



Université Mohamed Khider de Biskra
Sciences et technologie
Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energetique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

ATAOUA Chaima

Le : lundi 20 juin 2022

Etude numérique des performances thermiques d'un nano-fluide hybride dans un canal trapézoïdal avec des obstacles.

Jury :

| | | | | |
|----|--------------------|-----|----------------------|-----------|
| Dr | BENCHABANE Adel | Pr | Université de Biskra | Président |
| Dr | BELGHAR Nourredine | Pr | Université de Biskra | Encadreur |
| Dr | GUERBAAI Salah | MCA | Université de Biskra | Examineur |

Année universitaire : 2021 - 2022

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord Dieu qui m'a guidé vers le bon chemin et qui m' a donné le courage et la force de continuer ce travail.

. J'ai le grand plaisir que j'ai eu l'occasion de réaliser mon mémoire de Master ceux la direction de Pr. BELGHAR Nourredine qui je précise le premier et le très grand remerciement à lui, j'ai particulièrement apprécié ses encouragements, ses conseils, et sa disponibilité durant la réalisation de ce travail.

Je tiens également à remercier chaleureusement Mr . Momen Sami Saleh pour la collaboration fructueuse que nous avons eue, et pour ses nombreux conseils qui m'ont été d'un grand intérêt.

Je tiens d'exprimer mes sincères gratitudes aux membres de jury:

BENCHABANE Adel ; GUERBAAI Salah

J'adresse mes profondes gratitudes aux enseignants et responsables du département de génie mécanique.

Enfin, j'exprime mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Citation dit:

{العائلة أولا وثانيا وثالثا ثم الاقربون قلبا لا دما ثم اني اقدس الورود ولا اعترف بالكيان الصهيوني }

Je dédie ce modeste travail

A mon père et ma très chère maman, qui m'ont

Éclairés le chemin en me donnant la main tout au

Long de mes années d'étude

A mes frères et leurs femmes et mes soeurs et leurs maris

à ma cousine Sihame

A mes amis : Khadija Bel Abbas , Afaf Badri , Teggat Nesrine

Chaima

Sommaire

| | |
|--|------------|
| <i>Remerciements</i> | I |
| Dédicace | II |
| Sommaire | III |
| LISTE DES FIGURES | V |
| Chapitre I | V |
| Chapitre II: | V |
| Chapitre III : | V |
| Liste des Tableau | VI |
| Chapitre II: | VI |
| Chapitre II: | VI |
| Nomenclature | VII |
| Introduction Générale | 10 |
| Objectif de l'étude : | 11 |
| Chapitre I | 13 |
| Etude bibliographique | 13 |
| I. Etude bibliographique | 14 |
| I.1. Introduction: | 14 |
| I.2. Généralités sur Nano fluides hybrides : | 19 |
| I.2.1. Les Nano-Fluides : | 19 |
| I.2.2. Les propriétés thermo physiques des nano fluides : | 21 |
| I.2.3. Nano-fluide hybride : | 25 |
| I.2.4. Les applications des nano fluides hybride : | 26 |
| I.2.5. Synthèse de nanoparticules hybrides : | 27 |
| I.2.6. Méthodes de préparation des nano fluides hybrides : | 29 |
| 1.3.6.1.Méthode en une seule étape : | 30 |
| 1.3.6.2.Méthode en deux étapes : | 30 |
| I.3. Généralité sur le transfert de chaleur : | 32 |
| I.3.1. Le transfert par conduction : | 32 |
| I.3.2. Le transfert par rayonnement : | 32 |
| I.3.3. Le transfert par convection : | 32 |
| I.3.4. Les nombres sans dimension : | 33 |
| I.3.5. Techniques d'Amélioration le transfert de chaleur : | 35 |
| I.4. Conclusion : | 36 |
| Chapitre II | 37 |
| Modélisation mathématique | 37 |
| II. Modèle mathématique généralisé: | 38 |

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| II.1. Introduction : | 38 |
| II.2. Equations générales en régime laminaire : | 38 |
| II.3. Modèle mathématique pour le cas étudié : | 39 |
| II.4. Formulation mathématique du problème : | 41 |
| II.4.1. Hypothèses simplificatrices : | 41 |
| II.4.2. Equation de continuité : | 41 |
| II.4.3. Equation de quantité de mouvement : | 41 |
| II.4.4. Equation de l'énergie : | 41 |
| II.5. Les propriétés thermo physiques des nano fluides hybrides | 42 |
| II.6. Conditions aux limites : | 42 |
| II.7. Conclusion : | 43 |
| Chapitre III | 44 |
| Formulation Numérique | 44 |
| III. Formulation Numérique | 45 |
| III.1. Introduction : | 45 |
| III.2. Procédure de la simulation | 45 |
| III.2.1. Logiciel ANSYS Workbench | 45 |
| III.2.2. Menu principal du logiciel d'ANSYS Workbench | 46 |
| III.2.3. Création de la géométrie | 47 |
| III.2.4. Le maillage | 52 |
| III.3. Conclusion : | 58 |
| Chapitre IV | 59 |
| Résultats et Discussions | 59 |
| IV. Résultats et Discussions | 60 |
| IV.1. Introduction : | 60 |
| IV.2. Résultats et interprétation : | 60 |
| IV.2.1. Distribution de la température: | 62 |
| IV.2.2. La vitesse d'écoulement : | 75 |
| IV.2.3. L'effet des obstacles sur la température et la vitesse d'écoulement à l'intérieur d'un canal : | 88 |
| IV.3. Nombre de Nusselt moyen : | 88 |
| IV.4. Conclusion: | 91 |
| Conclusion Générale | 92 |
| Bibliographique | 95 |
| Résumé | 97 |

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

| | |
|---|----|
| Figure I. 1: configuration de microcanaux incline [1]. | 15 |
| Figure I. 2: La géométrie en question et les conditions aux limites du phénomène [3]. | 16 |
| Figure I. 3: exemples des microcanaux. | 17 |
| Figure I. 4: présentation type des composants électroniques [6]. | 17 |
| Figure I. 5: Présentation de la géométrie du micro canal [7]. | 18 |
| Figure I. 6: Exemples des nano-fluides aqueux et opaques avec 1 % de nanoparticules De diverses natures [7]. | 20 |
| Figure I. 7: Illustration microscopique des nano-fluides électronique : a) éthylène glycol +. | 26 |
| Figure I. 8: Méthodes de production descendantes et ascendantes pour fabriquer différents types de nanostructures [13]. | 29 |
| Figure I. 9: Distribution différente des particules dans le fluide de base. (A) avant la formation des nanoparticules, (B) après la formation des nanoparticules [14]. | 29 |
| Figure I. 10: Images optiques des nano fluides hybrides ACG/EG à différentes concentrations (a) 0,02 %, (b) 0,04 % et (c) 0,06 % [18]. | 31 |
| Figure I. 11: Effet d'accumulation sur l'amélioration de la conductivité thermique des nano fluides [21]. | 36 |

Chapitre II:

| | |
|---|----|
| Figures II. 1: Présentation du mouvement du nanofluide dans le canal. | 40 |
| Figures II. 2: Afficher la géométrie et les obstructions du canal trapézoïdal. | 40 |

Chapitre III :

| | |
|--|----|
| Figure III. 1: Fenêtre lancement du logiciel. | 46 |
| Figure III. 2: Création d'une analyse (projet) en mécanique de fluide. | 46 |
| Figure III. 3: Création d'un projet en mécanique de fluide. | 47 |
| Figure III. 4: Création du modèle de la géométrie. | 48 |
| Figure III. 5: Création du modèle (plan de vue). | 48 |
| Figure III. 6: Identification de l'unité. | 49 |
| Figure III. 7: Création d'esquisse. | 49 |
| Figure III. 8: Création d'esquisse 1. | 50 |
| Figure III. 9: Création d'esquisse 2 | 51 |
| Figure III. 10: Concept surface à partir d'esquisse . | 51 |
| Figure III. 11: Définition de la zone du fluide. | 52 |
| Figure III. 12: le maillage utilisé. | 53 |
| Figure III. 13: le nombre des nœuds et les éléments. | 54 |
| Figure III. 14: Volume de contrôle bidimensionnel. | 55 |
| Figure III. 15: Model (laminaire, équation de l'énergie, électrique potentielle). | 56 |
| Figure III. 16: Création les données du nano fluide hybride. | 57 |
| Figure III. 17: Condition aux limites –fluide- (inverse permeability-porosity). | 57 |
| Figure III. 18: Condition aux limites –entrée de vitesse- grandeur de la vitesse. | 58 |

Liste des Tableau

Chapitre II:

| | |
|--|----|
| Tableau II.1: Dimensionnement du canal trapézoïdal qui contient des obstructions. | 39 |
| Tableau II.2: Les propriétés thermo physique de nanoparticules et fluide de base. | 42 |
| Tableau II.3 : Conditions aux limites hydrodynamiques et thermiques. | 43 |

Chapitre II:

| | |
|---|----|
| Tableau IV.1: les propriétés thermo-physiques de nano fluide hybride pour $\varphi=0.01$ | 61 |
| Tableau IV.2: les propriétés thermo-physique de nano fluide hybride pour $\varphi=0.02$ | 61 |
| Tableau IV.3: les propriétés thermo-physique de nano fluide hybride pour $\varphi=0.03$ | 61 |
| Tableau IV.4: les propriétés thermo-physique de nano fluide hybride pour $\varphi=0.035$ | 61 |
| Tableau IV.5: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.01$; $Re=50$). | 63 |
| Tableau IV.6: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.02$; $Re=50$). | 64 |
| Tableau IV.7: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.03$; $Re=50$) | 65 |
| Tableau IV.8: Présentation les Figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.035$; $Re=50$). | 66 |
| Tableau IV.9: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.01$; $Re=100$). | 67 |
| Tableau IV.10: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.02$; $Re=100$). | 68 |
| Tableau IV.11: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.03$; $Re=100$). | 69 |
| Tableau IV.12: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.035$; $Re=100$). | 70 |
| Tableau IV.13: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.01$; $Re=150$). | 71 |
| Tableau IV.14: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.02$; $Re=150$). | 72 |
| Tableau IV.15: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.03$; $Re=150$). | 73 |
| Tableau IV.16: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.035$; $Re=150$). | 74 |
| Tableau IV.17: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.01$; $Re=50$). | 76 |
| Tableau IV.18: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.02$; $Re=50$). | 77 |
| Tableau IV.19: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.03$; $Re=50$). | 78 |
| Tableau IV.20 : Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.035$; $Re=50$). | 79 |
| Tableau IV.21: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.01$; $Re=100$). | 80 |
| Tableau IV.22: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.02$; $Re=100$). | 81 |
| Tableau IV.23: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.03$; $Re=100$). | 82 |
| Tableau IV.24: Présentation les Figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.035$; $Re=100$). | 83 |
| Tableau IV.25: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.01$; $Re=150$). | 84 |
| Tableau IV.26: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.02$; $Re=150$). | 85 |
| Tableau IV.27: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.03$; $Re=150$). | 86 |
| Tableau IV.28: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.035$; $Re=150$). | 87 |
| Tableau IV.29: Résultats du premier cas de Nusselt moyen $Re = 50$ et $Da = 10^{(-3)}$. | 90 |
| Tableau IV.30: Résultats du deuxième cas de Nusselt moyen $Re = 50$ et $Da = 10^{(-4)}$. | 90 |
| Tableau IV.31: Résultats du troisième cas de Nusselt moyen $Re = 100$ et $Da = 10^{(-3)}$. | 90 |
| Tableau IV.32: Résultats du quatrième cas de Nusselt moyen $Re = 100$ et $Da = 10^{(-4)}$. | 90 |
| Tableau IV.33: Résultats du cinquième cas de Nusselt moyen $Re = 150$ et $Da = 10^{(-3)}$. | 91 |
| Tableau IV.34 : Résultats du sixième cas de Nusselt moyen $Re = 150$ et $Da = 10^{(-4)}$. | 91 |

Nomenclature

C_p : La chaleur massique ($J.Kg^{-1}K^{-1}$).

Da : Le numéro de Darcy .

g : Accélération de la pesanteur ($m.S^{-2}$).

h : Le coefficient d'échange par convection ($W.m^{-2}K^{-1}$).

K : La conduction thermique ($W.m^{-1}K^{-1}$).

K_{nf} : La conductivité thermique du nano fluide.

K_f : La conductivité thermique du fluide de base.

K_s : La conductivité thermique des particules solides.

L : Longueur totale de canal (mm) .

m : La masse (Kg).

Nu : Nombre de Nusselt.

p : Pression du fluide (Pa) .

P : Pression adimensionnelle.

S : Surface d'échange thermique.

T : La temperature ($^{\circ}C$)ou (K).

T_{∞} : La température du fluide loin de la paroi [$^{\circ}C$].

Ta : Température de milieu environnant la surface (K) .

Tp : Température au point considère de la paroi ($^{\circ}C$) .

Ts : Température de la surface(K) .

$T0$: La température de référence.

u,v : Composantes de la vitesse dans les directions $x,y(m.S^{-1})$.

F_a : forces d' inertie

F_g :La forces de gravité

F_{μ} :forces de visqueusité

U,V : Composantes de la vitesse adimensionnelle.

