<b>Figure III.8 :</b> Variation de trainée (CD) en fonction du temps de tous les cas .....	34
<b>Figure III.9 :</b> Velocity 1 le cas $\varphi = 0.01$ .....	35
<b>Figure III.10 :</b> Velocity 2 le cas $\varphi = 0.05$ .....	35
<b>Figure III.11 :</b> Velocity 3 le cas $\varphi = 0.1$ .....	36
<b>Figure III.12 :</b> Velocity 4 le cas $\varphi = 0.13$ .....	36
<b>Figure III.13 :</b> Velocity 5 le cas $\varphi = 0.01$ .....	37
<b>Figure III.14 :</b> Velocity 6 cas $\varphi = 0.05$ .....	38
<b>Figure III.15 :</b> Velocity 7 le cas $\varphi = 0.1$ .....	38
<b>Figure III.16 :</b> Velocity 8 le cas $\varphi = 0.13$ .....	39
<b>Figure III.17 :</b> Vorticity 1 le cas $\varphi = 0.01$ .....	40
<b>Figure III.18 :</b> Vorticity 2 cas $\varphi = 0.05$ .....	40

<b>Figure III.19 :</b> Vorticity 3 cas $\varphi = 0.1$ .....	41
<b>Figure III.20 :</b> Vorticity 4 cas $\varphi = 0.13$ .....	41
<b>Figure III.21 :</b> Vorticity 5 cas $\varphi = 0.01$ .....	42
<b>Figure III.22 :</b> Vorticity 6 cas $\varphi = 0.05$ .....	43
<b>Figure III.23 :</b> Vorticity 7 cas $\varphi = 0.1$ .....	43
<b>Figure III.24:</b> Vorticity 8 cas $\varphi = 0.13$ .....	44

## *Liste de Tableaux*

### **Chapitre I**

<b>Tableau I. 1</b> Conductivité thermique de divers fluides de base et matériaux à 20°C .....	13
--	----

### **Chapitre III**

<b>Tableau III.1 :</b> Propriétés de l'eau et de Mgo .....	24
<b>Tableau III.2 :</b> Les resultats.....	25

## *Liste de Symbole*

$R_e$ :	le nombre de Reynolds.
$\rho$ :	la masse volumique.
$\mu$ :	Viscosité dynamique.
$V$ :	Vitesse moyenne d'écoulement.
$L$ :	La longueur caractéristique
$K_{nf}$ :	la conductivité thermique.
$K_f$ :	la conductivité du fluide de base.
$K_s$ :	la conductivité des nanoparticules solides.
$\varphi$ :	la fraction volumique.
$V_n$ :	volume de nanoparticules.
$V_{tot}$ :	volume totale de nanofluide.
$\rho_{nf}$ :	la masse volumique du nanofluide.
$\rho_f$ :	la masse volumique du fluide de base.
$\rho_s$ :	la masse volumique des nanoparticules.
$\beta$ :	Coefficient d'expansion volumique.
$\beta_{nf}$ :	Coefficient de dilatabilité du nanofluide.
$\beta_f$ :	Coefficient de dilatabilité du fluide de base.
$\beta_s$ :	Coefficient de dilatabilité des nanoparticules.
$C_p$ :	La chaleur massique.
$C_{p_{nf}}$ :	La chaleur massique du nanofluide.
$C_{p_f}$ :	La chaleur massique du fluide de base.
$C_{p_s}$ :	La chaleur massique des nanoparticules.
$\mu_{nf}$ :	La viscosité thermique.
$\mu_f$ :	La viscosité thermique du fluide de base.

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

# INTRODUCTION GENERALE

L'écoulement autour d'un groupe de cylindres a fait l'objet d'intenses investigations numériques et expérimentales dans la dernière décennie, principalement en raison de l'importance d'ingénierie de conception structurale, l'investigation d'un écoulement autour de deux cylindres peut nous fournir une meilleure connaissance de la dynamique des vortex, de la distribution de pression et des forces de fluide, dans les cas comportant des arrangements plus complexes.

Ce chapitre présente une étude numérique détaillée de l'écoulement autour de deux cylindres dans des configurations tandem et verticaux

L'effet de cette interférence est étudié, par exemple, dans la différence du nombre de Strouhal ( $St$ ) et des coefficients de force avec le nombre de Reynolds ( $Re$ ) et avec la distance entre les centres des cylindres ( $L / D$ ) où les équations d'écoulement ont été résolues par la méthode des éléments finis avec un faible nombre de Reynolds ( $Re$ ), à l'aide du logiciel ANSYS CFX. Nous avons étudié l'effet des rapports d'aspect ( $L/D$ ) et ( $L/D$ ) sur le comportement hydrodynamique du fluide. Le nombre de Strouhal est calculé en utilisant la transformée de Fourier rapide (FFT) de la distribution temporelle du coefficient de portance. La visualisation des champs de vorticités et de pression sont aussi présentés. Il a été constaté que les valeurs de coefficient de traînée moyen du cylindre inférieur est supérieures à celles du cylindre supérieur avec la variation de la distance entre la paroi et cylindre inférieur, tandis que pour le cylindre supérieur diminue, et ce coefficient diminue lorsque la distance entre les deux cylindres augmente. Il a été aussi observé que la distance ( $L/D$ ) influe fortement sur coefficient de portance de cylindre inférieur

Finalement Les travaux précédents concernant l'écoulement autour de deux cylindres circulaires identifient les différents régimes d'interférences sont basés principalement sur une visualisation expérimentale de l'écoulement

Ce mémoire comporte trois chapitres. Le premier chapitre est basé sur des généralités sur les nanofluides et l'écoulement autour de deux cylindres en arrangement vertical et une synthèse bibliographique des différents travaux extérieurs. Dans le deuxième chapitre on présente le formalisme mathématique de cette étude et le chapitre trois en commence la simulation et donne les résultats.

**CHAPITRE I :**  
**RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.1. Généralités sur les nanofluides :

Les nanofluides sont des solutions colloïdales composées de particules de taille nanométrique (nanoparticules) en suspension dans un liquide qui s'appelle un liquide de base. Leurs propriétés thermiques étonnantes en ont fait l'objet d'intense investigation durant la dernière décennie.

## I.2. Etat de l'art :

Au cours des 10 dernières années, une nouvelle classe de fluides constitués de nanoparticules métalliques en suspension dans un liquide, appelés nanofluides, est apparue. Les nanoparticules les plus utilisées dans la recherche sur les nanofluides sont  $Al_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $TiO_2$ ,  $Ag$ ,  $Au$ ,  $Cu$ ,  $Fe$ ,  $MgO$

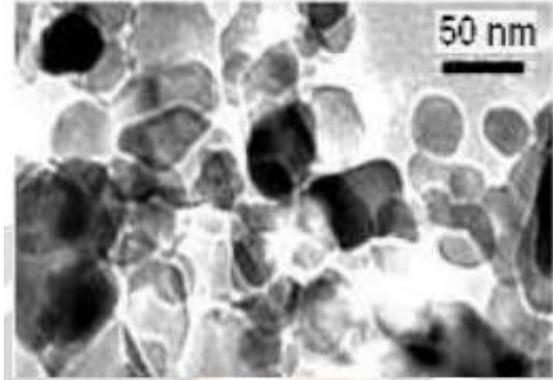
Nanofluide, un nom conçu par le Dr Choi, au Laboratoire national d'Argonne, pour décrire un fluide constitué de nanoparticules solides d'une taille inférieure à 100 nm en suspension avec des fractions volumiques solides généralement moins de 4 % [1]. Les nanofluides sont synthétisés en suspendant des nanoparticules de métaux et oxydes métalliques [2]. Le terme « nanomatériaux » englobe un large éventail de matériaux, notamment : matériaux nanocristallins, nanocomposites, nanotubes de carbone et points quantiques. Xuan et Li [3] a expliqué qu'en raison de ses caractéristiques nanostructurales, les nanomatériaux présentent des propriétés améliorées (mécanique, thermique, physique, chimique), phénomène et procédés que les matériaux conventionnels.

Les particules de micro-taille aident à améliorer la conductivité thermique et le transfert de chaleur par convection des liquides lorsqu'il est mélangé avec des fluides de base [4]. Pendant ce temps, le trajet du fluide est perturbé et une perte de charge élevée s'est produite en raison de la sédimentation, usure excessive et colmatage dû à des particules de micro-taille. Ceux-ci les problèmes sont surmontés et des améliorations des propriétés thermiques sont obtenues en utilisant des nanofluides.

Dans les nanofluides, les nanoparticules de (1-100 nm) et de fluide de base mélangés à fond sont identifiées par Choi dans l'année 1995 [5] & [6] au Laboratoire National d'Argonne.

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

C'est la première pierre de mile dans la technologie de transfert de chaleur nano fluide qui fournit une meilleure thermique propriété que les particules de micro-taille [7].



**Figure I.1** : Vue schématique de Nanofluide [8]

## I.3. Préparation des nanofluides

La préparation des nanofluides est la première étape clé de l'application de particules de nanophase pour modifier la chaleur performance de transfert des fluides conventionnels. Le nanofluide ne se réfère pas simplement à un mélange liquide - solide. Certaines exigences spéciales sont nécessaires, telles que la suspension uniforme, la suspension stable, suspension durable, faible agglomération des particules, pas de changement chimique du fluide. En général, ces sont des méthodes efficaces utilisées pour la préparation des suspensions :

- Pour modifier la valeur du pH des suspensions
- Pour utiliser des activateurs de surface et/ou des dispersants
- Pour utiliser les vibrations ultrasonores

Généralement, nous utilisons deux types de technique. Les techniques suivantes sont décrites ci-dessous :

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.3.1. Procédé en une étape (one-step méthode) [9]:

Consiste à la dispersion des nanoparticules directement dans un fluide de base (synthèse direct dans un fluide de base). Le processus en une étape consiste à produire et à disperser simultanément les particules dans le fluide. Dans cette méthode, les processus de séchage, de stockage, de transport et de dispersion des nanoparticules sont évités, de sorte que l'agglomération des nanoparticules est minimisée et la stabilité des fluides augmente.

## I.3.2. Procédé en deux étapes (two-step méthode) [9] :

La première étape consiste à fabriquer les nanoparticules, et dans seconde étape les nanoparticules sont disperser dans un fluide de base. Les nanoparticules, les nanofibres, les nanotubes, ou d'autres nanomatériaux utilisés dans cette méthode sont d'abord produits sous forme de poudres sèches par des procédés chimiques ou physique.

## I.4. Nanoparticules et le fluide porteur :

Une nanoparticule est une particule qui correspond à un milliardième de mètre. Elle peut être naturelle ou artificielle et possède généralement des propriétés spécifiques.

Les nanoparticules se situent à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique ou moléculaire. Elles ont un intérêt à la fois fondamental et appliqué sont très étudiées de nos jours.

Les nanoparticules utilisées pour obtenir des nanofluides sont :

- ❖ Les nanoparticules des oxydes métalliques :
  - L'oxyde d'aluminium,  $\text{Al}_2\text{O}_3$
  - L'oxyde de cuivre,  $\text{CuO}$ .
  - L'oxyde de titanium,  $\text{TiO}_2$ .
  - L'oxyde de magnésium,  $\text{MgO}$ .

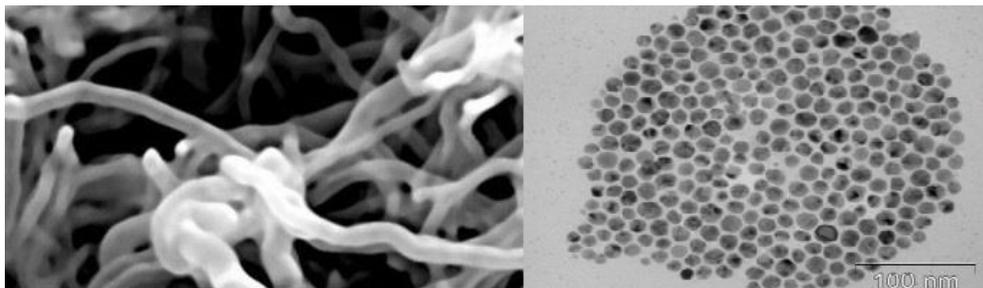
# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

- ❖ Les nanoparticules métalliques :
  - L'aluminium, Al.
  - Le cuivre, Cu.
  - L'or, Au.
  - L'argent, Ag.
  
- ❖ Les nanoparticules non métalliques :
  - Les nanotubes de carbone, CNT
  - Le diamant, C.
  
- ❖ Les liquides de base les plus utilisés sont :
  - L'eau.
  - Les huiles.
  - Le toluène.
  - L'éthylène-glycol, EG

## I.4.1 Types de nanoparticules :

Les nanoparticules les plus couramment utilisées dans les applications liées aux transferts thermiques :

- les nanomatériaux à base de carbone par exemple: (Carbone nanotubes)
- les Nanomatériaux à base de métaux (oxydes métalliques tels que les oxydes d'aluminium)



**Figure I.2 :** Carbone nanotubes [10] ; Nanomatériaux à base de métaux [11]

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.4.2 Propriétés et Caractéristique :

Le concept d'ajout de petites particules solides dans un fluide de base pour augmenter la conductivité thermique du la suspension est pratiquée depuis longtemps [12]. Les propriétés des nanofluides sont : la viscosité, Chaleur spécifique, conductivité thermique et stabilité

Ces propriétés jouent un rôle très important dans préparation de nanofluides. Les propriétés sont discutées ci-dessous :

### ➤ Viscosité :

La convection thermique dans les nanofluides est limitée par rapport à celle dans les la conductivité, les résultats et les approches dans le domaine sont assez divers, et méritent d'être mentionnés [13]. Cependant, la compréhension des questions de convection est strictement liée à la viscosité de la nanofluides.