V : Le volume (m^3).

V_s : Volume des nanoparticules solides [m^3].

V_f : Volume du fluide de base [m^3].

x,y : Les coordonnées cartésiennes.

x, y : Les coordonnées adimensionnelles.

Symbole Grecque :

α : La diffusivité thermique ($m^2 \cdot s^{-1}$).

β : Coefficient d'expansion thermique (K^{-1}).

β_{nf} : Le coefficient de dilatabilité du nanofluide.

β_f : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

β_s : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules.

ΔT : La différence de température.

ε : La porosité .

μ : La viscosité dynamique ($N \cdot s \cdot m^{-2}$).

μ_{nf} : La viscosité dynamique du nano fluide.

μ_f : La viscosité dynamique du fluide de base.

ν : La viscosité cinématique ($m^2 \cdot s^{-1}$).

ρ : La densité ($Kg \cdot s^{-3}$).

ρ_0 : La masse volumique fluide.

ρ_{nf} : La masse volumique du nano fluide.

ρ_f : La masse volumique du fluide de base.

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules.

σ : Constante de Stéphan Boltzmann ($W \cdot K^{-4} \cdot m^{-2}$).

φ : La fraction volumique.

ϕ : Le flux de chaleur.

Nombres adimensionnels

Pr Nombre de Prandtl [-]

Gr : Nombre de Grachof. [-]

Re : Nombre de Reynolds. [-]

Ra : Nombre de Rayleigh. [-]

Indice :

n_{fh} : Nanofluide hybride

f : Fluide de base.

nf : Nano fluide.

s : Nanoparticules.

t : Totale.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le besoin d'améliorer les transferts thermiques des fluides dans des systèmes énergétiques a donné naissance au développement d'une nouvelle technique, d'améliorer les propriétés thermiques de fluides par l'adjonction de particules n'est pas nouvelle, mais l'utilisation de particules de taille nanométrique permet potentiellement de minimiser considérablement les problèmes d'érosion et de sédimentation rencontrés avec les particules de taille plus élevée. De plus, certains auteurs ont mis en avant des performances thermiques améliorées en conductivité thermique et en échange thermique liquide et liquide/ vapeur dues à la taille nanométrique, ces solutions sont les nanofluides hybrides.

Les nano fluides hybride, des solutions contenant des nanoparticules en suspension dans un fluide de base. Grâce à leurs propriétés qui permettent d'améliorer les performances thermiques, les nanofluides hybride peuvent être utilisés dans une multitude d'applications domestiques et industrielles.

Cependant, la principale difficulté rencontrée avec les nanofluides hybride est de disperser de manière stable dans le temps les nanoparticules dans le liquide de base à cause de leur agglomération, due soit à la gravité ou soit à la précipitation dépendant de la température[1].

L'amélioration du transfert de chaleur par convection est l'objet principal de plusieurs travaux, et pour se faire, un grand nombre de chercheurs ont mené une multitude d'essais numériques et expérimentaux portant sur la description des phénomènes gérant la convection, l'effet de la nature des systèmes dans lesquels elle a lieu (géométrie spécialement), et les propriétés des fluides impliqués (propriétés physico-chimiques) [2].

Objectif de l'étude :

L'objectif de ce travail est d'étudier numériquement le transfert thermiques convectifs dans un canal trapézoïdal contient des obstacles et de déterminer l'effet des performances thermiques d'un nanofluide hybride à l'aide du logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench qui permet la prédiction des écoulements fluides par résolution des équations de bilan en se basant sur la méthode des volumes finis.

La simulation numérique a été procédée pour prédire l'effet des nombres de Reynolds, Darcy, porosité et de la fraction volumique des nanoparticules dans le fluide.

Ce mémoire est structuré comme suit :

- ✓ Le premier chapitre comporte une étude bibliographique concernant les principales recherches antérieures des chercheurs, et donne des notions sur le nano fluides hybrides avec des techniques appliquées pour améliorer le transfert de chaleur par ces liquides.
- ✓ La deuxième chapitre nous présentons une modélisation mathématique consiste des équations de problème avec les hypothèses et les conditions aux limites utilisées dans la simulation par le logiciel (Ansys Workbench)
- ✓ Le troisième chapitre nous illustrons une description de la méthode de la résolution numérique par l'utilisation de l'Ansys.
- ✓ Le chapitre 4 présente en détail les résultats de simulation avec leurs interprétations.
- ✓ Enfin, une conclusion générale clarifier les points essentiels et les résultats finales de notre étude.

Chapitre I

Etude bibliographique

I. Etude bibliographique

I.1. Introduction:

Les nanoparticules agissent pour augmenter l'efficacité et la surface d'échange entre le liquide et la paroi.

Les nanofluides sont de nouveaux liquides performances que le fluide caloporteur convectif (huile, éthylène glycol et eau) afin d'améliorer les propriétés thermiques du fluide de base.

Le nano fluide hybride est une composition de deux nanoparticules ou plus synthèse et dispersion dans un fluide de base. L'avantage de l'amélioration du transfert de chaleur des nano fluides hybrides est dû à son effet synergique par rapport aux nano fluides contenant une nanoparticule. On croit que le nano fluide hybride pourrait offrir de bonnes caractéristiques thermiques par rapport au fluide de base et au nano fluide contenant des nanoparticules simples [3].

Ce chapitre est consacré à la revue des principales investigations effectuée par le passé sur étude numérique des performances thermiques d'un nano-fluide hybride dans un canal trapézoïdal contient des obstacles, des différents travaux des auteurs sur la technique des performances thermiques d'un nano-fluide hybride, et donné comme un petit rappel sur les notions de base concernant les nano-fluides et le nano-fluide hybride et le transfert de chaleur

Synthés bibliographique :

N.Teggar [1] présenté dans ce mémoire un calcul de la simulation de la convection naturelle laminaire dans un microcanal incline tridimensionnelle dans le but de comparer l'effet de la fraction volumique des nanoparticules dans le fluide (eau-CuO) pour ($\varphi=0$, $\varphi=0.1$, $\varphi=0.04$) sur la distribution des vitesses et de température ,ainsi une étude comparative des trois nanofluides ((eau-CuO), (eau-TiO₂), (eau-Ag)) sur la variation du nombre de Nusselt moyen et du coefficient de transfert thermique moyen en fonction du nombre de Reynolds, pour cette étude on a utilisé un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench (version 2019), dont les résultats obtenus ont montré que l'augmentation de la fraction volumique provoque une amélioration de l'échange thermique dans le processus du refroidissement par convection.

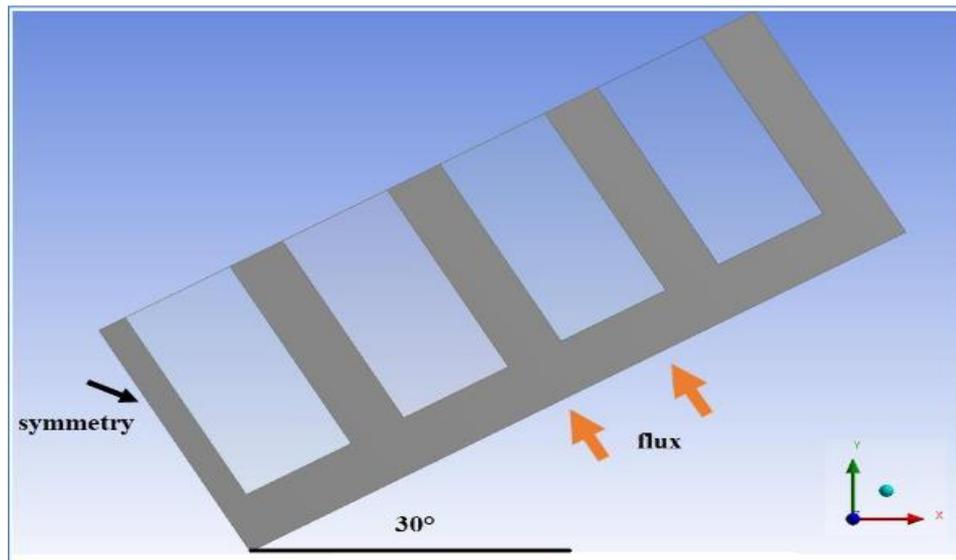


Figure I. 1: configuration de microcanaux incline [1].

M.Kalfali [3] a montré dans cette étude numérique, qu'une présence d'un champ magnétique dans un sens pouvait modifier complètement l'écoulement de la convection thermique dans une cavité carrée chauffée par sa paroi inférieure, remplie par un nanofluid hybride (Cu + Al₂O₃-eaux). Les études numériques effectuées par le logiciel ANSYS, à différents nombres de Rayleigh et nombre d'Hartmann ainsi que celui de la fraction volumique totale en nanoparticules sur les caractéristiques hydrodynamique et thermique au sein de la cavité. Les résultats obtenus ont permis de faire ressortir les remarques suivantes. Une augmentation de la fraction volumique des nanoparticules améliore le transfert de chaleur, une augmentation des nombres de Rayleigh produit un taux de transfert de chaleur nettement plus élevé, les simulations effectuées à différentes valeurs des nombres d'Hartmann ont mis en évidence l'existence d'une valeur du champ pour laquelle l'écoulement est ralenti. D'une façon générale, l'ajout de plusieurs types des nanoparticules permet d'améliorer le transfert thermique.

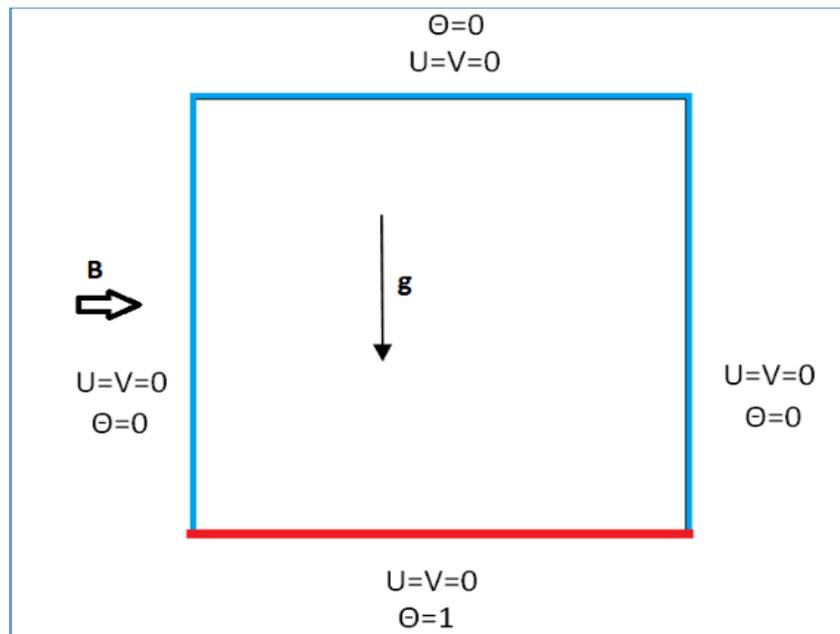


Figure I. 2: La géométrie en question et les conditions aux limites du phénomène [3].

D.Hadi [4] a étudié un calcul de la simulation numérique du refroidissement par convection dans un microcanal placé verticalement, tridimensionnelle dans le but de comparer l'effet du changement le type des nanoparticules dans les nano-fluides ((eau-CuO), (eau-TiO₂), (eau-Ag) pour ($\phi = 0.02$)) sur la distribution des vitesses et de température, sur la variation du nombre de Nusselt moyen et du coefficient de transfert thermique moyen en fonction du nombre de Reynolds, pour cette étude on a utilisé un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench (version 2019), dont les résultats obtenus ont montré que l'augmentation de la conductivité thermique du nano-fluide provoque une amélioration de l'échange thermique dans le Processus du refroidissement par convection.

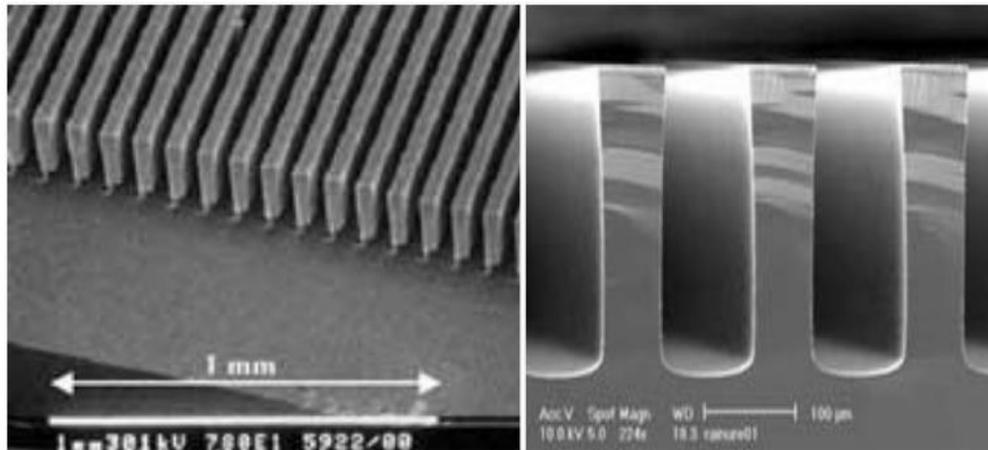


Figure 1. 3: exemples des microcanaux.

A.Abdeddaim [5] a étudié un calcul numérique dans le but de comparer l'effet du nano fluide ,nombre de composant électronique et le nombre de Reynolds sur le refroidissement des composants électroniques dans un micro canal, à cet effet on a utilisé un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench, dont les résultats obtenus ont montré que l'augmentation des composants électronique nécessite l'augmentation du nombre de Reynolds, qui provoque une amélioration de l'échange thermique dans un nano fluide, par convection.

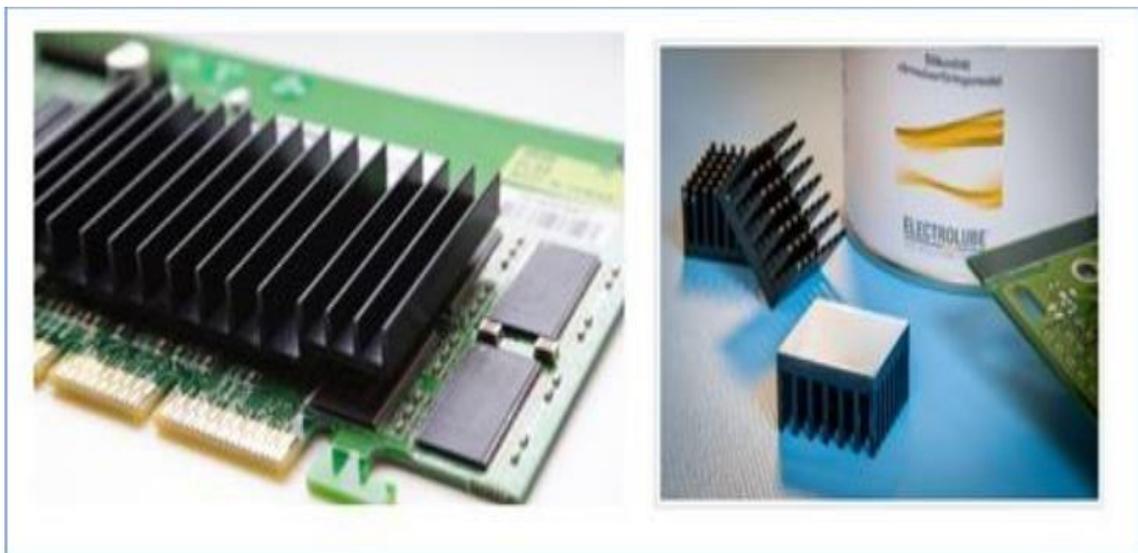


Figure 1. 4: présentation type des composants électroniques [6] .

S.Krouma [7] a mené une étude de l'effet de la forme géométrique (sphérique et cylindrique) des nanoparticules d'un nano fluide dans le transfert de chaleur, on a proposé pour cette étude une note de calcul numérique dans le but de comparer l'effet de la forme

géométrique sur le refroidissement des composants électroniques dans un micro canal, à cet effet on a utilisé un programme (logiciel) de simulation numérique ANSYS Workbench, dont les résultats obtenus ont montré que la modification de la géométrie des nanoparticules dans un fluide provoque une amélioration de l'échange thermique par convection

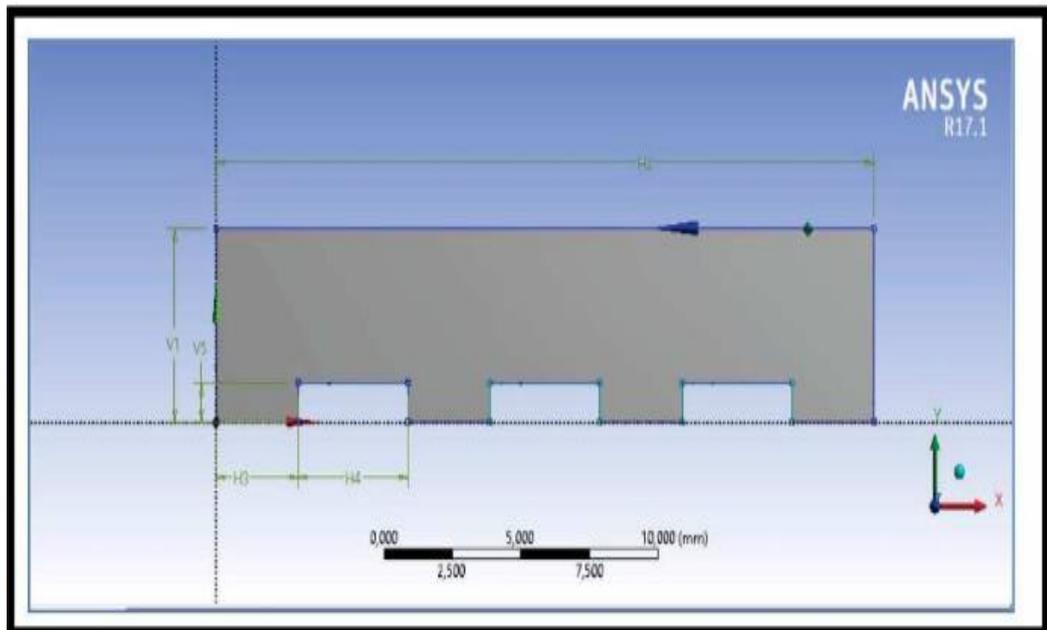


Figure I. 5: Présentation de la géométrie du micro canal [7].

I.2. Généralités sur Nano fluides hybrides :

I.2.1. Les Nano-Fluides :

Les nano-fluides sont des dispersions de particules de taille nanométrique (dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm), appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés [4].

Les nano fluides sont utilisés dans les bâtiments thermiques, les applications de refroidissement et les échangeurs de chaleur. Les nano fluides ont des propriétés physiques, notamment la conductivité thermique. Les nanoparticules à la base du liquide sont principalement basées sur l'amélioration de la conductivité thermique, nanoparticules contenant le fluide primaire qui est généralement de l'eau ou de l'huile ou du glycol, appelé nano fluides [4].

Les avantages du nano fluides :

- ❖ Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.
- ❖ Haute dispersion et stabilité avec prédominance de mouvement brownien des particules
- ❖ Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.
- ❖ Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système.
- ❖ Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.

 **Les nanoparticules les plus utilisées pour obtenir des nano-fluides sont :**

➤ **Les nanoparticules métalliques :**

1. L'aluminium (Al)
2. Le cuivre (Cu)
3. L'or (Au)
4. L'argent (Ar)

➤ **Les nanoparticules des oxydes métalliques :**

1. l'oxyde de l'aluminium (Al_2O_3)
2. l'oxyde de cuivre (CuO)
3. l'oxyde de silicium (SiO_2)
4. L'oxyde de titan (TiO_2).

➤ **Les nanoparticules non-métalliques :**

1. Les nanotubes de carbone (CNT)
2. le diamant (C).

✚ **Les fluides de base les plus utilisées :**

- L'éthylène glycol, EG
- Les huiles
- Le toluène
- Les fluides de réfrigération (R12.R22...) [8]

✚ **Pour notre étude nous avons choisie l'eau comme liquides de base**



Figure I. 6: Exemples des nano-fluides aqueux et opaques avec 1 % de nanoparticules De diverses natures [7].

1.2.2. Les propriétés thermo physiques des nano fluides :

Les nano fluides ont des propriétés physiques importantes, qui diffèrent selon les nanoparticules utilisées et le fluide de base. Ses caractéristiques sont :

- ❖ La fraction volumique (φ).
- ❖ Conductivité thermique (K).
- ❖ Viscosité dynamique (μ).
- ❖ La masse volumique (ρ).
- ❖ La chaleur spécifique (Cp).
- ❖ Coefficient d'expansion volumique (β).

1.2.2.1. La fraction volumique (φ) :

$$\varphi = \frac{\text{Volume solide}}{\text{Volume total du nanofluide}} = \frac{V_s}{V_s + V_f} \quad (\text{I. 1})$$

V_s : Volume des nanoparticules solides [m^3].

V_f : Volume du fluide de base [m^3].

1.2.2.2. Conductivité thermique :

La conductivité thermique, notée λ (W/m.K), est la capacité d'un matériau de conduire ou de Transmettre de la chaleur. C'est une propriété très importante pour l'amélioration des Performances thermiques d'un fluide caloporteur. La synthèse des nano fluides répond au Besoin d'améliorer et d'amplifier la conductivité thermique des liquides. Aussi, de nombreux Travaux ont été menés pour mesurer mais aussi prédire et expliquer cette amélioration.

Modèles théoriques :

Il existe plusieurs modèles théoriques permettant d'estimer, sous certaines conditions, la Conductivité thermique des suspensions. Nous présenterons dans cette partie les modèles les Plus utilisés dans le cas des nano fluides.

A. Modèle de Maxwell :

Maxwell fut le premier à dériver un modèle pour estimer la conductivité thermique d'une suspension contenant des particules [MAX/1881]

$$K_{nf} = \frac{K_s + 2K_f + 2(K_s - K_f)\varphi}{K_s + 2K_f - (K_s - K_f)\varphi} K_f \quad (I.2)$$

Où

K_{nf} : La conductivité thermique du nano fluide.

K_f : La conductivité thermique du fluide de base.

K_s : La conductivité thermique des particules solides.

B. Modèle de Hamilton & Crosser :

Le modèle de Hamilton-Crosser [HAM/1962] est une extension du modèle de Maxwell, qui Tient compte de la forme des particules. En effet, pour prendre en compte la non-sphéricité des Particules (cas des NTC), ce modèle intègre un facteur géométrique appelé sphéricité, et noté Ψ , faisant référence à la géométrie sphérique. Ce coefficient est définit comme étant le rapport de l'aire d'une sphère de même volume que la particule sur l'aire de cette même Particule.

$$K_{nf} = \frac{K_s + (n - 1)K_f - (n - 1)(K_f - K_s)\varphi}{K_s + (n - 1)K_f + (K_f - K_s)\varphi} K_f \quad (I.3)$$

n est un facteur de forme empirique donné par : $n = \frac{3}{\psi}$

Ce modèle peut être utilisé lorsque la conductivité thermique des particules est au moins 100 Fois plus élevée que celle du fluide de base [HAM/1962] [4].

C. Modèle de Yu et choi :

La relation entre Yu et Choi est une autre expression de la conductivité thermique, qui était en 2003. Les particules liquides et solides étaient considérées comme une base séparée avec une couche nanométrique d'un modèle en nano fluides. Cette couche est un pont thermique entre nanoparticules et liquides. Ce modèle est donné comme suit:

$$K_{nf} = \frac{K_s + 2K_f + 2(K_s - K_f)(1 + \beta)^3\varphi}{K_s + 2K_f - (K_s + K_f)(1 + \beta)^3\varphi} K_f \quad (I.4)$$

β est le rapport de l'épaisseur de la couche nanométrique sur le rayon des particules.

1.2.2.3. Viscosité dynamique (μ) :

La viscosité peut être définit comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement. On peut donc parler de la

viscosité comme étant une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient la viscosité dynamique du nano fluide qui peut être influencé énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température.

Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base et la fraction volumique du nano fluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux Modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

A. Modèle d'Einstein :

La viscosité dynamique d'un nano fluide est donnée par Einstein (1906) pour un mélange

Contenant des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides est la suivantes :

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 2,5\varphi) \tag{I.5}$$

μ_{nf} : La viscosité dynamique du nano fluide.

μ_f : La viscosité dynamique du fluide de base.

φ : La fraction volumique des nanoparticules.

Cette relation est valable juste pour $\varphi=0.03$.

B. Modèle de Brinkman :

Par contre, Brinkman (1952) a étudié la formule d'Einstein pour couvrir une large plage de Concentrations volumiques.

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \varphi)^{2,5}} \tag{I.6}$$

Remarque: Pour les faibles fractions volumiques, la relation de Brinkman conduit exactement à celle d'Einstein. Ces relations n'intègrent pas les effets du mouvement Brownien ni ceux de la taille des particules.

1.2.2.4. La masse volumique (ρ) :

La détermination de la masse volumique d'un nano fluide parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique

à une température donnée, se fait à partir de la définition de la masse volumique d'un mélange.

Dans le cas d'un mélange, la masse volumique est donnée par la relation suivante:

$$\rho_{nf} = \left[\frac{m}{v} \right]_{nf} = \frac{m_f + m_s}{V_f + V_s} = \frac{\rho_f V_f + \rho_s V_s}{V_f + V_s} \quad (I.7)$$

A partir de la relation (I.7), on déduit alors la masse volumique du nano fluide:

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_s \quad (I.8)$$

ρ_{nf} : La masse volumique du nano fluide.

ρ_f : La masse volumique du fluide de base.

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules.

I.2.2.5. Chaleur spécifique :

La chaleur massique ou la chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène $C_p = dQ/mdT$. La chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nano fluide, on peut citer les deux modèles suivantes:

A. Modèle du Pak et Cho :

Pak et Cho (1998) ont utilisé la formule suivante:

$$(C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(C_p)_f + \varphi(C_p)_s \quad (I.9)$$

B. Modèle du Xuan et Roetzel :

Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé la formule suivante:

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_f + \varphi(\rho C_p)_s \quad (I.10)$$

I.2.2.6. Coefficient d'expansion volumique (β) :

Pour calcul la valeur de ce coefficient pour les nano fluides, de très nombreux auteurs ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nano fluides et par analogie avec la relation.