Cependant, la viscosité de cisaillement relative (obtenue par normalisation par rapport à la viscosité de cisaillement de liquide de base) dépend de manière non linéaire de la charge en nanoparticules et est étonnamment indépendant de température. Il a été démontré que la viscosité élevée de cisaillement des nanofluides était conforme à la prédiction de l'Équation de Krieger-Dougherty [14] si la fraction volumique des nanoparticules est remplacée par la concentration de grappes de nanoparticules.

### ➤ La conductivité thermique :

La conductivité thermique du nanofluide est fortement dépendante de la fraction volumique des nanoparticules. Jusqu'à présent, il a été un problème non résolu de développer une théorie sophistiquée pour prédire la conductivité thermique des nanofluides, bien qu'il existe une certaine corrélation semi-empirique pour calculer la conductivité apparente d'un mélange biphasé. Sur la base de la définition suivante de la conductivité thermique effective pour un mélange à deux composants

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I. 1 Conductivité thermique de divers fluides de base et matériaux à 20°C [15]

Élément	Conductivité thermique K (W/m.K)
Eau	0.599
Éthylène glycol	0.25
Cuivre (métal pur)	401
Alumine (AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	40
Huile de moteur	0.14
Mgo	46

## ➤ Stabilité des nanofluides :

Ilya des nombreuses méthodes ont été développées pour évaluer la stabilité des nanofluides. La méthode la plus simple est méthode de sédimentation [16]. Le poids des sédiments ou le volume sédimentaire des nanoparticules dans un nanofluide sous un champ de force externe est une indication de la stabilité du nanofluide caractérisé. La variation de la concentration ou de la taille des particules surnageâtes avec le temps des sédiments peut être obtenu par un appareil spécial [17]. Les nanofluides sont considérés comme stables lorsque le la concentration ou la taille des particules surnageâtes reste constante

## I.5. Art et revue bibliographique :

### I.5.1 Intérêt de l'écoulement autour de deux cylindres :

L'écoulement laminaire ( écoulement autour de deux cylindres ) et bidimensionnel autour de deux cylindres circulaires en tandem est simulé numériquement, en adoptant une méthode de résolution totalement couplée [18]. pour un nombre de Reynolds de 100, basé sur le diamètre D des cylindres et la vitesse amont U<sub>0</sub>. L'arrangement de cylindres en tandem apparaît fréquemment en ingénierie et a fait l'objet de nombreuses investigations expérimentales [19].

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.5.2 Méthode de résolution implicite totalement couplée :

Une méthode de résolution implicite totalement couplée permet de résoudre les équations de Navier–Stokes, [18]. La discrétisation des équations, du second ordre en espace et en temps, s'appuie sur la technique des volumes finis. Les variables de vitesse et pression sont situées au centre des volumes de contrôle (CVs). L'intégration temporelle est réalisée par un graphe de type Euler implicite et les flux dispersés aux interfaces (CVs) sont estimés par un graphique de différence central où la pression est calculée par interpolation linéaire.

## I.5.3 Régime d'écoulement :

En physique, l'écoulement de fluide a toutes sortes d'aspects "stable ou instable", "compressible ou incompressible", "visqueux ou non visqueux", et "rotationnel ou irrotationnel", pour n'en nommer que quelques-uns. Certaines de ces caractéristiques reflètent les propriétés du liquide lui-même, et d'autres se concentrent sur la façon dont le fluide se déplace [20].

On peut classer les régimes d'écoulement dans le milieu poreux selon le nombre de Reynolds ( $Re$ ), en trois régimes principaux :

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

$\rho$  : masse volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  : viscosité dynamique (kg/m.s ou Pa.s)

$V$  : vitesse moyenne d'écoulement (m/s)

$L$  : la longueur caractéristique (m)

- Si  $Re < 2000$ , le régime est laminaire
- Si  $Re > 3000$ , le régime est turbulent
- Si  $2000 < Re < 3000$ , le régime est transitoire

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.5.4 Les problèmes impliquant une turbulence des fluides :

Débit stable ou instable : L'écoulement du fluide peut être stable ou instable, selon la vitesse du fluide :

- **Stable** : Dans un écoulement de fluide régulier, la vitesse du fluide est constante en tout point.
- **Instable** : Lorsque l'écoulement est instable, la vitesse du fluide peut différer entre deux points quelconques.

Par exemple : supposons que vous soyez assis au bord d'un ruisseau et que vous remarquiez que le débit d'eau n'est pas stable: vous voyez des tourbillons, des lavages à contre-courant et toutes sortes de tourbillons. Imaginez des vecteurs de vitesse pour cent points dans l'eau, et vous obtenez une bonne image de l'écoulement instable, les vecteurs de vitesse peuvent pointer sur toute la carte, bien que les vecteurs de vitesse suivent généralement le débit moyen global du cours d'eau.

**Débit compressible ou incompressible** : Le débit de fluide peut être compressible ou incompressible, selon que vous pouvez facilement compresser le fluide. Les liquides sont généralement presque impossibles à comprimer, tandis que les gaz (également considérés comme un fluide) sont très compressibles.

Le système hydraulique ne fonctionne que parce que le fluide n'est pas compressible, c'est-à-dire que lorsque la pression augmente à un point du système hydraulique la pression augmente pour s'adapter partout dans l'ensemble du système. D'autre part, les gaz sont hautement compressibles, même lorsque votre pneu de vélo est étiré à son maximum, vous pouvez toujours pomper plus d'air en appuyant et en appuyant sur le piston.

**Écoulement visqueux ou non visqueux** : La viscosité est une mesure de l'épaisseur d'un fluide, et les fluides très collants tels que l'huile à moteur ou le shampoing sont appelés fluides visqueux. Lorsqu'un fluide s'écoule, les couches de fluide frottent les unes contre les autres, et dans les fluides très visqueux, le frottement est si important que les couches d'écoulement se tirent les unes contre les autres et entravent cet écoulement

# CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La viscosité varie généralement avec la température, car lorsque les molécules d'un fluide se déplacent plus rapidement (lorsque le fluide est plus chaud), les molécules peuvent plus facilement glisser les unes sur les autres. Ainsi, lorsque vous versez du sirop de crêpes, par exemple, vous remarquerez peut-être qu'il est très épais dans la bouteille, mais le sirop devient assez liquide lorsqu'il se répand sur les crêpes chaudes et se réchauffe.

**Écoulement rotationnel ou irrotationnel :** Si, lorsque vous voyagez en boucle fermée, vous additionnez toutes les composantes des vecteurs de vitesse du fluide le long de votre trajet et que le résultat final n'est pas nul, alors le flux est rotatif, pour tester si un flux a une composante de rotation, vous pouvez placer un petit objet dans le flux et le laisser porter. Si le petit objet tourne, le flux est rotatif; si l'objet ne tourne pas, le flux est irrotationnel.

Par exemple : regardez l'eau qui coule dans un ruisseau. Il tourbillonne autour des pierres, s'enroule autour des obstacles. À de tels endroits, le débit d'eau a une composante rotative.

## I.5.5 Écoulement en régime laminaire -l'eau- ( $Re < 2000$ ) :

La gravité est la force externe principale qui contrôle l'écoulement de l'eau souterraine dans les interstices des roches; l'écoulement peut être laminaire ou turbulent. La distinction se fait donc à l'aide du nombre de Reynolds ( $Re < 2000$ ). L'écoulement laminaire se caractérise par des lignes de courant individualisées, avec en tout point une direction d'écoulement constante dans le temps. Il en résulte que pour l'eau, l'écoulement reste laminaire tant que la vitesse n'excède pas  $1,7 \cdot 10^{-4}$  m/sec (0,17mm/sec), soit la grande majorité des aquifères à l'exception des cônes de rabattement.

### I.1 Les régimes transitoires ( $2000 < Re < 3000$ ) :

Les régimes transitoires correspondent à l'évolution d'un système d'un état initial (permanent ou en équilibre) vers un état final (permanent ou en équilibre) provoquée par un changement à l'instant initial des sources.

## CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

le champ de température  $T(M,t)$ , dépend du champ de température initial  $T(M,0)$  mais l'influence de celui-ci s'estompe avec le temps. A l'instant initial, au moins une source change, par contre elles demeurent constantes ensuite. Les régimes transitoires ne doivent pas être confondus avec les régimes variables pour lesquels les sources évoluent au cours du temps [21].

# **CHAPITRE II :**

## **FORMULES MATHÉMATIQUES**

# CHPITRE II : FORMULE MATHÉMATIQUES

## II.1 Introduction :

L'écoulement de base est obtenu on résolvant les équations de quantité de mouvement et d'énergie. L'équation de mouvement sont réduites a un système d'équation ordinaire qui ce présent sous forme d'un problème aux valeurs limites.

Danc ce chapitre, on présenter les equations mathématique gouvernantes.

## II.2 Nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Ce nombre sans dimension apparaît en adimensionnant les équations de Navier-Stokes. il peut être exprimé comme :

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (\text{II.1})$$

$\rho$  : masse volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  : viscosité dynamique (kg/m.s ou Pa.s)

V : vitesse moyenne d'écoulement (m/s)

L : la longueur caractéristique (m)

## II.3 Notions sur l'écoulement autour des obstacles :

Les études traitent le problème de l'écoulement de fluide autour des corps est l'un des phénomènes importante qui a été étudié dans le domaine de la mécanique des fluide. Ces dernières années, les études ont suscité un intérêt considérable et beaucoup d'attention en raison d'améliorations des techniques de mesure expérimentales.

Le phénomène d'instabilité de Bénard-Von Karman est l'un des problèmes les plus classiques de mécanique des fluides. C'est le modèle le plus simpliste permettant une approche concrète des phénomènes de turbulence générés par la présence d'un obstacle sur le trajet d'un écoulement laminaire. Son étude connaît depuis quelques années un nouvel engouement lié à la possibilité de modifier l'écoulement en faisant osciller l'obstacle. Von Karman a placé un obstacle cylindrique sur le trajet d'un écoulement parallèle. Selon le nombre de Reynolds  $Re$  de l'écoulement on observe des comportements distincts. Pour les valeurs de  $Re$  faibles, l'écoulement est laminaire.

## CHPITRE II : FORMULE MATHÉMATIQUES

Pour les valeurs de  $Re > 46$  on obtient ce que l'on appelle une allée tourbillonnaire alternée de Bénard-Von Karman

### II.4 Domaines d'application :

Parmi les applications des l'obstacle on peut citer : les profils NACA d'une l'aille d'avion. Les types de refroidissement dans les échangeurs et radiateurs, les aubes d'une turbine industrielle qui entraînent les bateaux.

### II.5 Formulations mathématiques :

L'écoulement d'un fluide visqueux autour d'un obstacle est régit par les équations classiques de mécanique des fluides, à savoir les équations de continuité et de quantité de mouvement. De ce fait, la modélisation numérique du problème physique doit impérativement passer par la résolution numérique de ses équations.

#### II.5.1 Equation de continuité :

L'équation de la continuité doit traduire le principe de conservation de la masse. Elle traduit mathématiquement le fait que la masse contenue dans un volume de contrôle est conservée, donc la masse est conservée au cours du temps. La forme générale de cette équation est donnée par l'expression suivante :

$$d\rho/dt + \rho \times \text{div} \vec{V} = 0 \quad (\text{II.2})$$

Ou,

$\vec{V}$  est le vecteur vitesse de l'écoulement exprime en (m/s) tel que :  $\vec{V} = U_x + V_y$

$U_x, V_y$  sont les composantes de vecteur de la vitesse d'écoulement dans les directions X et Y, respectivement.  $\rho$  est la masse volumique du fluide ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

Si le fluide est incompressible, la masse volumique  $\rho$  est constante et on aura :

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.3})$$

L'équation de continuité pour un écoulement incompressible bidimensionnel s'écrit sous la forme :

## CHPITRE II : FORMULE MATHÉMATIQUES

$$\operatorname{div}\vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.4})$$

Donc :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.5})$$

### II.5.2 Equations de quantité de mouvement :

Les équations de quantité de mouvement (ou de Navier Stokes) sont des équations aux dérivées partielles non linéaires qui sont censées décrire le mouvement des fluides newtoniens dans l'approximation des milieux continus. La forme générale de ces équations est présentée comme suit :

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \vec{f} - \overrightarrow{\operatorname{grad} p} + \mu \Delta \vec{v} \quad (\text{II.6})$$

Et qui peut s'exprimer comme suit :

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{f} - \frac{1}{\rho} \overrightarrow{\operatorname{grad} p} + \nu \Delta \vec{v} \quad (\text{II.7})$$

Dans la précédente équation :

$\nu$  représente la viscosité cinématique ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ).

$\mu$  représente la viscosité dynamique ( $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ).

$\rho$  désigne la masse volumique du fluide ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

$P$  représente la pression exercée par une force  $F$  sur une surface  $S$  exprimée en ( $N/m^2$ ).

$\vec{f}$  Désigne la résultante des forces massiques s'exerçant dans le fluide.

Si on suppose que l'écoulement est bidimensionnel et incompressible, nous projetons l'équation II.5 sur les axes X, Y, et étant donné que  $U_X$ ,  $V_Y$  sont les composantes de vitesse selon X, Y respectivement, donc nous obtenons :

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + U \frac{\partial u}{\partial x} + V \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.8})$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + U \frac{\partial v}{\partial x} + V \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.9})$$

## CHPITRE II : FORMULE MATHÉMATIQUES

La force exercée sur un corps par un fluide en écoulement dans la même direction que l'écoulement est appelée traînée . La force de traînée est due aux effets combinés de la pression et aux contraintes visqueuses agissant sur le corps. D'une façon générale, l'effet du fluide peut commodément être résolu dans deux composantes, la normale de pression  $p$  sur la surface et effort de cisaillement le long de la surface.

Traînée : composante parallèle à la vitesse de l'écoulement à l'infini.

Portance : composante perpendiculaire

Le coefficient de traînée  $C_D(t)$  dépendant du temps et le coefficient de portance  $C_L(t)$  de cylindre sont obtenus en intégrant la pression instantanée et vorticité sur la surface du cylindre .

$$C_l(t) = \frac{F_l(t)}{0,5\rho DU_2^2} = - \int_0^{2\pi} P(t) \sin \theta d\theta - \int_0^{2\pi} \frac{1}{Re} \omega(t) \cos \theta d\theta \quad (\text{II.10})$$

$$C_d(t) = \frac{F_d(t)}{0,5\rho DU_2^2} = - \int_0^{2\pi} P(t) \cos \theta d\theta - \int_0^{2\pi} \frac{1}{Re} \omega(t) \sin \theta d\theta \quad (\text{II.11})$$

où

$F_d(t)$  et  $F_l(t)$  sont les forces totales de traînée et de portance, respectivement;  $\rho$  est la densité du fluide;  $\theta$  est un angle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, mesurée à partir de la direction positive de l'axe des  $x$  à la ligne qui relie le centre du cylindre et un point sur la surface du cylindre; et  $\omega(t)$  est la vorticité locale, est :

$$\omega(t) = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (\text{II.12})$$

Le coefficient de traînée moyen  $\overline{C_D}$  est exprimé par :

$$\overline{C_d} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t_1}^{t_2} C_d(t) dt \quad (\text{II.13})$$

où  $\Delta T = t_2 - t_1$  est la période de temps intégrale lorsque le temps L'historique du coefficient de traînée est stable. De même, la portance moyenne Le coefficient  $\overline{C_L}$  peut être définie comme suit :

$$\overline{C_l} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t_1}^{t_2} C_l(t) dt \quad (\text{II.14})$$

## CHAPITRE II : FORMULES MATHÉMATIQUES

### II.6 Propriétés thermophysique :

L'introduction de nanoparticules solides dans un fluide modifie ses propriétés physiques et en particulier sa conductivité et sa viscosité [22]. Cette conductivité dépend bien entendu de la nature de chacune des phases en présence. De la concentration volumique en nanoparticules dans le liquide porteur et de la température de l'ensemble.

#### II.6.1 La conductivité thermique $K_{nf}$ [22],[23]:

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2(k_f - k_s)\varphi}{k_s + 2k_f + (k_f - k_s)\varphi} \quad (\text{II.15})$$

#### II.6.2 La fraction volumique ( $\varphi$ ) [24]:

La fraction volumique  $\varphi$  d'une espèce chimique correspond au rapport du volume occupé par cette espèce chimique par le volume total du mélange auquel elle appartient.

$$\varphi = \frac{V_n}{V_{tot}} \quad (\text{II.16})$$

#### II.6.3 La masse volumique ( $\rho$ ) :

La masse volumique d'une substance, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse de cette substance par unité de volume

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi) \rho_f + \varphi \rho_s \quad (\text{II.17})$$

$\rho_{nf}$  : La masse volumique du nanofluide.

$\rho_f$  : la masse volumique du fluide de base.

$\rho_s$  : la masse volumique des nanoparticules.

## CHAPITRE II : FORMULES MATHÉMATIQUES

### II.6.4 Coefficient d'expansion volumique ( $\beta$ ) :

Pour calcul la valeur de ce coefficient pour les nanofluides, de très nombreux auteurs ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nanofluides et par analogie avec la relation (II.4), on déduit l'expression suivante :

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi) \beta_f + \varphi \beta_s \quad (\text{II.18})$$

$\beta_{nf}$  : Le coefficient de dilatabilité du nanofluide

$\beta_f$  : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

$\beta_s$  : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules.

### II.6.5 La chaleur massique ( $C_p$ )<sub>nf</sub> [25] :

La chaleur massique ou chaleur spécifique, est la capacité thermique d'un matériau rapportée à sa masse.

$$C_{p_{nf}} = (1 - \varphi) C_{p_f} + \varphi C_{p_s} \quad (\text{II.19})$$

$C_{p_{nf}}$  : La chaleur massique du nanofluide.

$C_{p_f}$  : La chaleur massique du fluide de base.

$C_{p_s}$  : La chaleur massique des nanoparticules.

### II.6.6 La viscosité thermique $\mu_{nf}$ [26] :

La viscosité peut être définie comme l'ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide pour un écoulement avec ou sans turbulence. La viscosité diminue la liberté d'écoulement du fluide et dissipe son énergie.

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \varphi)^{2.5}} \quad (\text{II.20})$$

**CHAPITRE III :**  
SIMULATION NUMERIQUE PAR ANSYS ET  
RESULTATS

### III.1 Généralité sure ANSYS :

ANSYS, Inc. est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique. contient deux logiciels de dynamique des fluides computationnelle de pointe différents pour l'optimisation de la conception de processus et de produits. L'un est ANSYS Fluent tandis que l'autre est l'ANSYS CFX. Dans cette section, nous examinerons les conceptions et les fonctionnalités d'ANSYS CFX [27].

### III.2 ANSYS CFX :

ANSYS CFX est un programme de dynamique des fluides computationnelle haute performance à usage général qui est utilisé pour résoudre des problèmes complexes de fluides à large gamme depuis plus de deux décennies maintenant. Au cœur de l'ANSYS CFX se trouve sa technologie de solveur innovante qui est la principale force motrice pour obtenir des résultats très fiables et précis d'une manière beaucoup plus efficace par rapport aux autres solveurs CFD. Le solveur avancé ANSYS CFX jette les bases des utilisateurs sur un choix abondant de modèles physiques pour capturer pratiquement tout type de phénomène lié à l'écoulement des fluides. Qu'il soit turbulent à l'écoulement laminaire ou entièrement compressible à fluide incompressible ou qu'il soit des fluides brûlants ou non réactifs, les capacités du solveur ANSYS CFX couvrent presque tout le spectre des simulations de dynamique des fluides [27].

### III.3 Les Matère Utiliséé pour la simulation :

Les propriétés des matières constituent les caractéristiques structurelles des pièces d'un modèle dans le cadre d'une simulation. Chaque simlation peut avoir un jeu différent de matières pour chaque composant. Comme les oxydes métalique ont été largement utilisés comme phase solide pour la formulation de nanofluides en raison de leurs avantages tels qu'une densité relativement plus faible, une stabilité chimique et une facilité de préparation.

Dans cette études s'intéresse aux nanoparticules d'oxyde de magnésium (MgO) avec l'eau grace a leurs propriétés thermophysiques importante

Tableau III.1 : Propriétés Thermophysiques de l'eau et de Mgo

	$C_P$ (J/kg.K)	$K$ (W/m.k)	$\rho$ ( kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa.s)	$\beta$ (10 <sup>-6</sup> /K)
<i>Mgo</i>	765	46	3600	/	6.3
<i>EAU</i>	4179	0.6	997.1	0.001003	210

### III.4 Propriétés de nanofluide :

#### III.4.1 La conductivité thermique $K_{nf}$ :

$$\frac{k\eta_f}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2(k_f - k_s)\varphi}{k_s + 2k_f + (k_f - k_s)\varphi} \quad (III.1)$$

$$K_{nf} = K_f = 0.6 \text{ W/m.k}$$

#### III.4.2 La viscosité thermique $\mu_{nf}$ :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\varphi)^{2.5}} \quad (III.2)$$

$$\mu_{nf} = \mu_f = 0.001003 \text{ Pa.s}$$

#### III.4.3 La masse volumique $\rho_{nf}$ :

$$\rho_{nf} = (1-\varphi)\rho_f + \varphi\rho_s \quad (III.3)$$

$$\rho_{nf} = \rho_f = 997.1 \text{ kg/m}^3$$

#### III.4.4 La chaleur massique ( $C_p$ )<sub>nf</sub> :

$$(Cp)_{nf} = (1-\varphi)(Cp)_f + \varphi(Cp)_s \quad (III.4)$$

$$(Cp)_{nf} = (Cp)_f = 4179 \text{ J/Kg.K}$$

**III.4.2 Coefficient d'expansion volumique  $\beta_{nf}$  :**

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi) \beta_f + \varphi \beta_s \quad (\text{III.5})$$

$$\beta_{nf} = \beta_f = 210 \cdot 10^{-6} / K$$

**III.5 Les résultats de calculs :**

Nous expliquerons cela dans un tableau :

**Tableau III.2 :** Vraiation de  $\varphi$  en fonction des propriétés physiques.

	$K_n (W/m.k)$	$\mu (Pa.s)$	$\rho (kg/m^3)$	$C_p (J/kg.K)$	$\beta (10^{-6}/K)$
$\varphi = 0.01$	0.617481	0.001028	1023.129	4144.86	207.963
$\varphi = 0.02$	0.635306	0.001054	1049.158	4110.72	205.925
$\varphi = 0.03$	0.653484	0.001082	1075.187	4076.58	203.889
$\varphi = 0.05$	0.690914	0.001140	1127.245	4008.3	199.815
$\varphi = 0.07$	0.729946	0.001202	1179.303	3940.02	195.741
$\varphi = 0.1$	0.791560	0.001305	1257.39	3837.6	189.63
$\varphi = 0.13$	0.857242	0.001420	1335.477	3735.18	183.519
$\varphi = 0.15$	0.903490	0.001505	1387.535	3666.9	179.445

### III.6 Simulation :

Mon travail a été fait avec un PC de spécification suivant : Un processeur i3-3310M avec 6GB de RAM et une cart graphique Intel HD 4000.

Cette simulation est construite en 4 parties principales : Géométrie, maillage, Solution, Résultats, j'ai fait la simulation en 2 cas à la distance  $L/D$  entre les deux cylindres en arrangement vertical 1<sup>er</sup> cas  $L/D = 2$  et le 2<sup>ème</sup> cas  $L/D = 4$ .

#### III.6.1 Géométrie :

On a commencé de définir le milieu étudié, c'est un espace en 2D de forme rectangulaire de longueur 80cm et de largeur 20cm. A l'intérieur il y a deux cylindres représentés par un cercle de diamètre 2cm (Figure III.1).

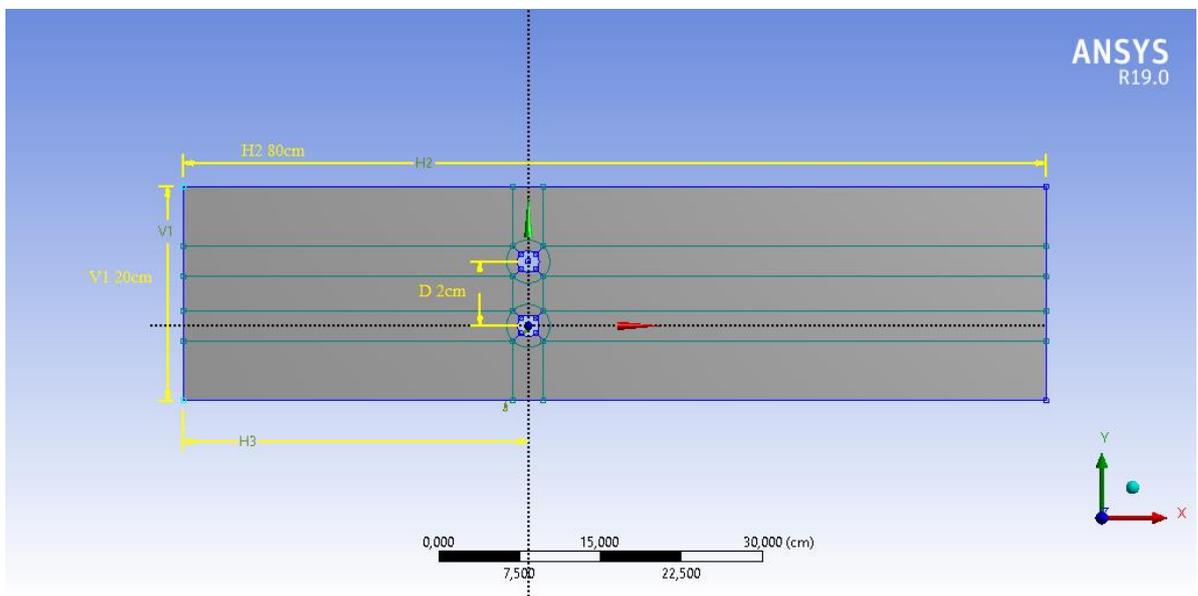


Figure III.1 : Esquisse d'espace de travail.