(I.11) $[\rho]$, on déduit l'expression suivante:

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi)\beta_f + \varphi\beta_s \quad (\text{I.11})$$

Où

β_{nf} : Le coefficient de dilatabilité du nanofluide.

β_f : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

β_s : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules.

1.2.3. Nano-fluide hybride :

Un matériau hybride est une combinaison de propriétés physiques et chimiques de deux ou plusieurs matériaux. Les deux nanoparticules ou plus sont dispersées dans un fluide de base pour obtenir les propriétés souhaitées pour des applications individuelles.

La fabrication de nano fluides avec deux ou plusieurs nanoparticules similaires ou différentes est populaire entant que nano fluide hybride. Les travaux sur les nano fluides hybrides sont peu nombreux. De nombreuses études expérimentales sur les nano fluides hybrides restent encore à faire. Le nano fluide hybride est un nouveau domaine de recherche pour les chercheurs en génie thermique pour obtenir un système de refroidissement amélioré.

Les nano fluides hybrides peuvent remplacer les nano fluides simples puisqu'ils fournissent

Plus d'amélioration de transfert de chaleur en particulier dans les domaines de l'automobile,

Électromécanique, processus de fabrication et énergie solaire [9].

Le nano fluide hybride est une nouvelle classe de nano fluides conçus en dispersant deux nanoparticules différentes dans un fluide de transfert de chaleur conventionnel. Les nano fluides hybrides sont des fluides potentiels qui offrent une meilleure performance de transfert de chaleur et des propriétés thermo-physiques que les fluides de transfert de chaleur par convection (huile, eau et éthylène glycol) et les nano fluides à nanoparticules simples.

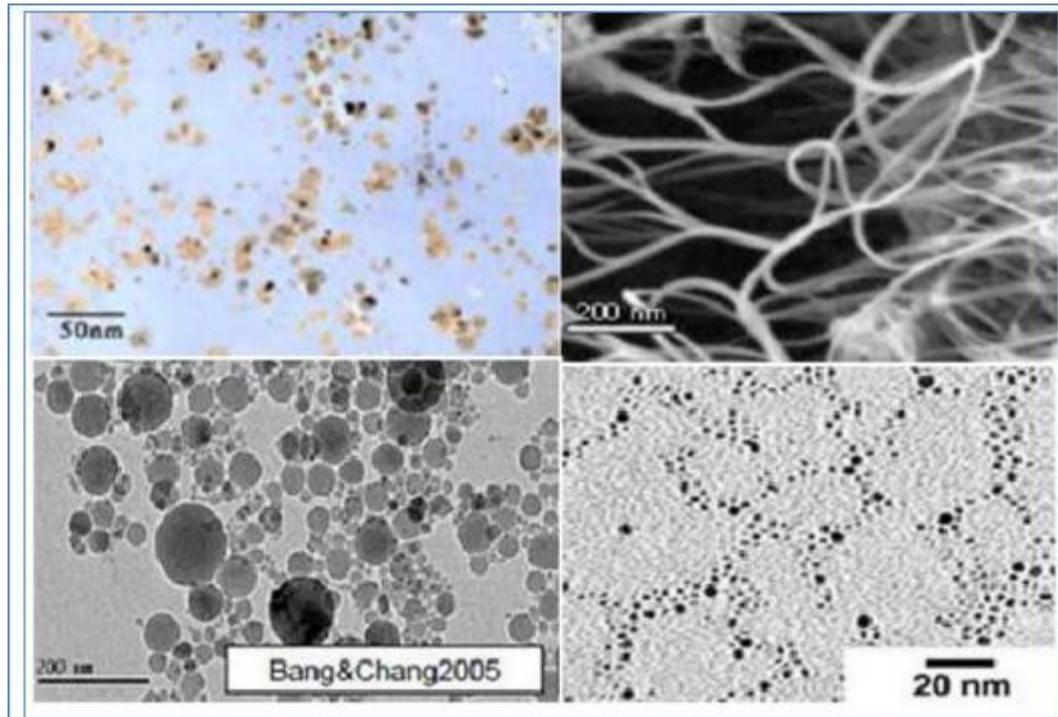


Figure 1. 7: Illustration microscopique des nano-fluides électronique : a) éthylène glycol +.

1.2.4. Les applications des nano fluides hybride :

Le nano liquide peut être utilisé pour de nombreuses applications différentes. Ces utilisations

Il n'affecte pas complètement la transmission de l'énergie, il peut même en réduire le besoin

de base combustible conventionnel, électrique ou gaz. Jetons un coup d'œil à certaines de ces

Applications :

- **Refroidissement des appareils électroniques :**

Les recherches en cours sur l'électronique suggèrent que l'utilisation de nano fluides peut effectuer un transfert de chaleur supérieur. La chambre à vapeur utilise des nano fluides pour un meilleur transfert de chaleur.

- **Fluide de chemise-eau dans le générateur d'électricité :**

La gestion de l'espace des machines est le principal problème de tout véhicule automobile. La taille du composant (refroidissement) ne peut être réduite que si nous

améliorons les performances de transfert de chaleur des pièces. Le nano fluide est celui de l'option pour améliorer les performances de la pièce et développer la compacité.

- **Énergie solaire - système d'énergie thermique :**

Pour absorber le rayonnement solaire, le fluide de travail passe à travers le système d'énergie thermique solaire. L'énergie absorbée par le fluide est envoyée à l'échangeur de chaleur à d'autres fins. L'énergie solaire absorbée par le fluide de travail est généralement transférée à l'échangeur de chaleur pour d'autres applications.

- **Huile de refroidissement dans le transformateur :**

Le transformateur est un équipement électrique de transmission de puissance. La chaleur générée dans le transformateur est absorbée par l'huile. Si nous ajoutons des nanoparticules dans l'huile de refroidissement. Les performances du transformateur peuvent être améliorées. Autre utilisation du nano fluide dans le domaine de l'amélioration du transfert de chaleur: Processus de réfrigération.

Le processus de réfrigération travaille sur différents cycles thermodynamiques. Le fluide de travail dans ce processus est le réfrigérant. Les propriétés thermiques de certains réfrigérants peuvent être améliorées par l'utilisation de nanoparticules [10].

- **Refroidissement système d'énergie nucléaire :**

L'énorme quantité de chaleur est produite par la fission nucléaire. Il est nécessaire d'organiser un refroidissement adéquat du système. Le nano fluide est un fluide d'avance qui peut être utilisé dans un système de refroidissement nucléaire [11].

1.2.5. Synthèse de nanoparticules hybrides :

La synthèse de nanoparticules est la première étape pour obtenir un bon nano fluide hybride. Les méthodes de synthèse des différentes nanoparticules hybrides sont résumées ci-dessous :

1.2.5.1. Synthèse de la poudre nano-composite Al₂O₃-Cu:

Des nitrates solubles de cuivre (Cu (NO₃)₂.3H₂O) et d'aluminium (Al (NO₃)₃.9H₂O) ont été dissous dans l'eau. Les proportions des sels susmentionnés ont été déterminées de manière à avoir une proportion relative prédéfinie d'alumine et d'oxyde de cuivre dans le mélange de poudre. La solution a été séchée par pulvérisation à 180 °C pour obtenir la poudre précurseur. La poudre précurseur a ensuite été chauffée à 900 °C dans l'atmosphère pendant 60 minutes pour former un mélange de poudre d'oxyde de cuivre et d'Al₂O₃ stable. Un four tubulaire a été utilisé pour chauffer le mélange à 400 °C pendant 1 heure dans l'atmosphère d'hydrogène. L'échantillon de poudre a ensuite été placé dans un bateau d'alumine et ensuite conservé dans un tube d'alumine placé horizontalement du four qui a été chauffé par des éléments chauffants en carbure de silicium. Le CuO a été réduit préférentiellement dans l'hydrogène au cuivre métallique alors que l'Al₂O₃ reste inchangé. Le mélange de poudre a finalement été broyé à la bille à 400 tours par minute pendant 1 h. afin d'obtenir une poudre composite homogène Al₂O₃-Cu [11].

1.2.5.2. Synthèse de GO-Fe₃O₄ :

Des flocons d'oxyde de graphène ont été dissous dans 100 ml d'eau distillée par ultrason cation. FeCl₃.6H₂O et FeCl₂.4H₂O dans un rapport de 1,75 ont été mélangés avec de l'eau distillée et le mélange a été agité avec une solution d'oxyde de graphène pendant 45min. L'hydroxyde de sodium a été ajouté en goutte et un précipité noir a été obtenu. Le précipité a ensuite été lavé à l'eau distillée et a finalement été lyophilisé pendant 24h pour obtenir l'hybride GO-Fe₃O₄ [11]. L'acide chlorhydrique et l'acide nitrique dans un rapport molaire de 1:3 ont été mélangés à la CNT à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 72h à 60°C. Le mélange ci-dessus a été lavé avec de l'eau distillée et de l'acétone, puis séché au four à 80°C pendant 24h. Ce processus donne lieu à la formation de groupe carboxyle dans la surface CNT qui facilite son hybridation. Le CNT carboxyle a été dispersée dans 50 ml d'eau distillée pendant 1 heure. Par agitation magnétique, des sels de FeCl₃⁺ /FeCl₂⁺ dans le rapport molaire de 2 ont été ajoutés au mélange. L'hydroxyde de sodium aqueux a été additionné graduellement pour ajuster le pH à 12, puis remué pendant 30 minutes. Enfin le précipité est ensuite lavé à l'eau distillée, acétone et séché pendant 24h à 80°C [12].

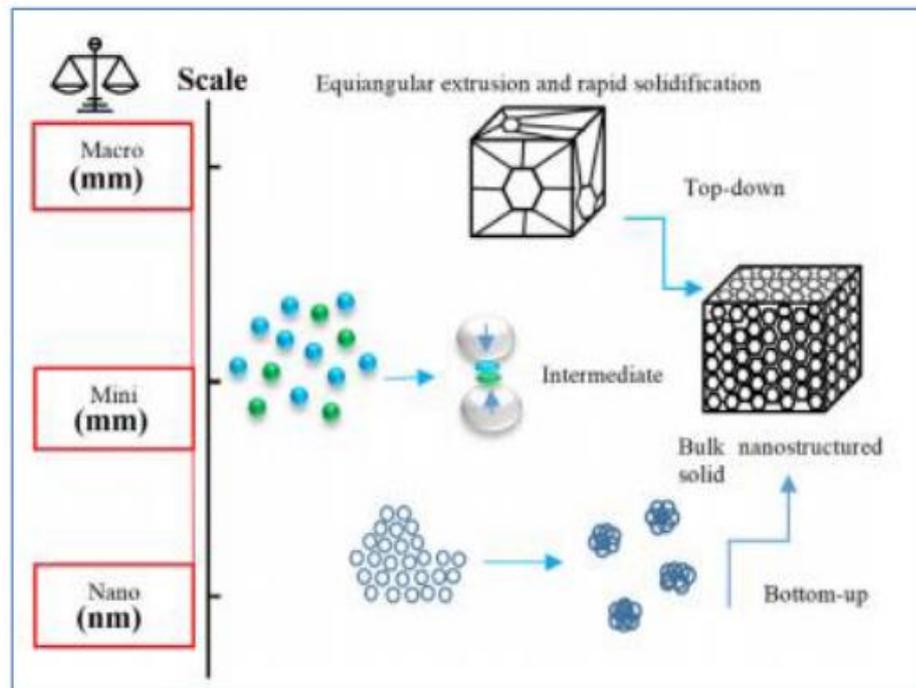


Figure I. 8: Méthodes de production descendantes et ascendantes pour fabriquer différents types de nanostructures [13].

I.2.6. Méthodes de préparation des nano fluides hybrides :

Les nano fluides hybrides sont généralement préparés par une méthode en une ou deux étapes. La méthode en une seule étape convient à la production à petite échelle, tandis que la méthode en deux étapes est bon marché pour la production de masse.

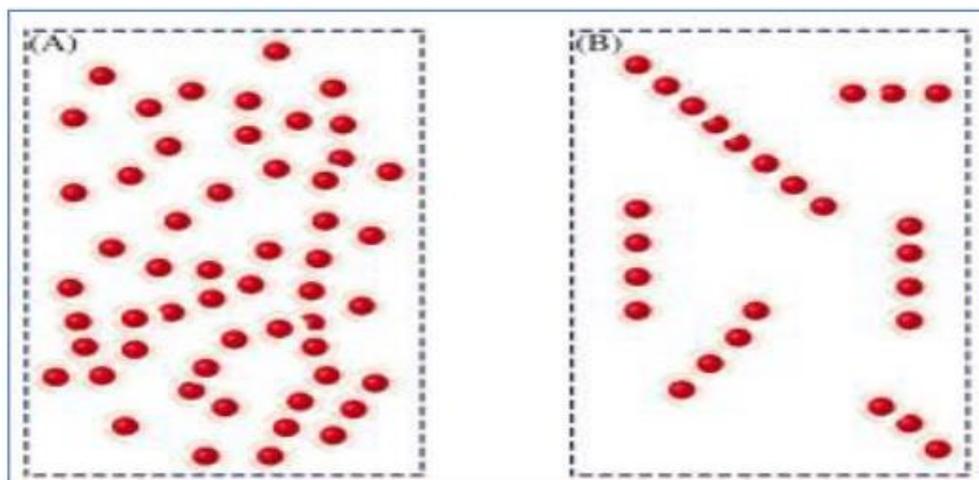


Figure I. 9: Distribution différente des particules dans le fluide de base. (A) avant la formation des nanoparticules, (B) après la formation des nanoparticules [14].