### III.6.2 Maillage :

Figure  
27/09/2022 11:29

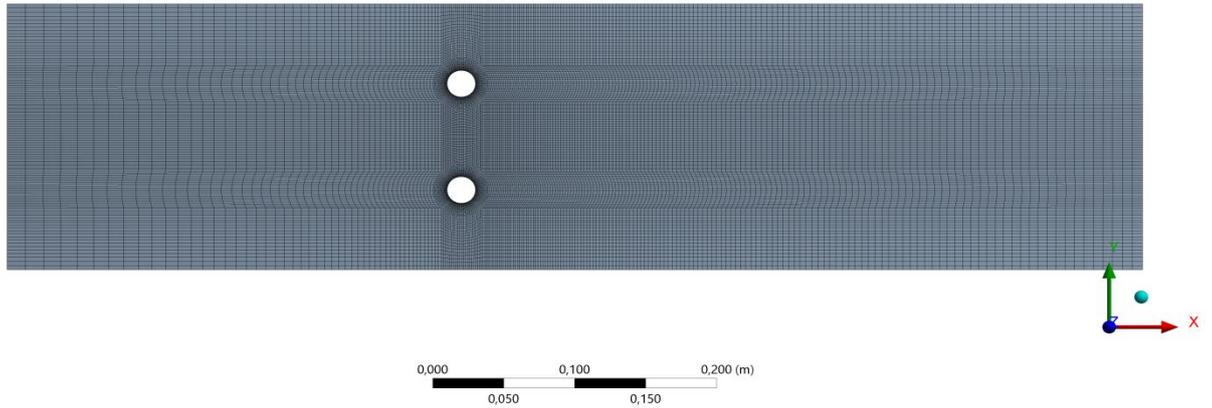


Figure III.2 : Le Maillage

### III.6.3 Résultats :

Les résultats des deux cas ont été développés sure l'Origin Pro 2016 pour tracer les graphes et voila le résultat que done :

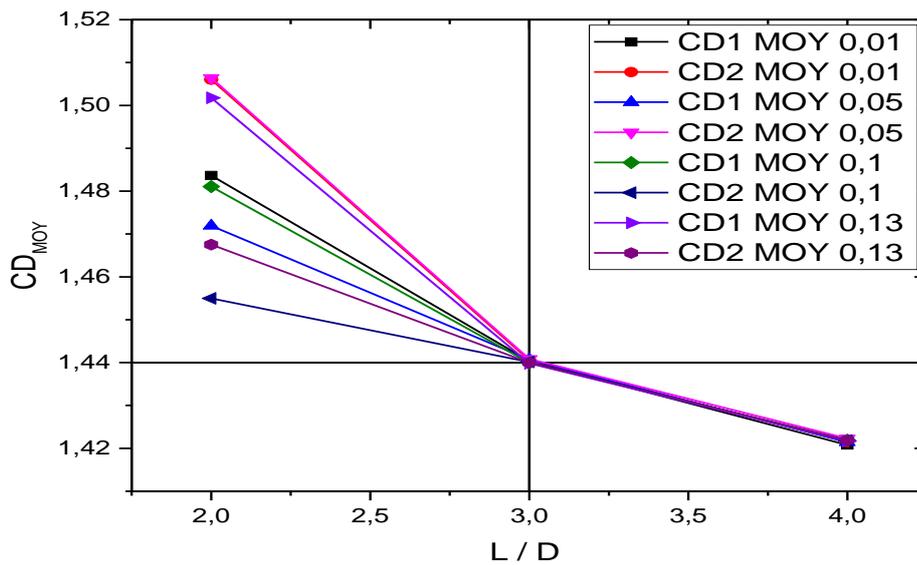
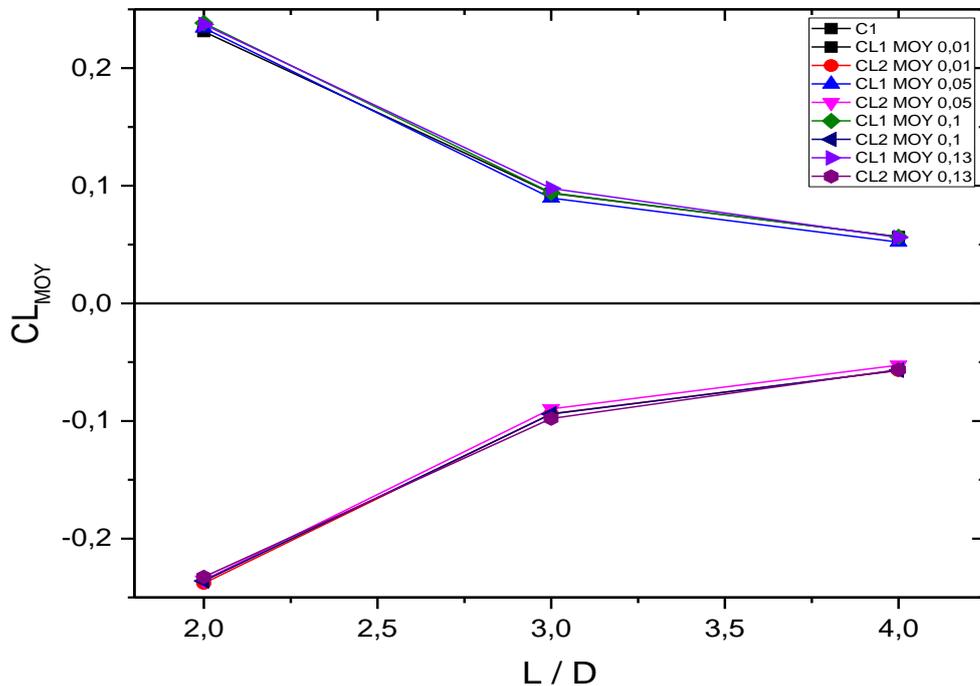


Figure III.3 : Variation de trainée moyenne ( $CD_{moy}$ ) en fonction du  $L/D$  de tous les cas

### CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE PAR ANSYS ET RESULTATS

La Figure III.3 montre la variation de la traînée moyenne ( $CD_{moy}$ ) pour tout les cas, on regarde que les point dans l'axe des X varie entre 2 et 4 et dans l'axe des Y est varie entre 1.51 et 1.45e est diminuer progressivement et recontre dans un point de  $CD_{moy} = 1.44$  et un point de  $L/D = 3$ . Et puis ca continue de diminure.

Le rapport  $L/D$  est également un facteur important qui peut affecter la traînée d'un objet. En général, les objets avec un  $L/D$  élevé ont tendance à avoir une traînée moindre que ceux avec un  $L/D$  plus faible, en raison d'une diminution de la résistance à l'écoulement



**Figure III.4 :** Variation de portance moyenne ( $CL_{moy}$ ) en fonction du  $L/D$  de tous les cas

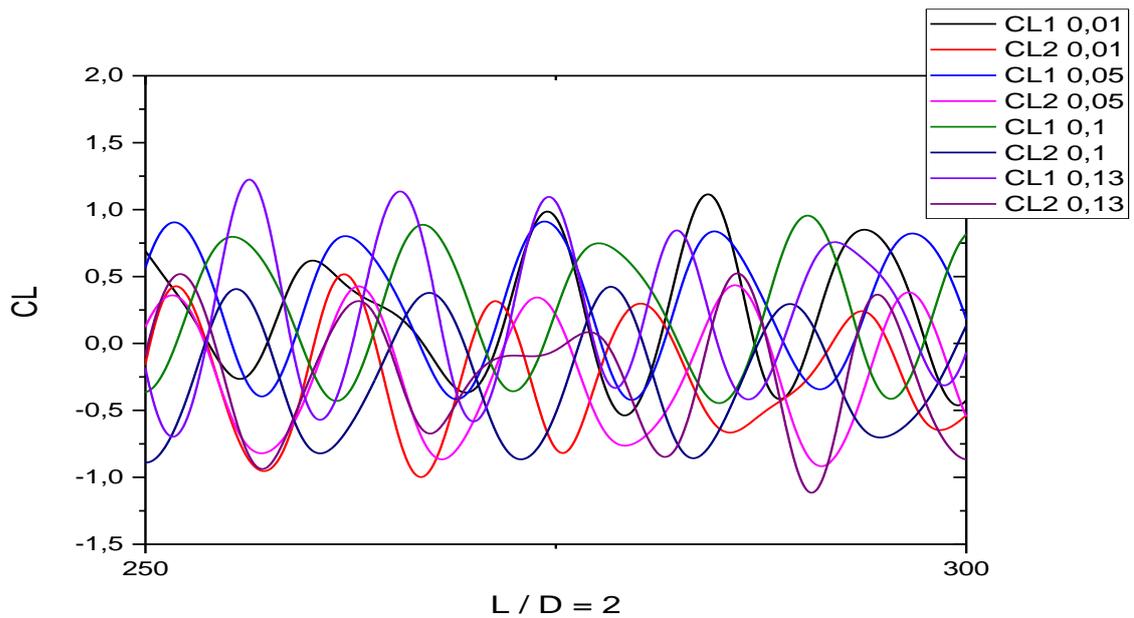
La Figure III.4 montre la variation de la portance moyenne ( $CL_{moy}$ ) pour tout les cas, on regarde que chaque  $CL1_{moy}$  prende une graphe inverse  $CL2_{moy}$  et presque symétrique ou l'écoulement augment dansle point  $L/D = 3$ .

On regarde dans les deux graphes l'effet de la distance  $L/D$  entre les deux cylindres et les forces effectives dans l'écoulement la portance et la traînée moyenne.

### CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE PAR ANSYS ET RESULTATS

Le rapport  $L/D$  peut avoir un impact sur la portance car il peut influencer la formation de tourbillons ou la traînée. Un  $L/D$  plus élevé peut favoriser la formation de tourbillons plus importants, ce qui peut entraîner une augmentation de la portance. Cependant, un  $L/D$  plus élevé peut également entraîner une augmentation de la traînée, ce qui peut réduire la portance nette.

**Cas 1 ( $L/D = 2$ )** : Graphe de la portance  $CL$  (Figure III.5). Et le Graphe de la traînée  $CD$  (Figure III.6).



**Figure III.5** : Variation de portance ( $CL$ ) en fonction du  $L/D$  de tous les cas.

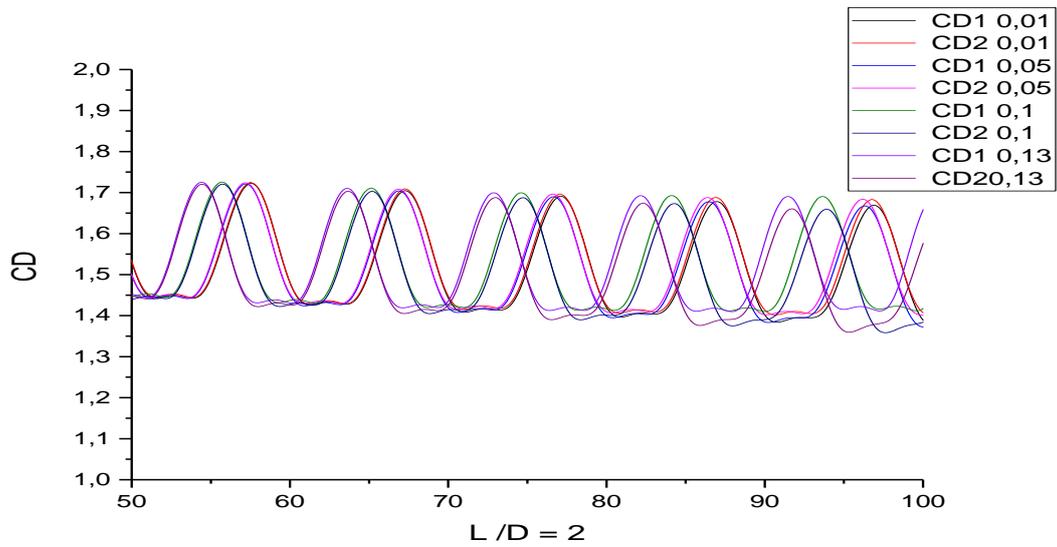


Figure III.6 : Variation de trainée (CD) en fonction du L/D de tous les cas.

Cas numéro 2 ( L/D = 4 ) :

Graphe de la portance CL (Figure III.7). Et le Graphe de la trainée CD (Figure III.8).