1.3.6.1.Méthode en une seule étape :

La méthode en une seule étape PWE (évaporation de fil d'impulsion) est la méthode la plus importante de produire des nano fluides. L'appareil se compose d'un banc de condensateurs, d'une alimentation CC haute tension, d'une chambre de condensation et d'un interrupteur d'écart haute tension. Le procédé consiste à diriger l'impulsion de haute tension (300V) à travers un fil mince et à la suite du chauffage de non-équilibre dans les microsecondes le fil s'évapore dans le plasma. Le plasma est ensuite mis en contact avec du gaz inerte Ar ou N₂ en condensant le plasma en poudre de nano taille. Le nano fluide avec une concentration de volume donnée est ensuite versé dans une bouteille explosive contenue dans l'instrument PWE et ensuite mélangé avec la poudre de nano taille ci-dessus pour obtenir un nano fluide hybride. Ce procédé est la méthode la plus prometteuse pour la préparation de nano fluides à faible coût.

Lee et al, [15] ont indiqué que la taille des nanoparticules dépend du degré de surchauffe appliqué au fil : avec l'augmentation de la surchauffe, la taille des particules diminue. La taille des particules diminue avec l'augmentation de la pression du gaz inerte et la taille des particules diminue considérablement avec la diminution du diamètre du fil. **Munkhbayar et al**, [16] ont utilisé ce processus pour préparer un nano fluide hybride de nanotube de carbone argenté à parois multiples (Ag/MWCNT).

1.3.6.2.Méthode en deux étapes :

Dans cette méthode, la nano poudre hybride est tout d'abord produite par des procédés chimiques, physiques ou mécaniques tels que le broyage, le broyage, ainsi que le processus de gel ou la méthode en phase vapeur. Deuxièmement, la nano poudre hybride préparée est ensuite dispersée dans le fluide de base à l'aide d'un équipement de mélange de cisaillement élevé ou ultrason cation à l'aide d'un vibromasseur à ultrasons. Ce procédé est très bon marché pour la production de masse de nano fluide hybride.

Baby et Sundara [17] utilisé cette méthode pour produire un nano fluide hybride contenant de l'argent et de fonctionnaliser graphène. **Chopkar et al**, [17] ont utilisé une méthode en deux étapes pour préparer un nano fluide hybride d'Al₂Cu et d'Ag₂Al avec de l'éthylène glycol et de l'ID comme fluides de base. Les poudres composites ont été obtenues par alliage mécanique. La figure II.9 montre le schéma de synthèse de CuO/HEG et de fabrication de nano fluides avec le composite. Le HEG subit un

traitement acide afin d'introduire le groupe fonctionnel carboxyle et hydroxyle sur le graphène, le graphène fonctionnalisé a été utilisé pour décorer les nanoparticules CuO.

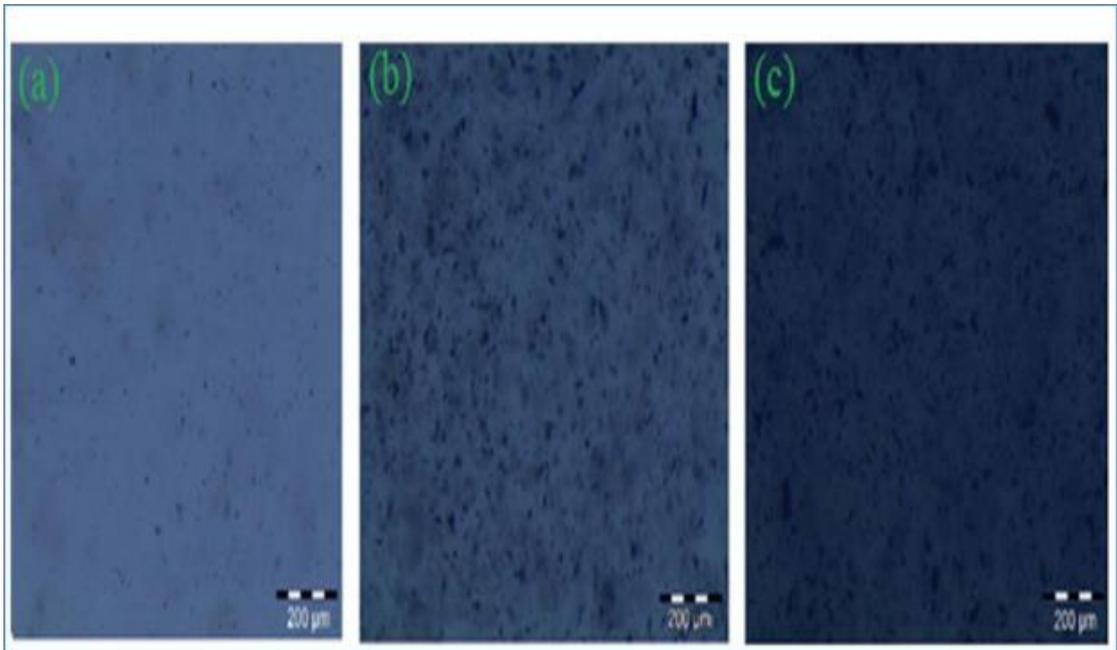


Figure I. 10: Images optiques des nano fluides hybrides ACG/EG à différentes concentrations (a) 0,02 %, (b) 0,04 % et (c) 0,06 % [18].

1.3. Généralité sur le transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur est une discipline riche en phénomènes physiques et en applications pratiques relatives à notre quotidien. Elle fait partie des sciences de l'ingénieur. Le deuxième principe de la thermodynamique admet que la transmission de la chaleur ne peut se faire que d'un corps chaud vers un corps froid, c'est-à-dire d'un corps à température donnée vers un autre à température plus basse. Le transfert de chaleur se produit suivant trois modes :

1.3.1. Le transfert par conduction :

La conduction représente le processus de propagation de la chaleur par le contact direct entre les particules d'un corps ou entre des corps ayant des niveaux énergétiques - donc des températures-différents, suite au mouvement de ces particules élémentaires. Le Flux thermique conductif qui traverse un composant dépend de sa géométrie, de son épaisseur, du matériau ainsi que de la différence de température au travers le composant. La transmission est provoquée par la différence de température entre deux régions d'un milieu en contact physique. Il n'y a pas de déplacement appréciable des atomes ou molécules.

1.3.2. Le transfert par rayonnement :

Lorsqu'une surface chaude est entourée par des surfaces froides comme les parois de la structure, il existe un refroidissement par radiation. Ce refroidissement par radiation dépend de l'émissivité du matériau qui compose la surface chaude. L'émissivité d'un matériau (souvent écrite ϵ) est un nombre sans dimension. Elle rend compte de la capacité d'un matériau à émettre de l'énergie par rayonnement. Plus cette émissivité est proche de 1, plus le matériau radiera de chaleur.

1.3.3. Le transfert par convection :

Le phénomène de convection se réfère au transfert thermique qui a lieu dans les fluides liquides ou gaz en mouvement. La convection est le processus de transfert thermique déterminé par le mouvement des particules élémentaires d'un fluide entre des zones ayant des températures différentes. Ce mouvement entraîne un mélange intense des particules fluides, qui échangent de l'énergie (chaleur) et de la quantité de mouvement (impulse) entre elles.

On distingue deux types de convection par la suite :

✚ La convection naturelle :

En convection naturelle, les mouvements des particules de fluide ont pour origine les différences de masse volumique induites par un gradient de température imposé, en présence du champ de gravités.

✚ La convection forcée :

La convection forcée dans la quelle le mouvement est provoqué par un procédé mécanique (pompe, ventilateur, etc.) indépendant des phénomènes thermiques, c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide.

✚ La convection mixte :

La convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et forcée) quand les vitesses d'écoulement, fictives, dues aux deux types de convections sont considérées séparément, du même ordre de grandeur.

1.3.4. Les nombres sans dimension :

L'étude des problèmes de transfert de chaleur par convection implique la résolution d'équations différentielles qui décrivent la mécanique des fluides, les échanges d'énergie, les transferts de masse. Ces équations sont généralement liées et difficiles à résoudre théoriquement, ce qui conduit à associer à la théorie l'expérimentation permettant de trouver les valeurs des grandeurs recherchent.

L'expérimentation est souvent menée à une échelle différente de la réalité industrielle. La nécessité de définir des corrélations qui soient applicables à des appareils de tailles différentes opérant dans des situations différentes conduit à l'utilisation de paramètres adimensionnels qui permettent de définir des similitudes [19].

On peut déterminer les nombres sans dimensions en considérant toutes les forces qui peuvent s'appliquer sur un fluide. Ainsi, on a défini les forces et leurs unités de mesure dans le système international [SI] par rapport aux variables fondamentales :

-Les forces d'inertie : $F_a = ma$ $[F_a] = \rho L^2 V^2$ (I. 12)

-les forces de viscosité : $F_\mu = \tau s$ $[F_\mu] = \mu L V$ (I. 13)

-Les forces de gravité : $F_g = mg$ $[F_g] = \rho g L^3$ (I. 14)

I.3.4.1. Nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds est proportionnel au rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité. Il peut être exprimé comme.

$$\frac{F_a}{F_\mu} = \frac{\text{forces d'inertie}}{\text{forces de viscosité}} \quad (\text{I. 15})$$

$$\frac{F_a}{F_\mu} = \frac{\rho L^2 V^2}{\mu L V} = \frac{\rho V L}{\mu} = Re \quad (\text{I. 16})$$

Où V : La vitesse moyenne [m/s].

L : La longueur caractéristique [m].

Le nombre de Reynolds permet de quantifier les écoulements laminaires et turbulents. Les écoulements à nombre de Reynolds élevé sont générale turbulents, alors que les écoulements où les forces d'inertie sont faibles par rapport aux forces visqueuses sont plus souvent laminaires.

I.3.4.2. Nombre de Prandtl :

Le nombre de Prandtl est proportionnel au rapport entre le diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité thermique. Il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux. Il peut être exprimé comme:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (\text{I. 17})$$

I.3.4.3. Nombre de Nusselt :

Le nombre de Nusselt est proportionnel au rapport entre le transfert thermique total et Le transfert par conduction.

Il peut être exprimé comme :

$$Nu = \frac{hL}{K} \quad (\text{I. 18})$$

Où h : Le coefficient d'échange thermique [$Wm^{-2}.K^{-1}$].

I.3.4.4. Nombre de Grashof :

Le nombre de Grashof est proportionnel au rapport entre les forces de gravité par les forces Visqueuse.

Il peut être exprimé comme :

$$\frac{F_g}{F_\mu} = \frac{\text{forces de gravité}}{\text{forces de visqueusité}} \quad (\text{I. 19})$$

$$\frac{F_g}{F_\mu} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_c^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad (\text{I. 20})$$

Où g : L'accélération de la pesanteur [$m \cdot m^{-2}$].

ΔT : La différence de température [$^{\circ}C$].

I.3.4.5. Nombre de Rayleigh :

Le nombre de Rayleigh est proportionnel entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la traînée visqueuse par le taux de diffusion thermique.

Il peut être exprimé comme:

$$Ra = \frac{g}{\nu \alpha} (T_s - T_\infty) L_c^3 = Gr \cdot Pr \quad (\text{I. 21})$$

Où T_s : La température de la paroi [$^{\circ}C$].

T_∞ : La température du fluide loin de la paroi [$^{\circ}C$].

ν : La viscosité cinématique = $\frac{\mu}{\rho}$ [$m^2 \cdot s^{-1}$].

α : La diffusivité thermique = $\frac{K}{\rho C}$ [$m^2 \cdot s^{-1}$].

- L'élément perturbateur : poussée d'Archimède.
- Les éléments stabilisateurs : la viscosité et la conductivité thermique
- ✓ Si $Ra < 1710 = Rac$, l'écoulement est stable.
- ✓ Si $Ra \geq 1710$, apparition des rouleaux de Bénard.

Rac étant la valeur critique de Rayleigh dans une couche horizontale infinie. [20]

I.3.5. Techniques d'Amélioration le transfert de chaleur :

❖ Avec les nano fluides :

L'augmentation de la conductivité thermique du fluide caloporteur permet d'améliorer l'efficacité du processus de transfert thermique associé. Lorsque la convection forcée dans les échangeurs compacts ou la convection naturelle dans les enceintes est considérée, il est prévu que le coefficient de transfert de chaleur s'améliore en utilisant les nano fluides et que l'amélioration est principalement due à la conductivité thermique du nano fluide, en raison de la définition de nombre de Nusselt.

Cependant, la recherche sur le transfert de chaleur par convection de nan fluide sa indiqué que l'amélioration du coefficient de transfert de chaleur dépasse l'amélioration de conductivité thermique des nano fluides.

❖ **Avec les nano fluides hybride :**

Les nano fluides hybrides peuvent remplacer les nano fluides simples puisqu'ils fournissent plus d'amélioration de transfert de chaleur. Le nano fluide hybride est une nouvelle classe de nano fluides conçus en dispersant deux nanoparticules différentes dans un fluide de transfert de chaleur conventionnel qui l'augmentation doublement de la conductivité thermique du fluide caloporteur permet d'améliorer l'efficacité du processus de transfert thermique associé.

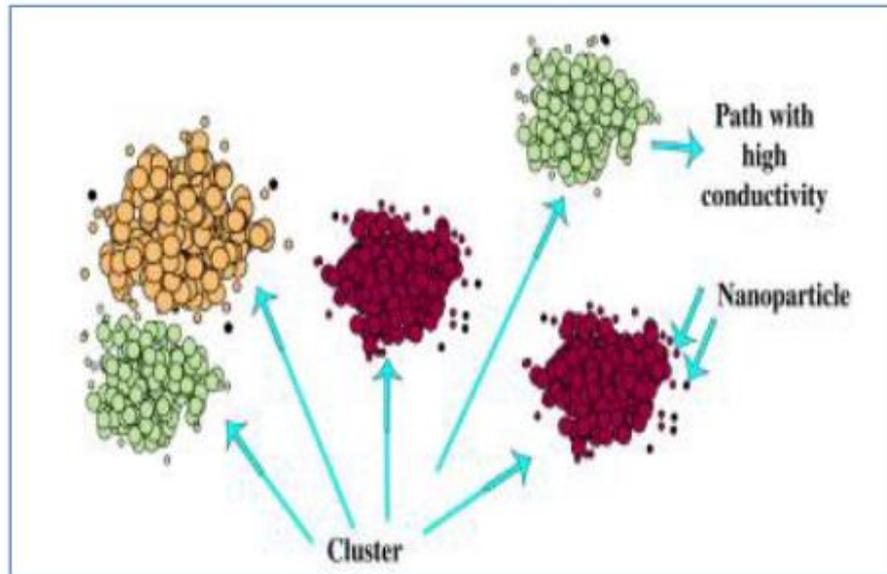


Figure I. 11: Effet d'accumulation sur l'amélioration de la conductivité thermique des nano fluides [21].

I.4. Conclusion :

Le nano fluide hybride est une nouvelle classe de nano fluides conçus en dispersant deux nanoparticules différentes dans un fluide de transfert de chaleur conventionnel, Dans ce chapitre, nous avons vu à travers cette étude bibliographique les généralités des nano fluides, nano fluide hybride, et leur relation avec l'amélioration de transfert thermique.

Enfin, l'utilisation de nanofluides hybrides comme fluide thermique est nouvelle Parce qu'il est encore en phase de recherche.

Chapitre II

Modélisation mathématique

II. Modèle mathématique généralisé:

II.1. Introduction :

L'étude des flux de convection à l'échelle nanométrique revêt une importance particulière du point de vue de la recherche fondamentale. Le transfert de chaleur par convection est une forme d'énergie. Transférer de l'énergie entre une surface solide et un fluide, soit un liquide ou un gaz.

Le but de ce chapitre est de présenter la géométrie de notre cas d'étude suivie des équations du problème où les équations de continuité et de quantité de mouvement et l'équation de conservation de l'énergie, ainsi que les conditions aux limites et les hypothèses pour simplifier le phénomène considéré.

II.2. Equations générales en régime laminaire :

La formulation mathématique des phénomènes de la convection pour un problème donné bidimensionnel ou tridimensionnel, transitoire ou permanent, repose sur les équations liant les différents paramètres à savoir : la vitesse, la pression et la température.

Ces équations sont obtenues comme cas particuliers à partir des équations générales suivantes :

Equation de continuité :

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot v) = 0 \quad (\text{II.1})$$

Où ρ est la masse volumique et V est le vecteur de vitesse.

Equation de quantité de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent. Il indique que le taux de variation de quantité de mouvement contenu dans le

volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Il s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{D}{Dt}(\rho \cdot V) = \rho F - \text{grad}(p) + \mu \Delta + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}(v)) \quad (\text{II. 2})$$

Où

F est une force par unité de volume et μ est la viscosité dynamique.

Equation de conservation d'énergie :

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit:

$$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T) = \Delta(K \cdot T) + q + \beta T \frac{Dp}{DT} + \mu \Phi \quad (\text{II. 3})$$

Avec :

$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T)$: La variation totale d'énergie (par accumulation et convection).

$\Delta(K \cdot T)$: La variation d'énergie par conduction.

q : Puissance volumique dissipée.

$\beta T \frac{Dp}{DT}$: La variation d'énergie due à la compressibilité.

$\mu \Phi$: La dissipation irréversible due au frottement visqueux.

II.3. Modèle mathématique pour le cas étudié :

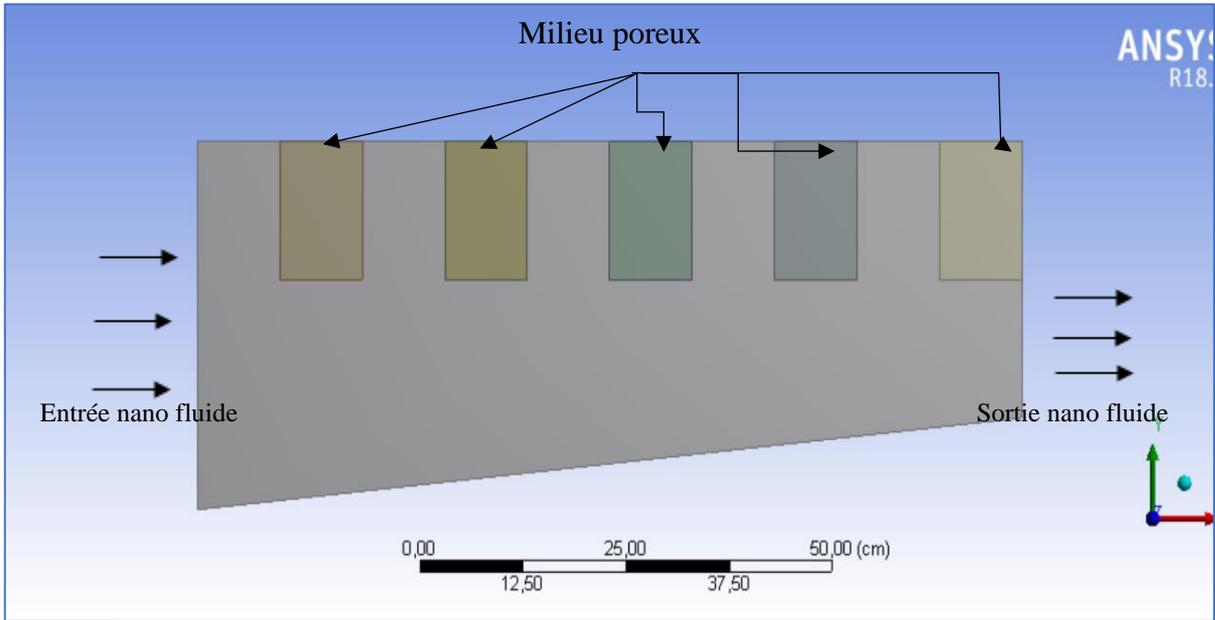
La géométrie du problème étudié :

Tableau II.1: Dimensionnement du canal trapézoïdal qui contient des obstructions.

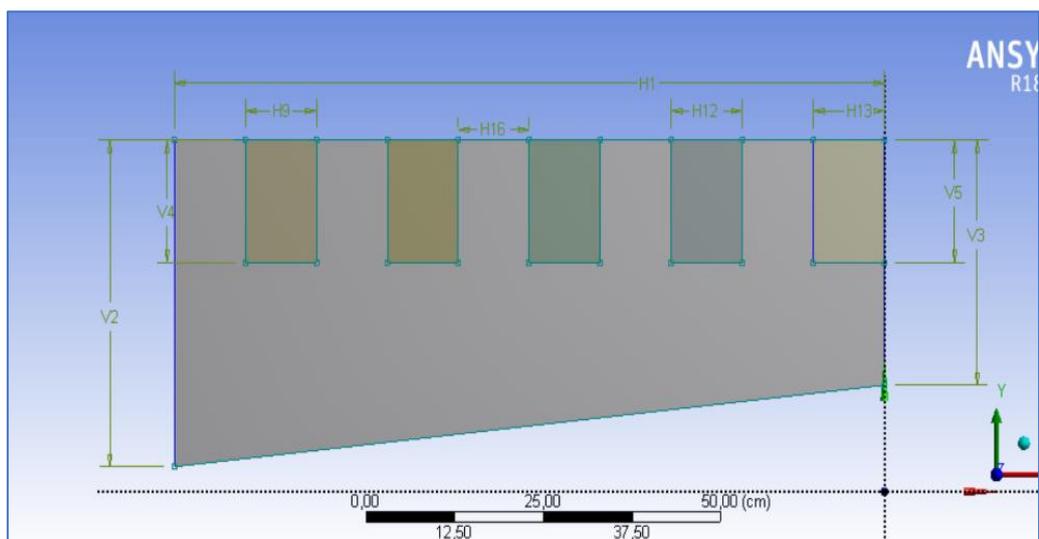
| H1 | V2 | V7 | V3 | H3 | H4 |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Longueur total (L) est de 100cm | Largeur du canal est de 40 cm | Hauteur d'obstacle de 15m | Largeur d'obstacle de 10 cm | Hauteur du canal est de 10 cm | Largeur du outlet est de 30cm |

La paroi supérieure du canal est soumise à un flux de chaleur uniforme généré par les composants électroniques.

On se propose d'étudier l'efficacité de l'échange thermique sur un système composé d'une source de chaleur, d'un canal trapézoïdal contenant des obstructions (milieu poreux) et d'un nano-fluide hybride ($AL_2O_3-SiO_2-H_2O$). Le fluide circulant dans le micro canal est constitué d'eau avec une partie des molécules AL_2O_3 et SiO_2 . Le nombre d'obstacles est jusqu'à cinq. Voir les figures (II.1 et II.2)



Figures II. 1: Présentation du mouvement du nanofluide dans le canal.



Figures II. 2: Afficher la géométrie et les obstructions du canal trapézoïdal.

II.4. Formulation mathématique du problème :

La formulation mathématique des phénomènes de la convection est basée sur des équations qui relient les différents paramètres: pression, température et vitesse. Ces équations découlent de lois de conservation de masse, de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie.

II.4.1. Hypothèses simplificatrices :

Afin de résoudre la solution des équations qui contrôlent le flux de nanoparticules, on va adopter les hypothèses de simplification suivantes :

- L'écoulement est stationnaire et bidimensionnel.
- Le fluide est Newtonien et incompressible.
- L'écoulement engendré est laminaire.
- Le flux de la source de chaleur est constant dans le temps.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.
- La puissance volumique dissipée est négligeable.
- Le travail, induit par les forces visqueuses et de pression, est négligeable.

II.4.2. Equation de continuité :

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

II.4.3. Equation de quantité de mouvement :

- Equation de la conservation de la quantité de mouvement suivant x :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \right] \quad (\text{II. 6})$$

- Equation de la conservation de la quantité de mouvement suivant y :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + (\rho\beta)_{nf} g(T - T_0) \right] \quad (\text{II. 7})$$

II.4.4. Equation de l'énergie :

L'équation de l'énergie est obtenue en appliquant le principe de la conservation de l'énergie dans la direction x et y comme suit :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II. 8})$$

II.5. Les propriétés thermo physiques des nano fluides hybrides

Les propriétés thermo physiques, pour le fluide de base et de l'oxyde de SiO_2 et Al_2O_3 sont présentées dans le tableau (II.2). La densité effective, la diffusivité thermique, la capacité thermique et le coefficient de dilatation thermique de la nano fluide hybride sont calculés en utilisant les expressions suivantes:

Tableau II.2 : Les propriétés thermo physique de nanoparticules et fluide de base.

| | l'eau | SiO_2 | Al_2O_3 |
|-----------------------------|-------|---------|-----------|
| C_p (J/kg.k) | 4179 | 765 | 765 |
| K (W/m.K) | 0.613 | 36 | 40 |
| ρ (kg/m ³) | 997.1 | 3970 | 3970 |

II.6. Conditions aux limites :

Dans ce travail, les conditions aux limites hydrodynamiques et les limites thermiques sont choisies comme suit:

- Le régime d'écoulement est laminaire.
- La température du nano fluide utilisé été fixé à l'entrée du micro-canal.
- La température du nano fluide utilisé été fixé $T_{in} = 280$ K à l'entrée.
- La vitesse est appliquée comme condition de la limite hydrodynamique lors de l'entrée dans le micro-canal.

le nanofluide utilisé est (eau- Al_2O_3 - SiO_2) est le fluide qui traverse micro-canal.