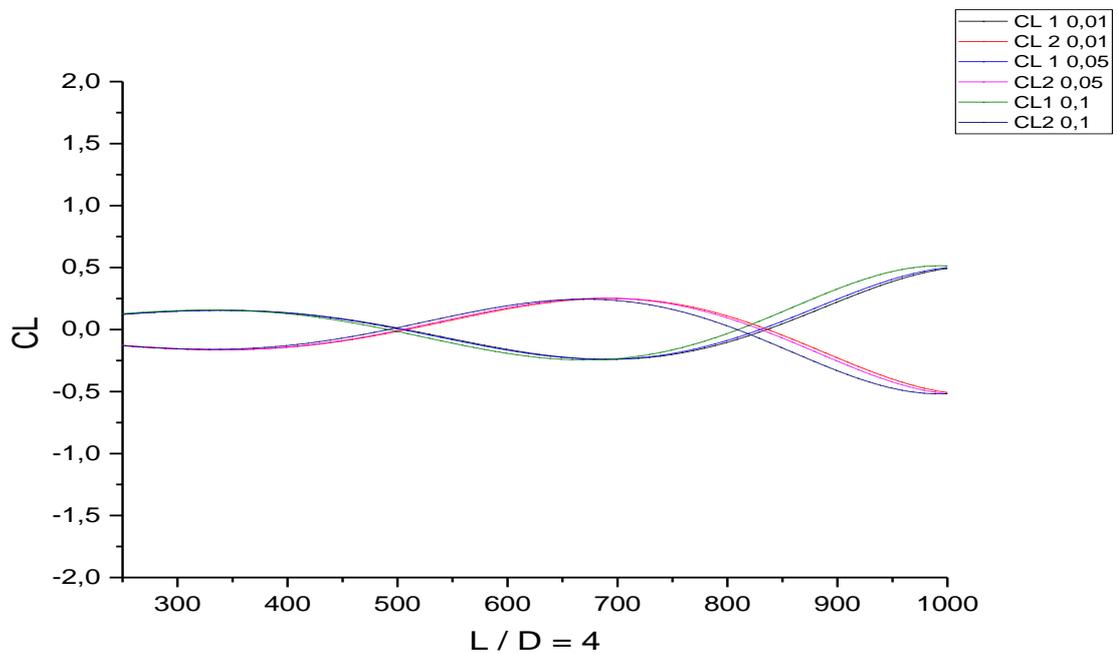
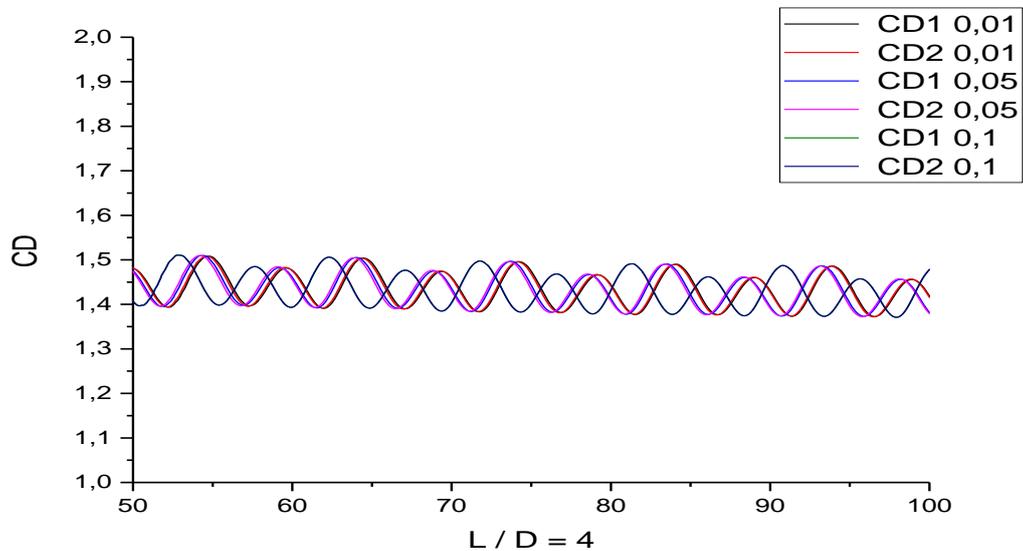


Figure III.7 : Variation de portance ( CL ) en fonction du L/D de tous les cas.



**Figure III.8 :** Variation de trainée ( $C_D$ ) en fonction du ( $L/D$ ).

Les Figures ci-dessus montre le résultat final de simulation et le dessin final des graphes de la portance et la trainée dans chaque cas, pour le 1er cas on regarde que la portance  $C_L$  est n'est pas stable et la distance  $L/D = 2$  a affecté sure l'écoulement, mais la trainée  $C_D$  elle continue régulièrement, et dans le 2eme cas ou la distance  $L/D = 4$  est n'est pas affecté sure l'écoulement elle continue régulièrement.

Si le rapport  $L/D$  élevé indique que l'objet est efficace en termes de portance et de traînée. on peut dire que ces nanoparticules modifient les propriétés des fluides, telles que la viscosité, la conductivité thermique et la densité, ce qui peut affecter la portance et le  $L/D$ .

A la fin on représenté la simulation avec des figures de chaque cas pour la vitesse et la vorticité :