Tableau II.3: Conditions aux limites hydrodynamiques et thermiques.

| Limites | Conditions | |
|---|---|-------------------------------------|
| | hydrodynamiques | thermiques |
| $x = 0$ à l'entrée de canal $0 < y < H$ | $u = U_{en}$ $v = 0$ | $T = T_{en}$ |
| $x = L$ à la sortie de canal $0 < y < H$ | $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = 0$ | $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ |
| $y = 0$ paroi inférieur $0 < x < L$ | $u = 0$ $v = 0$ | $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$ |
| $y = H$ paroi supérieur $0 < x < L$ | $u = 0$ $v = 0$ | $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$ |

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé le modèle physique examiné et les équations qui régissent ce modèle physique, ensuite, le phénomène de la grosse convection dans un canal trapézoïdal contenant des obstructions et en présence d'un fluide nano-hybride , nous avons spécifié les conditions aux limites sur toutes les frontières du domaine de l'écoulement pour résoudre les équations de la dynamique des fluides qui se font par l'utilisation des méthodes numériques où intervient le concept de la discrétisation.

Chapitre III

Formulation Numérique

III. Formulation Numérique

III.1. Introduction :

Après des années, le développement des ordinateurs a encouragé les scientifiques à résoudre des problèmes de plus en plus complexes pour lesquelles les solutions analytiques ne peuvent être trouvées.

La résolution des équations d'un phénomène physique de convection thermique se fait par l'utilisation d'une méthode numérique. Ces types des phénomènes sont généralement modélisés par des équations aux dérivées partielles (E.D.P) non-linéaires. Cette dernière consiste à développer les moyens de la résolution de ces équations. A cette étape, intervient le concept de la discrétisation. Pour obtenir une solution numérique, le modèle mathématique constitué par une équation différentielle aux dérivées partielles (EDP) ou par un système d'EDP est transformé, à l'aide d'une méthode de discrétisation en système d'équations algébriques. Il existe plusieurs schémas de discrétisations des équations aux dérivées partielles (E.D.P) : les différences finies, les éléments finis et les volumes finis [23].

Ce chapitre est dédié à la modélisation de l'écoulement et du transfert thermique dans les Micro canaux. On traite de l'étude du refroidissement de composants électroniques, principalement à l'aide du logiciel Workbench ANSYS qui est spécialement destiné à la dynamique des fluides numérique (CFD), CFD «computational fluid dynamics» ensemble des méthodes numériques pour obtenir une solution approchée pour des problèmes de la dynamique des fluides et transfert de chaleur. Équations de la mécanique des fluides sur ceux resaluent par des méthodes numériques. Les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie sont résolues par la méthode des volumes finis, en utilisant le code de calcul FLUENT.

III.2. Procédure de la simulation

III.2.1. Logiciel ANSYS Workbench

Le Workbench est un logiciel permet de gérer les fichiers et le lancement des différents logiciels à partir d'une fenêtre unique.



Figure III. 1: Fenêtre lancement du logiciel.

III.2.2. Menu principal du logiciel d'ANSYS Workbench

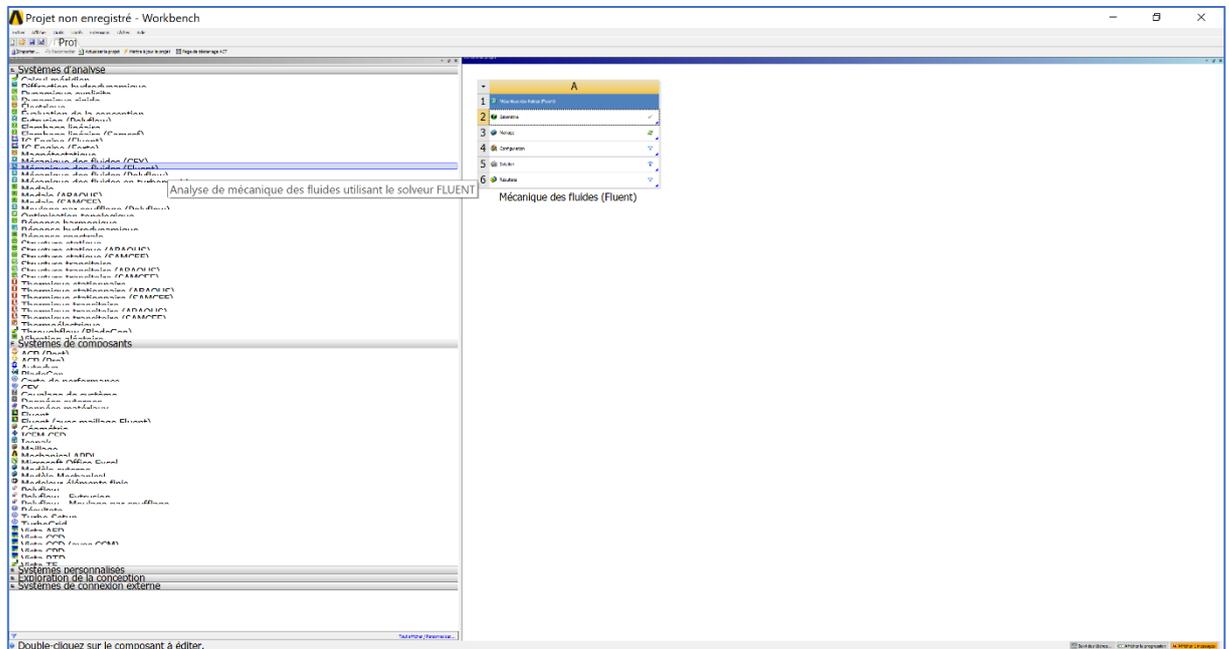


Figure III. 2: Création d'une analyse (projet) en mécanique de fluide.

Les étapes de calcul se composent de 5 étapes :

- 1. Géométrie** : utilisé pour importer ou de créer ou de modifier ou de mettre à jour un modèle qui peut être utilisé pour l'analyse.
- 2. Maillage** : cette cellule est liée à la définition de la géométrie, systèmes de coordonnées et réseau de communication et du maillage dans le module de simulation mécanique, En plus de déclarer des certaines propriétés physiques des certains matériaux.
- 3. Configuration** : permet de définir les charges et conditions aux limites et une autre configuration pour l'analyse.
- 4. Solution** : cette cellule permet d'accéder aux données de résolution.
- 5. Résultats** : cette cellule combine les résultats de l'analyse.

III.2.3. Création de la géométrie

Pour créer une géométrie avec ANSYS Workbench double-clique sur la géométrie pour ouvrir le module de création géométrique (Design Modeler).

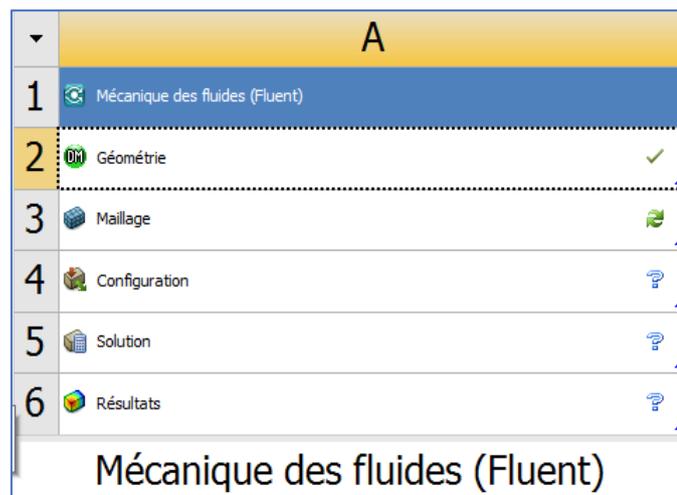


Figure III. 3: Création d'un projet en mécanique de fluide.

Il faut choisir le type d'analyse 2D ou 3D. Après l'ouverture du module de la création d'une géométrie 2D, nous sélectionnons à partir la liste du « Unités » le centimètre (cm) comme unité de dimension.

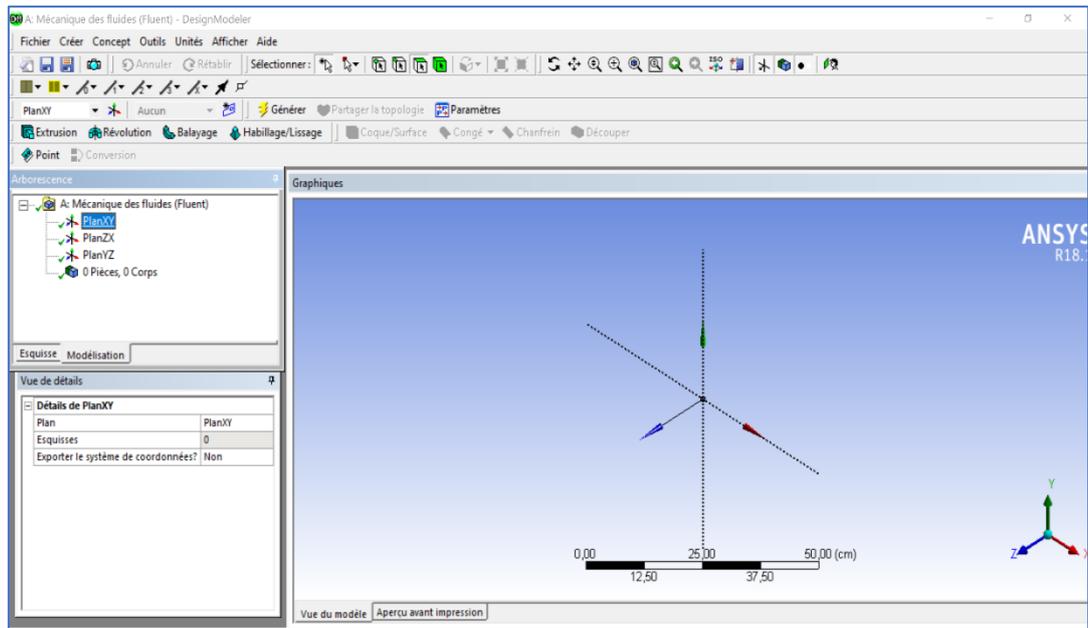


Figure III. 4: Création du modèle de la géométrie.

Par la suite, On choisit le plan et la vue sur laquelle on va travailler. En cliquant sur le plan

XY, et  sur dans la barre d'outils.

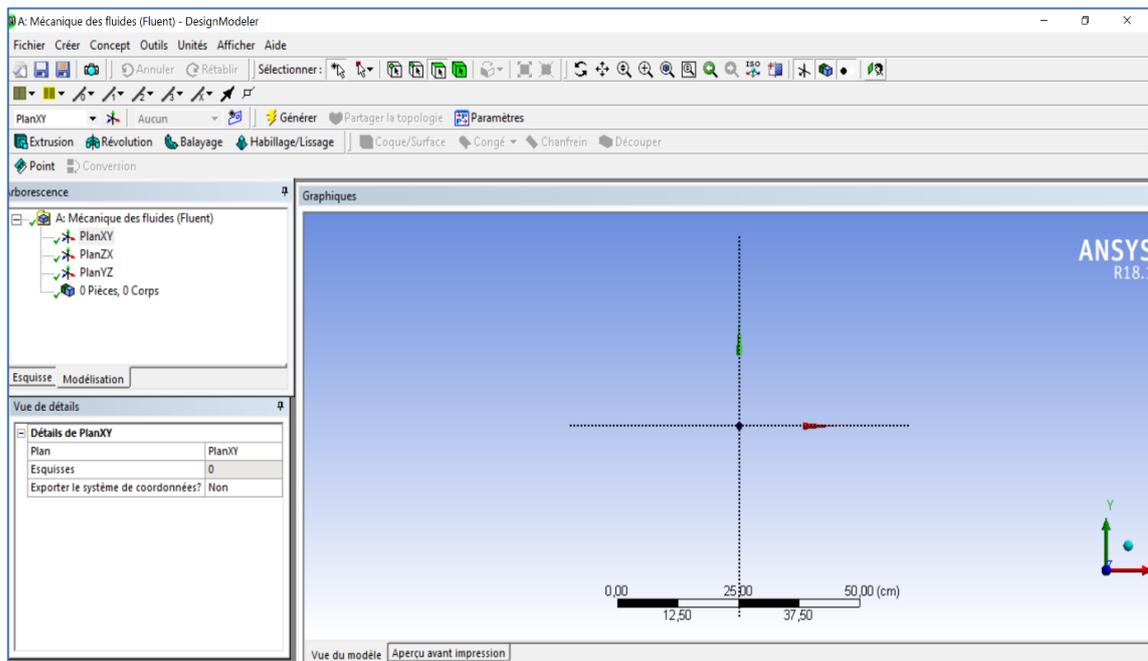


Figure III. 5: Création du modèle (plan de vue).

Une fois que nous ouvrons le module pour créer une géométrie, nous sélectionnons le millimètre comme unité de dimension.