Cas 1 :  $L/D = 2$  - vitesse -

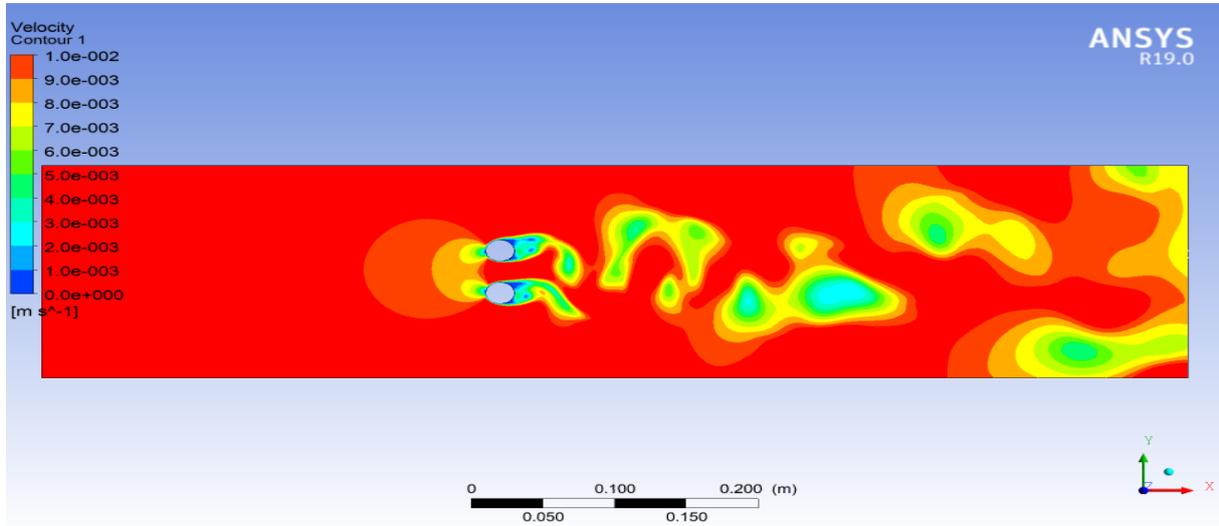


Figure III.9 : contour des vitesses le cas  $\varphi = 0.01$

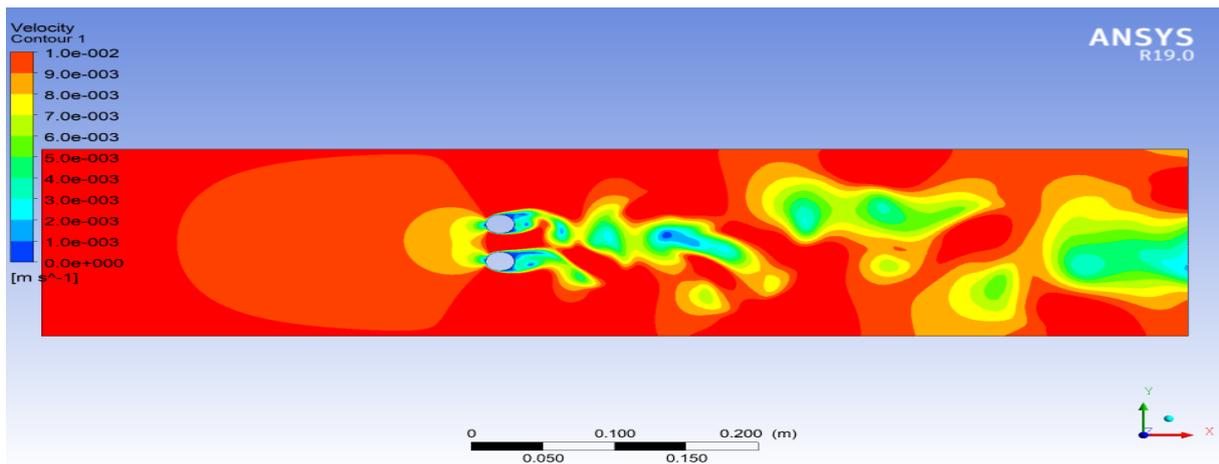


Figure III.10 : contour des vitesses le cas cas  $\varphi = 0.05$

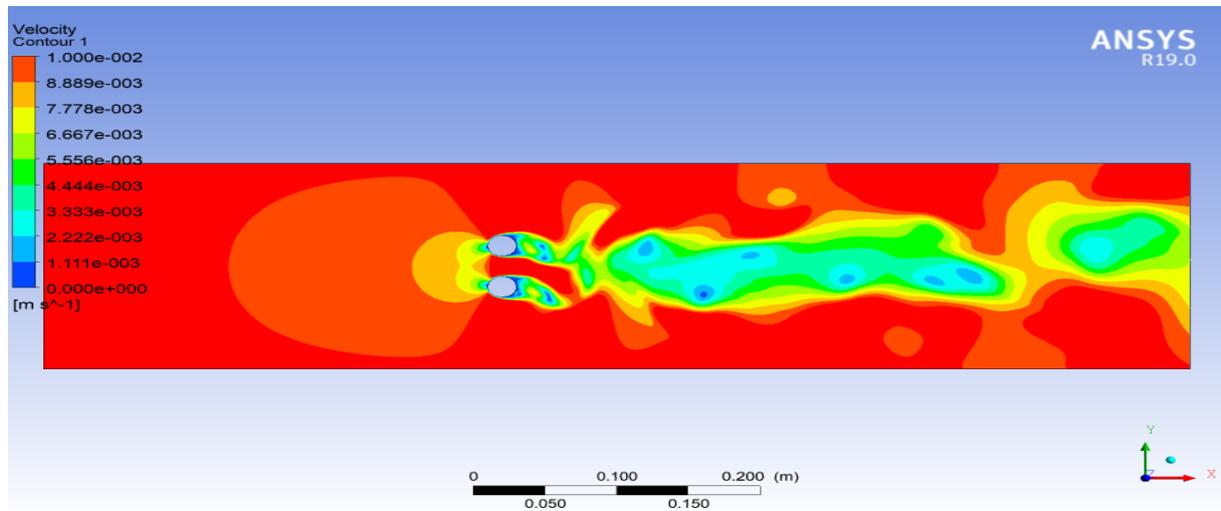


Figure III.11 : contour des vitesses le cas  $\varphi = 0.1$

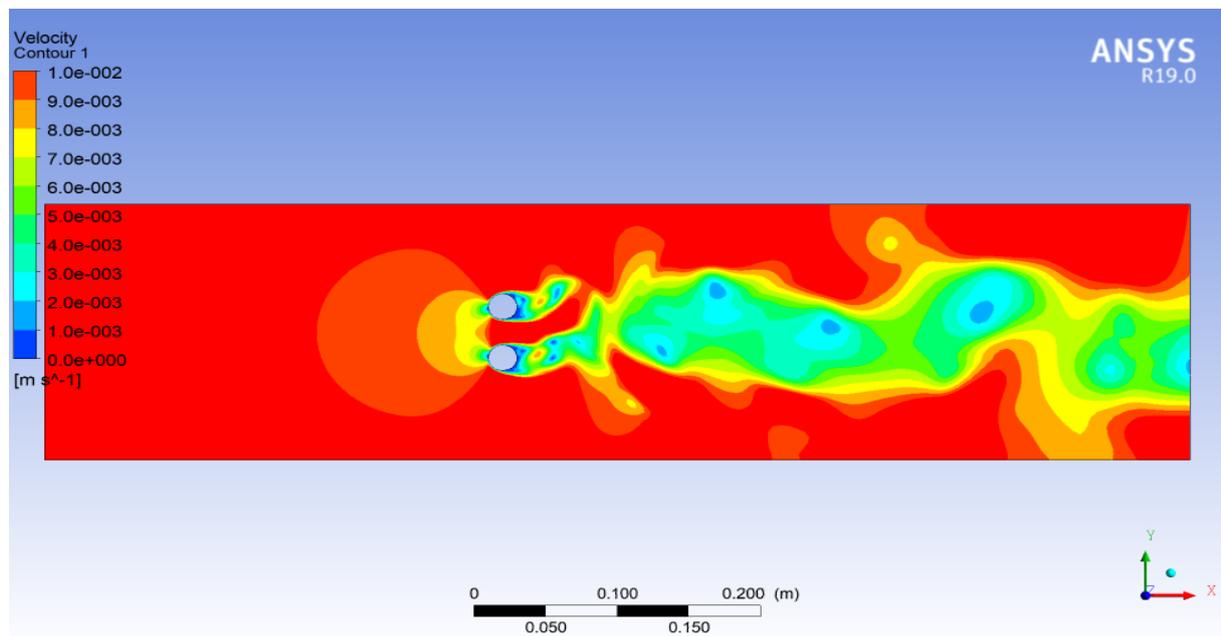


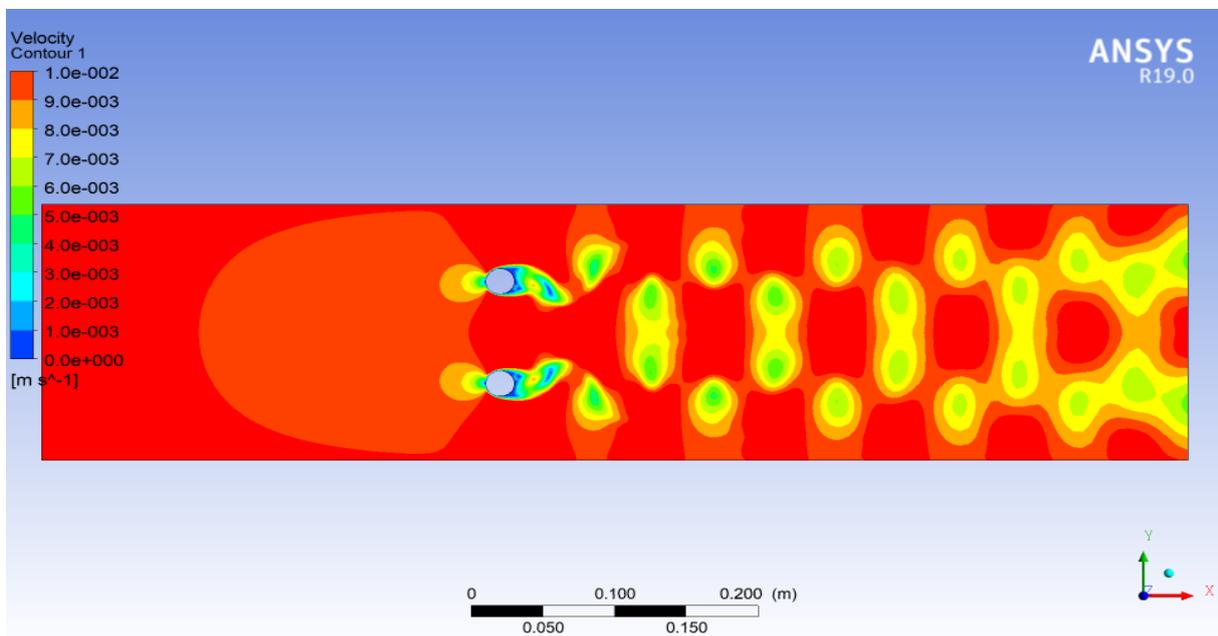
Figure III.12 : contour des vitesses le cas  $\varphi = 0.13$

La distance entre les deux cylindres donne une grande interférence totale formé un seul sillage et donne une sillage irrégulière

L'effet de la vitesse sur l'écoulement nanofluide autour de deux cylindres en arrangement vertical peut avoir un impact significatif sur la formation de sillages. Si la distance entre les cylindres est telle qu'elle crée une grande interférence totale entre les deux sillages individuels, alors l'écoulement nanofluide peut produire un seul sillage.

Si la vitesse de l'écoulement est trop élevée, cela peut perturber la formation du sillage et entraîner une traînée plus importante sur les cylindres, créant une sillage irrégulière.

**Cas 2 :  $L / D = 4$  - vitesse –**



**Figure III.13** contour des vitesses le cas  $\varphi = 0.01$

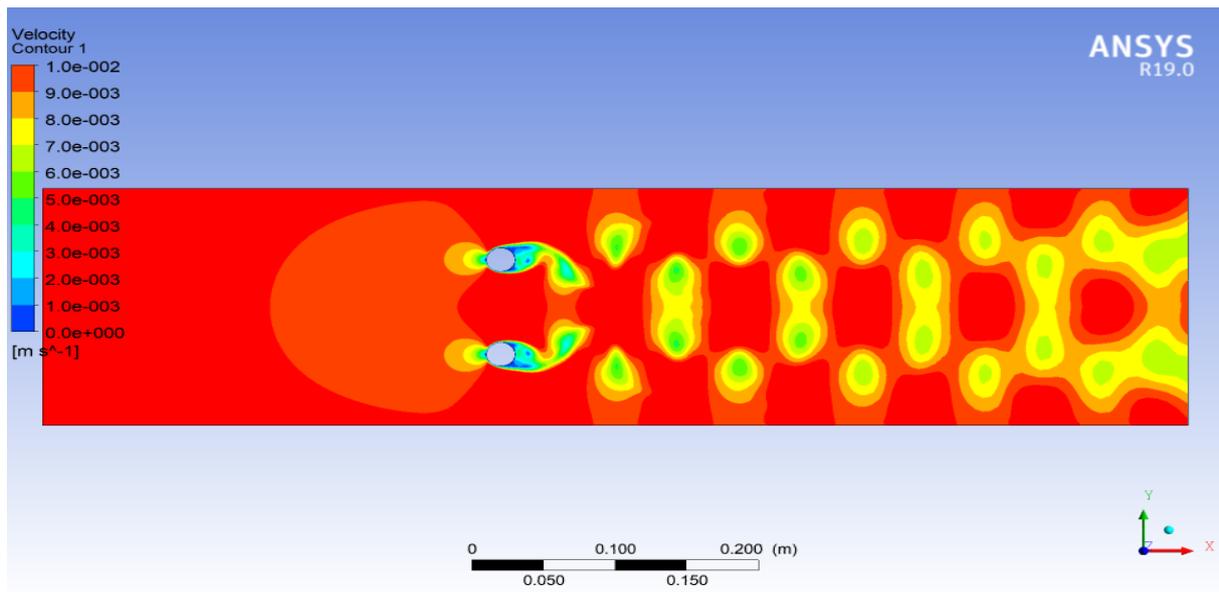


Figure III.14 : contour des vitesses cas  $\varphi = 0.05$

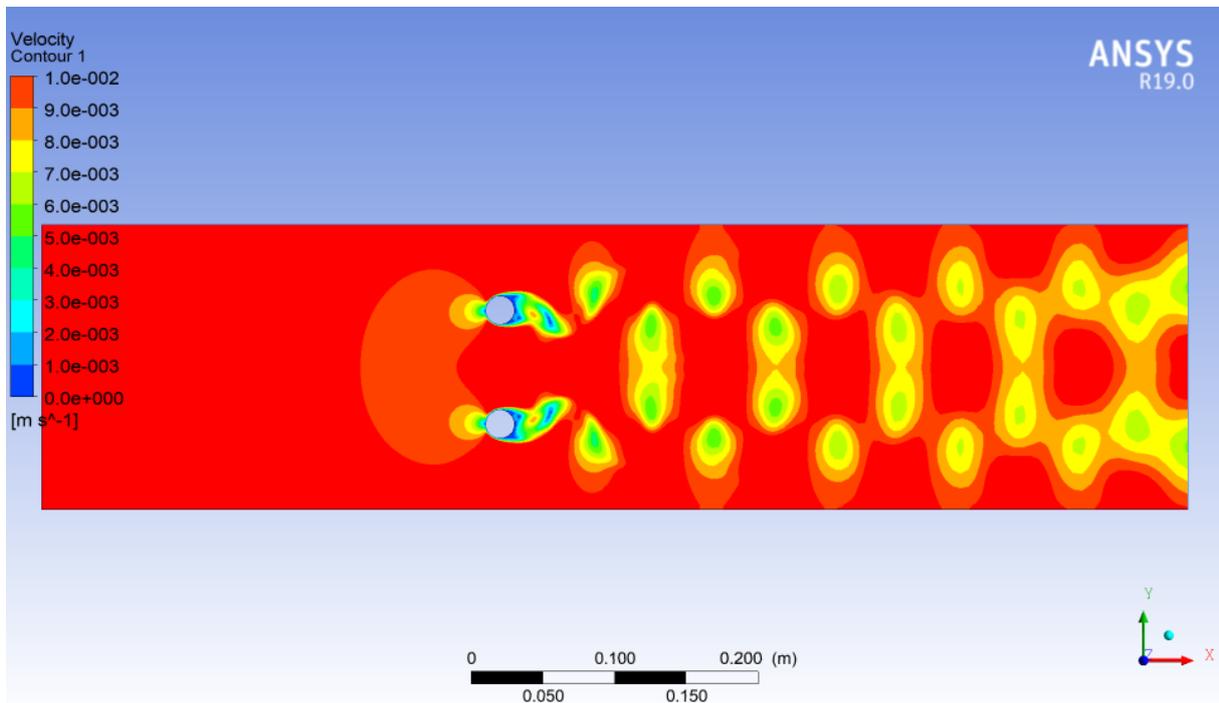
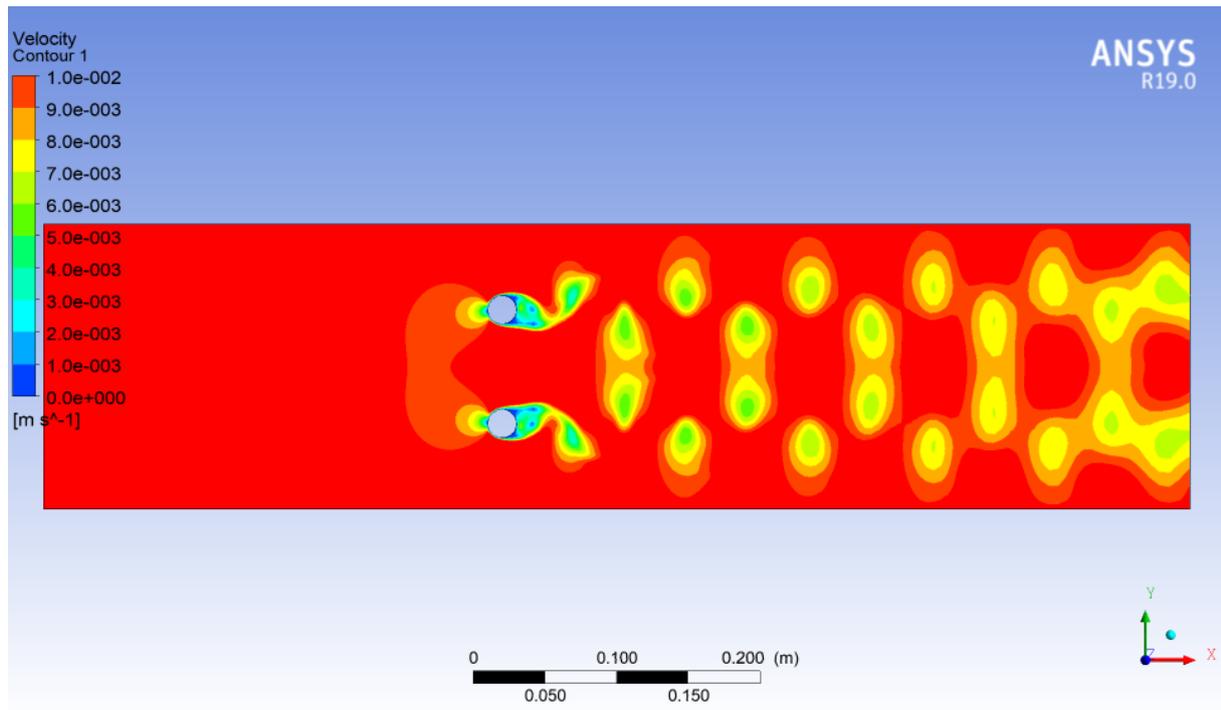


Figure III.15 : contour des vitesses le cas  $\varphi = 0.1$



**Figure III.16** : contour des vitesses le cas  $\varphi = 0.13$

La distance entre les deux cylindres donne une interférence partielle entre les deux sillage et donne une sillage régulière. Si la distance entre les cylindres est telle que les sillages se forment de manière régulière, l'augmentation de la vitesse peut entraîner une augmentation de la vitesse de l'écoulement et une diminution de la taille des sillages. Dans ce cas, l'effet de la vitesse sur l'écoulement nanofluide autour des cylindres peut être décrit comme une diminution de l'impact des sillages sur l'écoulement global.

Cas 1 :  $L/D = 2$  - La Vorticité -

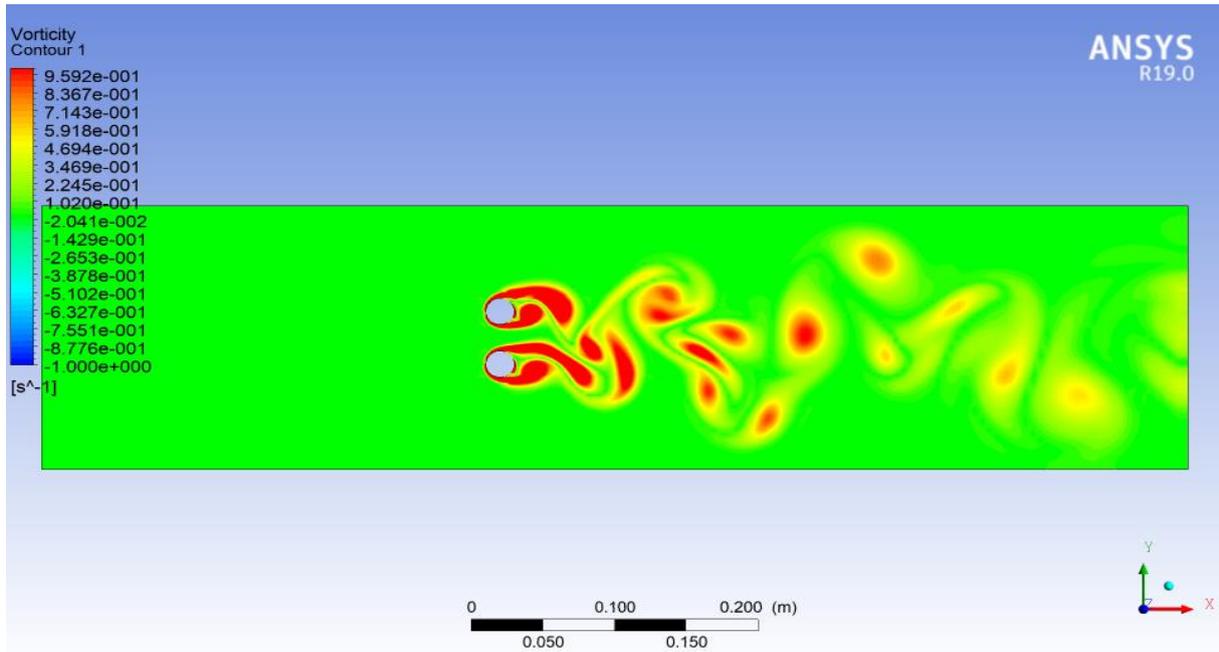


Figure III.17 : contour des vorticités 1 le cas  $\varphi = 0.01$

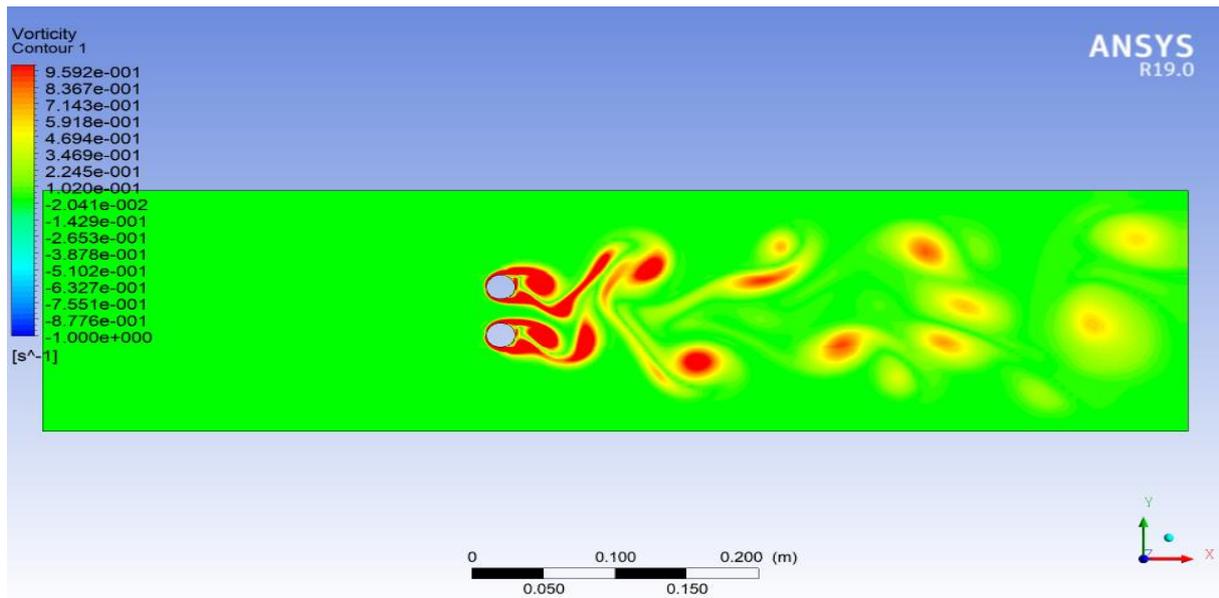
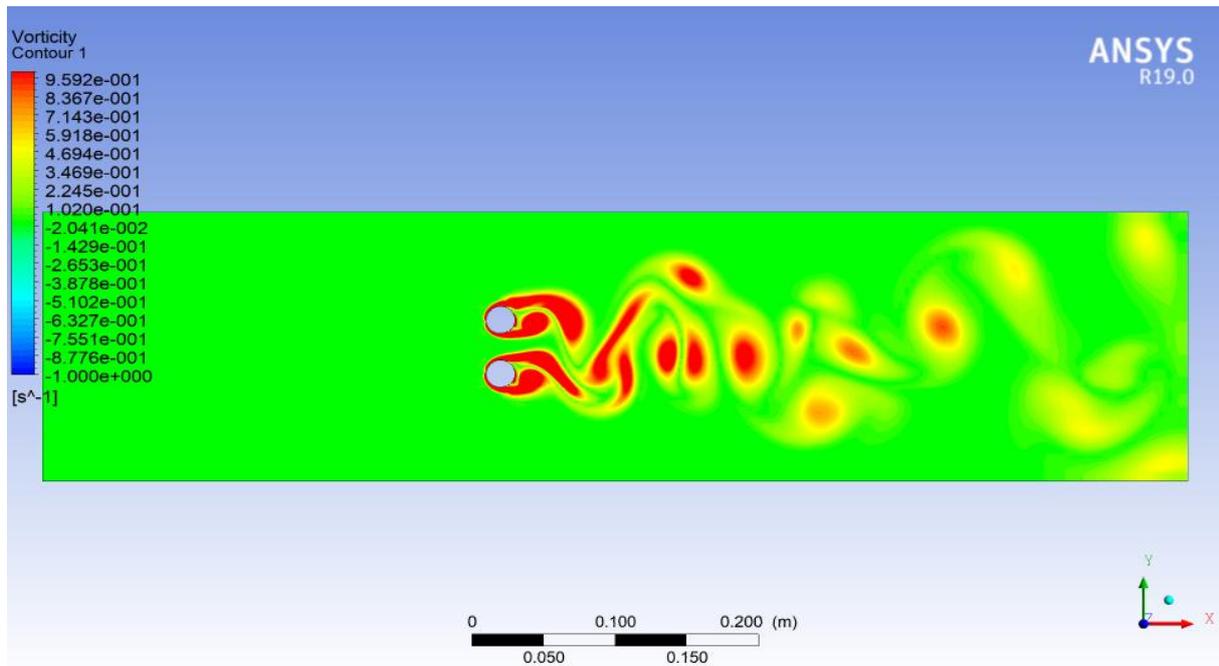


Figure III.18 : contour des vorticités cas  $\varphi = 0.05$



II.19 : contour des vorticités le cas  $\varphi = 0.1$

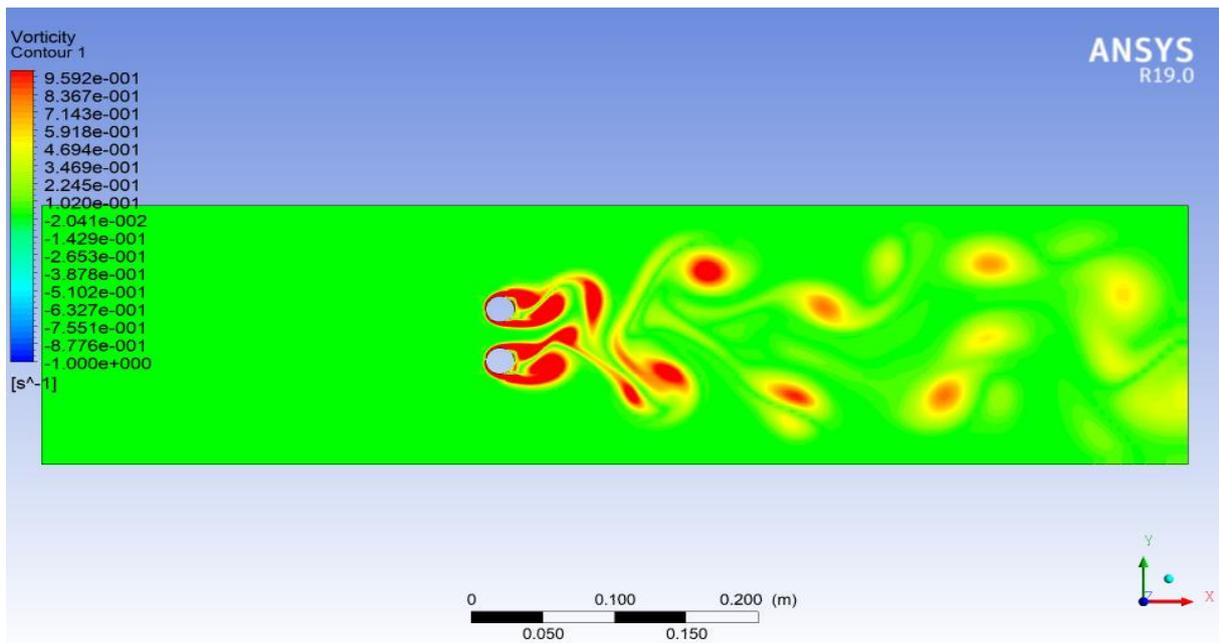


Figure III.20 : contour des vorticités le cas  $\varphi = 0.13$

### CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE PAR ANSYS ET RESULTATS

La distance entre les deux cylindres montre une interaction forte, lorsque les cylindres sont proches. La vorticité peut avoir un effet significatif sur l'écoulement lorsque les cylindres sont proches et que la distance montre une interaction forte. Lorsque les cylindres sont proches, la vorticité peut augmenter en raison de l'interaction entre les deux cylindres.

Cette augmentation de la  $\omega$  peut entraîner une augmentation des forces de frottement et une modification de la trajectoire des particules du nanofluide autour des cylindres.

Enfin, la vorticité peut également avoir un impact sur la dissipation de l'énergie dans le nanofluide. Une augmentation de la vorticité peut entraîner une augmentation de la dissipation de l'énergie, ce qui peut entraîner une augmentation de la température du nanofluide.

#### Cas 2 : $L/D = 4$ - la Vorticité -

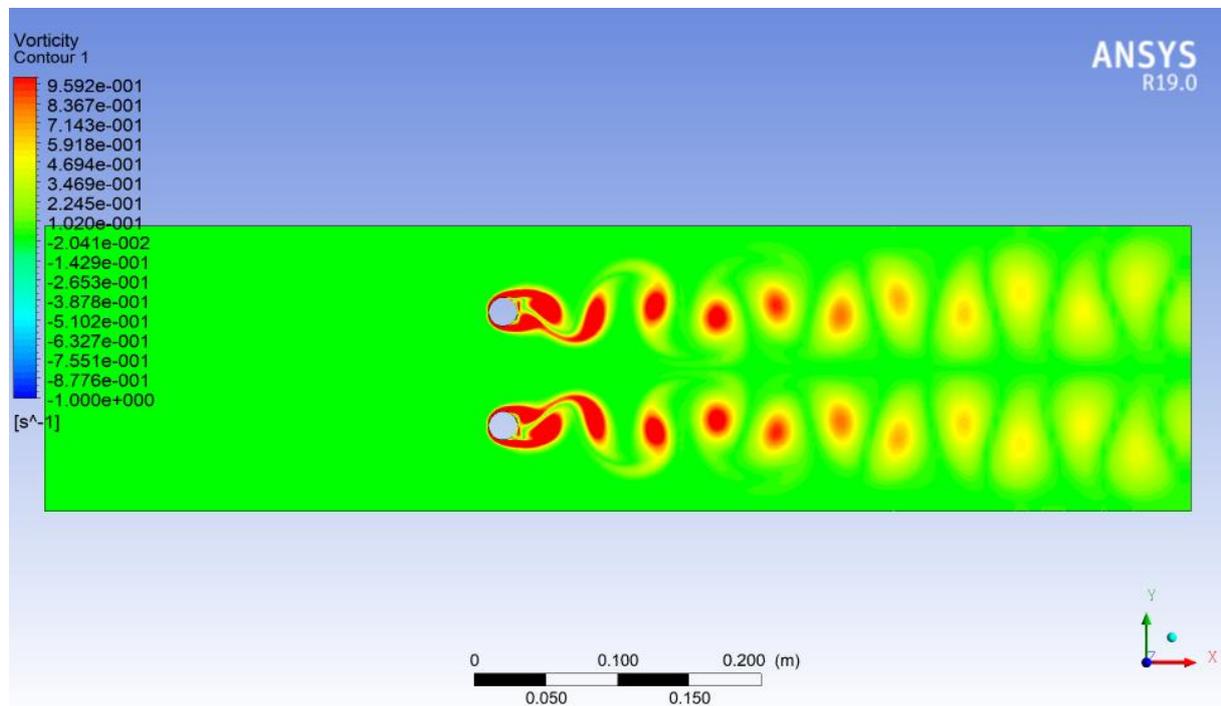


Figure III.21 : contour des vorticités le cas  $\varphi = 0.01$

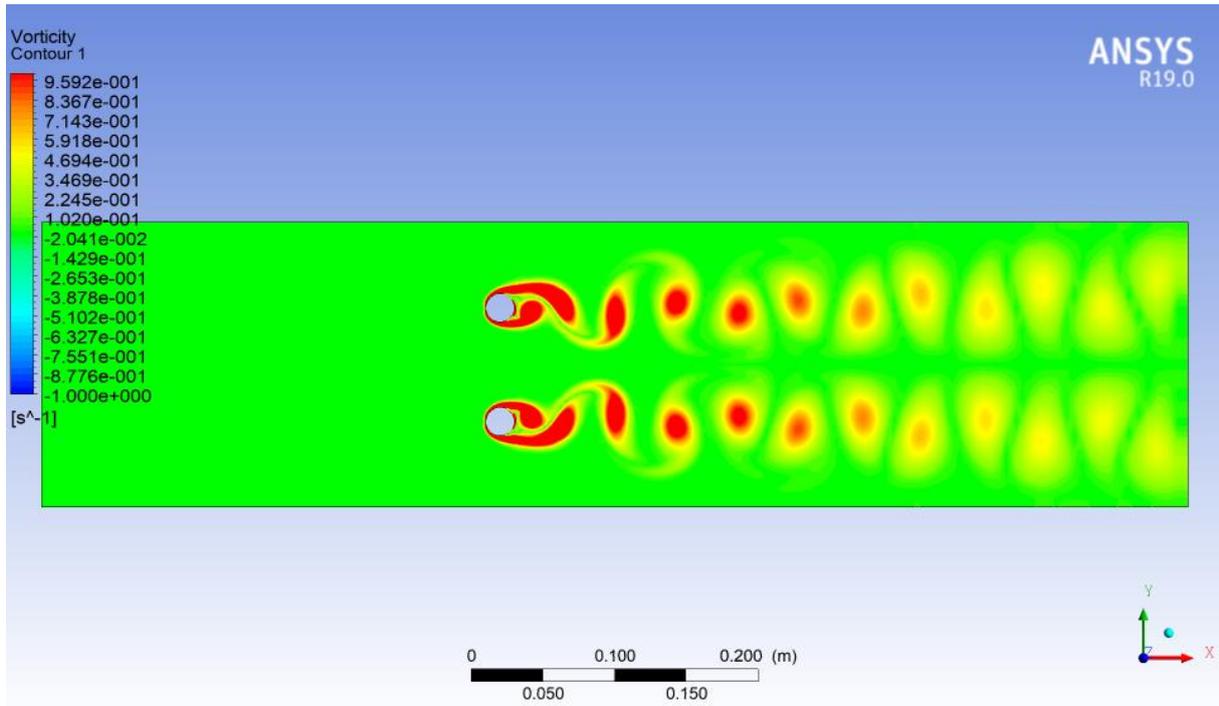


Figure III.22 : contour des vorticités le cas  $\varphi = 0.05$

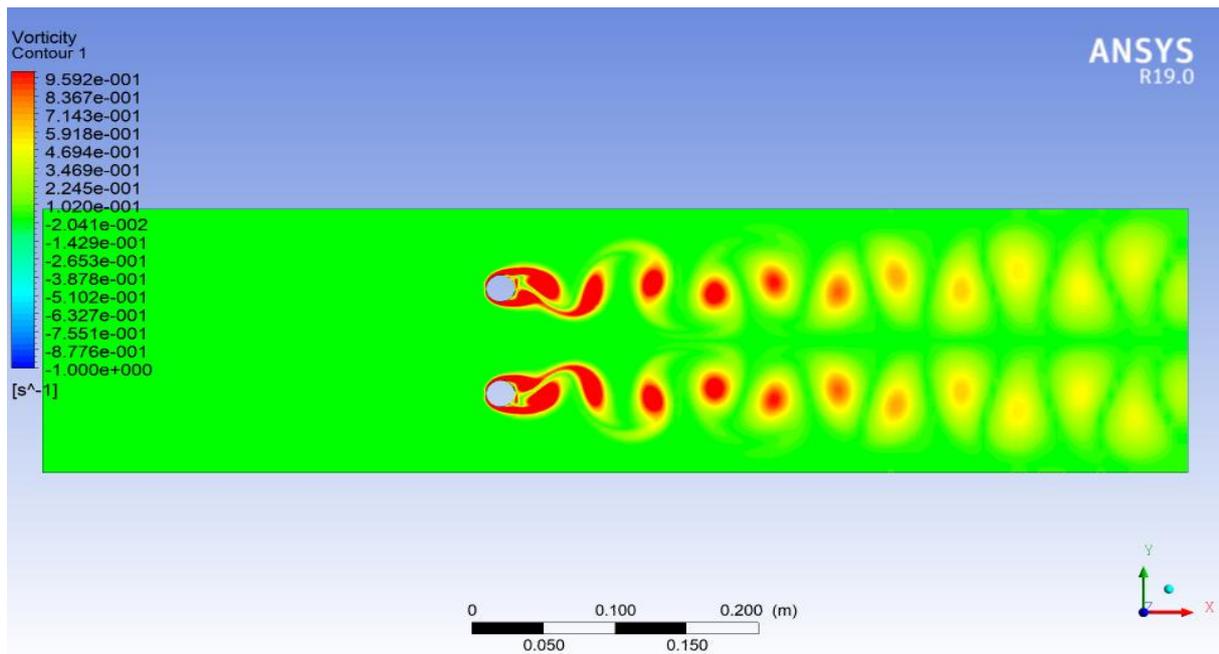
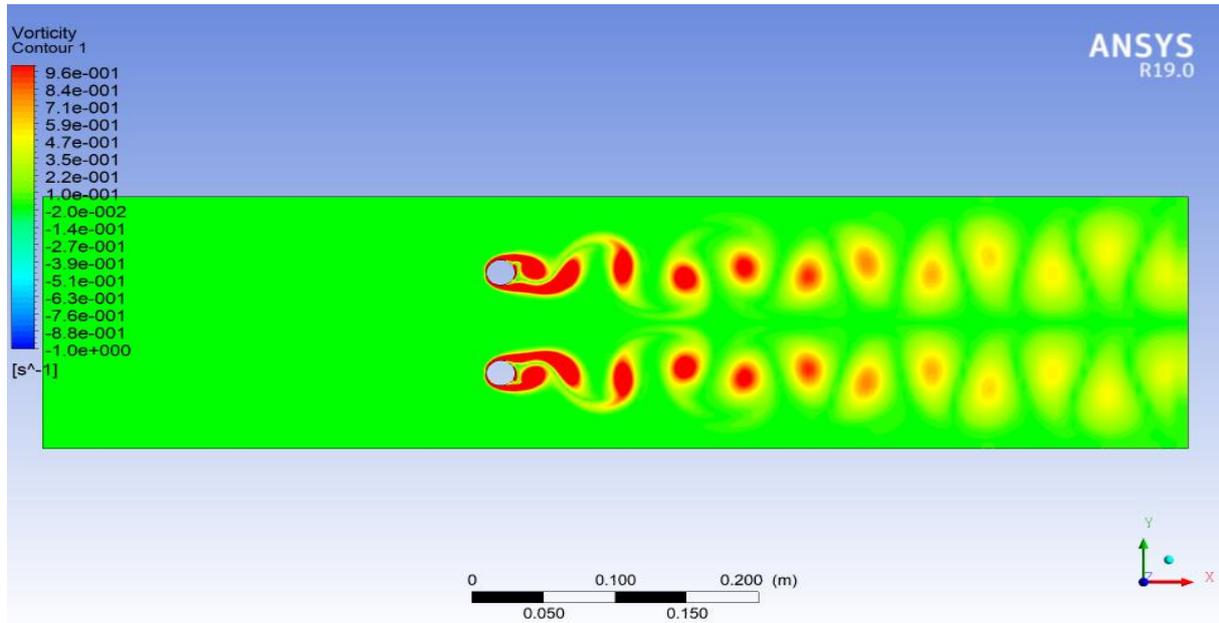


Figure III.23 : contour des vorticités le cas  $\varphi = 0.1$



**Figure III.24** : contour des vorticités le cas  $\varphi = 0.13$

La distance entre les deux cylindres montre une interaction faible, lorsque  $L/D \geq 4$ . Si la distance entre les cylindres est suffisamment grande, de sorte qu'il y a une interaction faible, l'écoulement peut être considéré comme étant à peu près symétrique par rapport à l'axe vertical qui passe entre les deux cylindres. Dans ce cas, la vorticité peut causer la formation de tourbillons en aval des cylindres, qui sont des zones où la rotation du fluide est particulièrement intense. Les tourbillons peuvent perturber le fluide et causer des variations locales de la pression et de la vitesse.

## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Ce travail a pour objectif l'étude de l'effet de la distance  $L/D$  entre les deux cylindres en arrangement vertical avec simulation numérique par CFX de chaque cas.

La simulation numérique de l'écoulement autour de deux cylindres en tandem de diamètre  $D$ , pour un nombre de Reynolds  $Re$ , a mis en évidence la présence d'une distance entre les deux cylindres avec  $2 < L/D < 4,0$ , définissant deux modes d'écoulements : Une interaction forte, lorsque les cylindres sont proches et une interaction faible lorsque  $L / D = 4$ . Le calcul de la corrélation croisée entre le CL des deux cylindres a montré que, pour la distance critique, les efforts sont en phase et atteignent un maximum. Lorsque les cylindres sont en anti-phase, les efforts présentent un minimum pour le cylindre aval et un maximum pour le cylindre amont. Cet effet est lié à une interaction entre les couches de cisaillement de séparation opposées du cylindre amont et aval, cette interaction induisant une atténuation de la séparation des couches de cisaillement du cylindre aval.

L'écoulement de base est obtenu en résolvant les équations de quantité de mouvement et d'énergie. L'équation de mouvement sont réduites à un système d'équation ordinaire qui se présente sous forme d'un problème aux valeurs limites.

## **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

1. **Prasher, R., Bhattacharya, P., and Phelan, P. E.**, “ Thermal Conductivity of Nanoscale Colloidal Solutions (Nanofluids)” , 2005
2. **Supreeti Das**, “Nanofluids for Heat Transfer: An Analysis of Thermophysical Properties”, IOSR Journal of Applied Physics” ,2015
3. **Xuan Y & Li Q.**, “Heat transfer enhancement of nanofluids”, International Journal of Heat and Fluid Transfer”, 2000
4. **Maxwell JC.** “Treatise on electricity and magnetism, Oxford: Clarendon Press”,1873
5. **Choi SUS,**” Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in developments and applications of Non-Newtonian flows”, 1995
6. **Mohan Lal, S.Wongwises,**” Enhancement of heat transfers using nanofluids- An overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews “,2010
7. **R.Dharmalingam, K.K.Sivagnanaprabhu, B.Senthil Kumar and R.Thirumalai.**, “ Nanomaterials and Fluids: An innovative technology study for new paradigms for technology enhancement”, 12th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM)”, 2014
8. **A.Renuka Prasad, Dr.Sumer and Dr.Harish,** “ A Review on Nanofluids: Properties and Applications “ , 2017
9. **Amin Behzadmehr Hassan Azarkish,** “ Introduction to the NanoFluid university of Sistan and Baluchestan”, 2000
10. “ International Journal of Manufacturing Engineering “ , 2013
11. “ Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials “ , 2014

12. **Maxwell J C.**, “A Treatise on Electricity and Magnetism”, Clarendon Press”, 1881
13. **Das, S.K., Choi,S.U.S., Yu,W., and Pradeep,T**, “Nanofluids: Science and Technology, Wiley, New York”, 2007
14. **Krieger, I. M.** , “A Mechanism for Non-Newtonian Flow in Suspensions of Rigid Spheres “, 1959
15. **David D**, “ nanofluides, l'efficacité à la hausse. - Catégorie : Water cooling “,2008
16. **.S.P.Jang and S.U.S. Choi**, “Cooling performance of a microchannel heat sink with nanofluids, Applied Thermal engineering,” 2006.
17. **Das, S.K., Choi, S.U.S., Yu, W., and Pradeep, T.** “Nanofluids: Science and Technology, Wiley, New York”, 2007.
18. **E. Didier, A.R.J. Borges**, “simulation numérique d'un écoulement croisé uniforme bidimensionnel au-delà d'un cylindre à l'aide d'un maillage non structuré implicite méthode entièrement couplée de deuxième ordre, “ 11-15 juillet 2005
19. **M.M. Zdravkovich**, “Review of flow interference between two circular cylinders in various arrangements, “1976
20. **ADMIN**, “ Article : Les Différents Types d'écoulement de Fluide“,12- 2021
21. **www.sciences.univ-nantes.fr**, “ Les régimes transitoires “.
22. **X.Q. Wang and A.S.Mujumdar**, “ heat transfer characteristics of nanofluids “ , 2006.2007.

23. **D.A.G.Bruggema**, “ berechanung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen “, 1935
24. **Z.A.LAMRI** , “ Contribution a l’Etude théorique des transferts thermiques convectifs dans un nanofluide“. 2014
25. **B.C.Pak and Y.I Cho**, “ Hydrodynamic and heat transfer study of dispered fluids with submicron metallic oxide particles“,1998
26. **H.C. Brinkman**, “The viscosity of concenrated suspensions and solutions “, 1952
27. **ANSYS Inc.2018, ANSYS CFX**, "[www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx](http://www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx)”
28. **Patrick Huerre**, " Simulation de l’écoulement autour de deux cylindres en tandem " , 2006