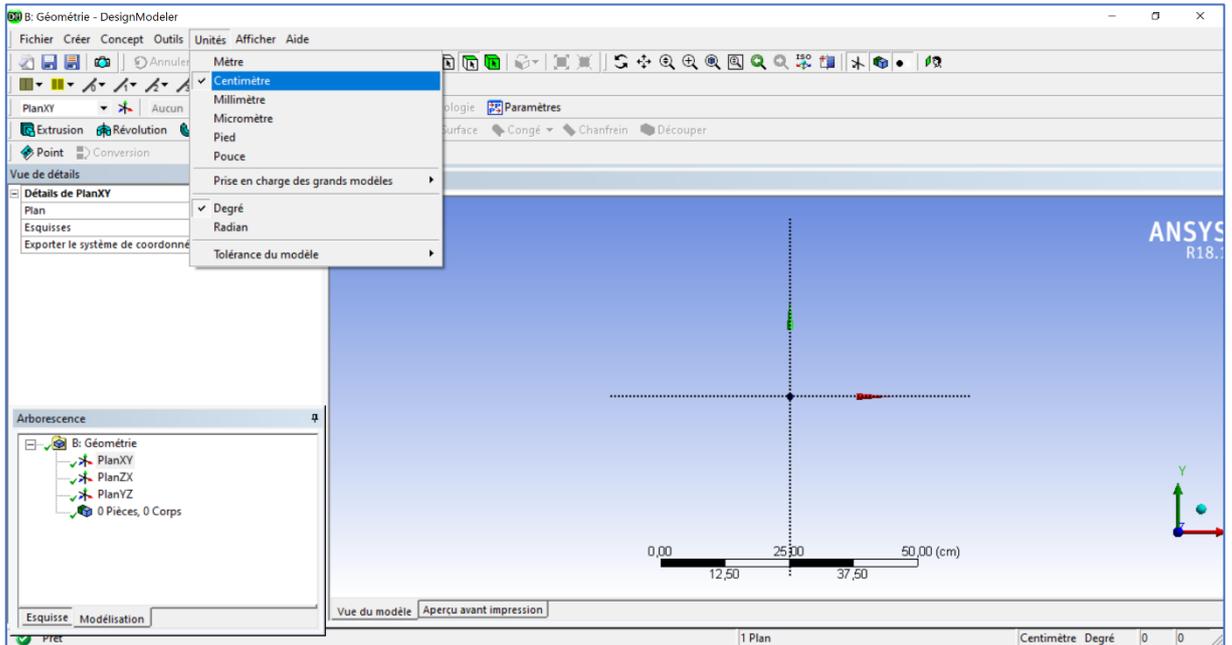


Figure III. 6: Identification de l'unité.

Pour dessiner l'esquisse on clique sur la boîte à outils Esquisse qui va permet de créer la géométrie, d'y ajouter des dimensions et de la contraindre :

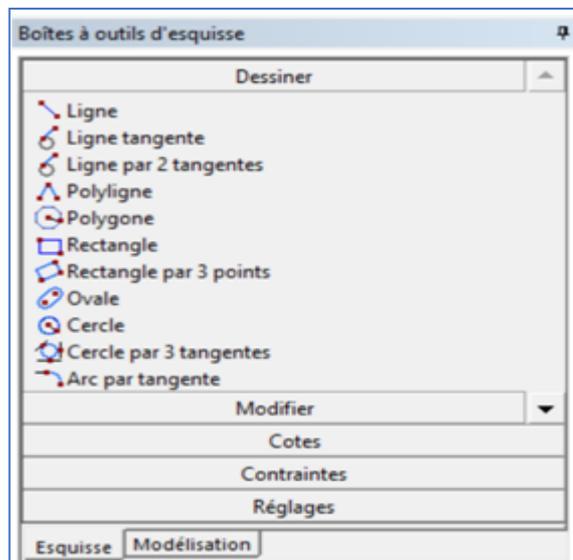


Figure III. 7: Création d'esquisse.

On obtient cette esquisse :

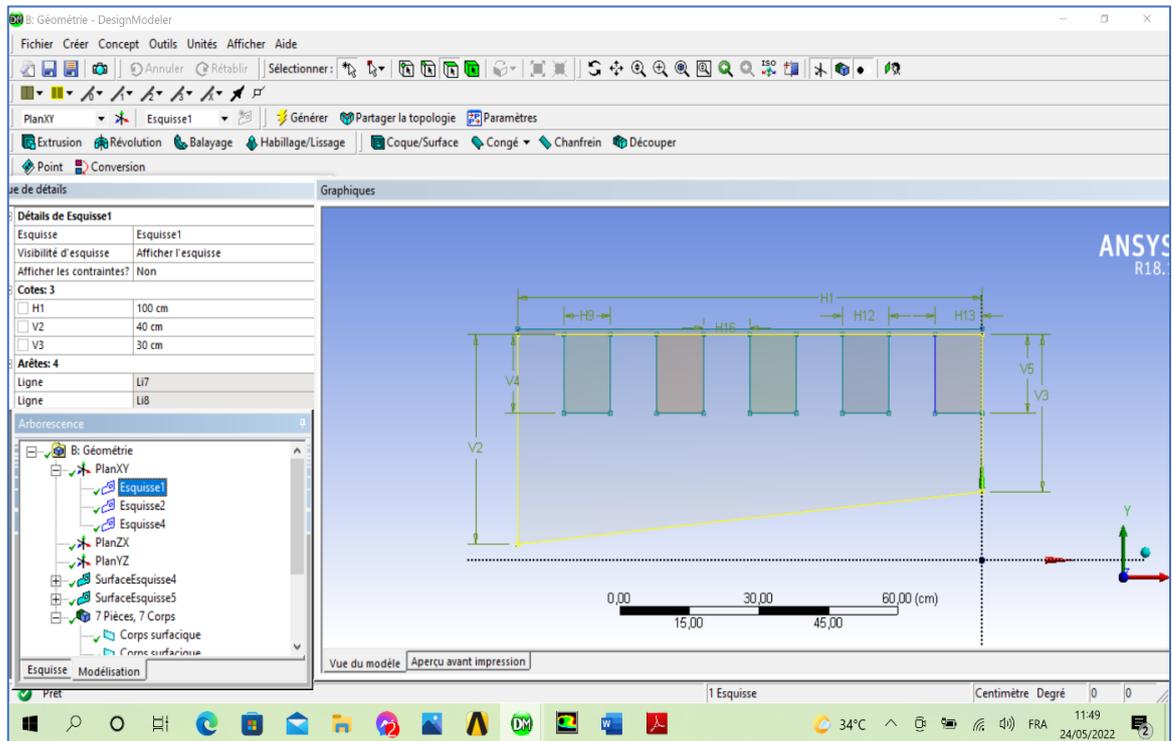


Figure III. 8: Création d'esquisse 1.

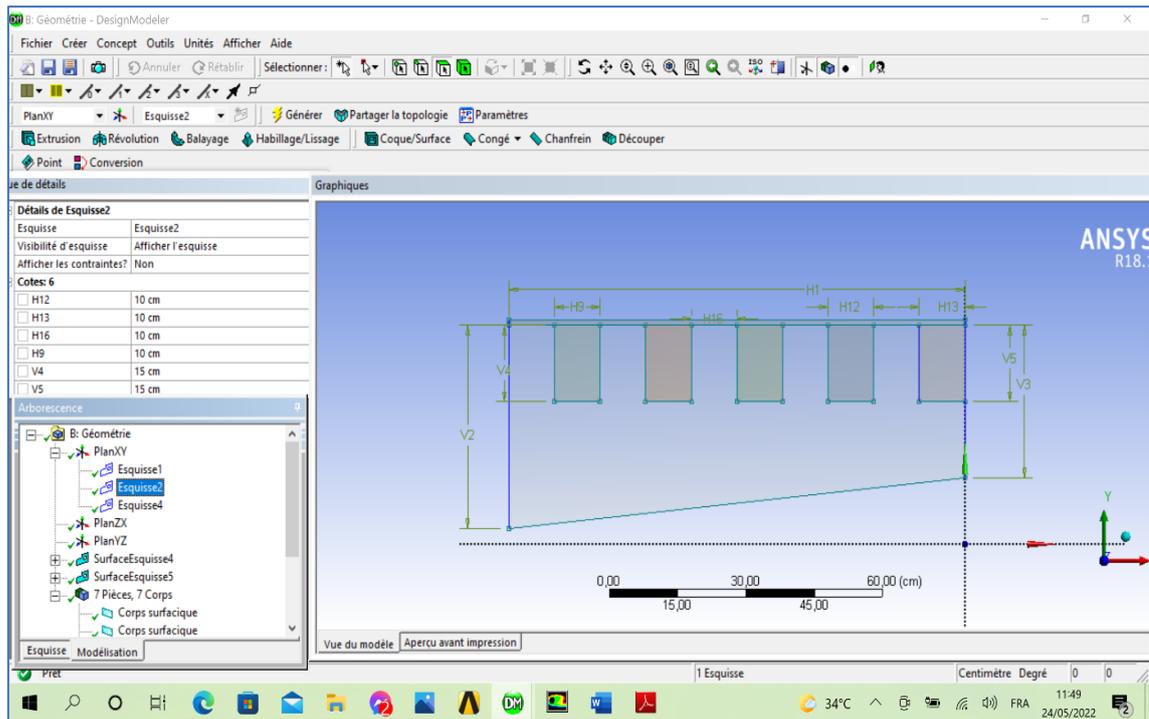


Figure III. 9: Création d'esquisse 2

Maintenant la définition des surfaces se fait dans le menu :

- Concept surface à partir d'esquisse.
- Esquisse.
- Appliquer générer.

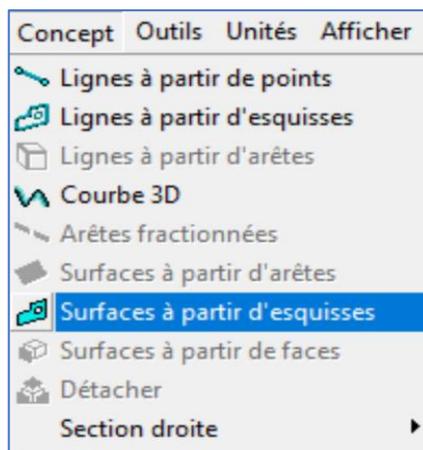


Figure III. 10: Concept surface à partir d'esquisse .

Maintenant nous allons créer vont circuler dans la zone ou le liquide, la surface entourée d'un green fée et préoccupée par la surface non. La définition des sur faces se fait dans le menu Concept Surface à partir d'esquisse → Esquisse → Appliquer → Générer.

Et encore :

Concept Surface à partir d'esquisse → Esquisse → Appliquer → Générer.

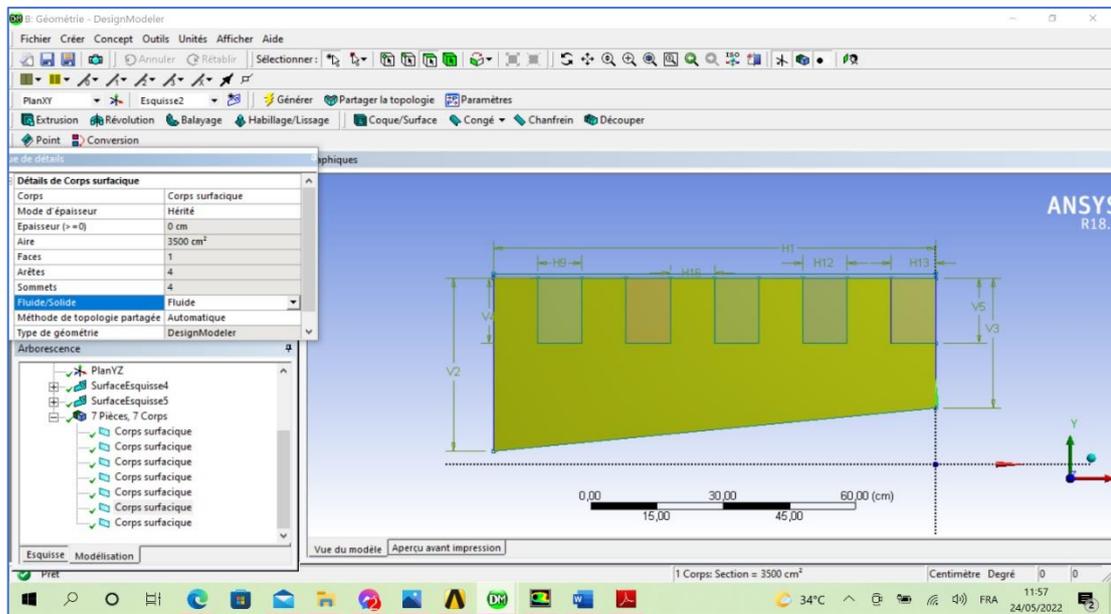


Figure III. 11: Définition de la zone du fluide.

Comme ça on a terminé notre géométrie, il suffit de la sauvegarder et quitter Design Modeler et nous revenons sous Workbench pour passer à l'étape de maillage.

III.2.4. Le maillage

Le maillage sous Workbench a été réalisé avec double-cliquer sur le maillage dans la boîte Workbench une fois. « Meshing » est lancé.

Dans l'étape de maillage, il y a deux points importants à considérer :

- La surnommations des éléments qui construit la géométrie pour réaliser cette dernière étape ; Sélectionner une partie de la géométrie à l'aide de ces deux icones :



: Pour sélectionner les surfaces.



: Pour sélectionner les arrêtes.

Après on clique droit sur l'élément que nous voulons surnomme et on choisi Créer "une sélection nommée" ou directement on clique sur "N", puis Lui donner un nom comme le montre la figure suivante :

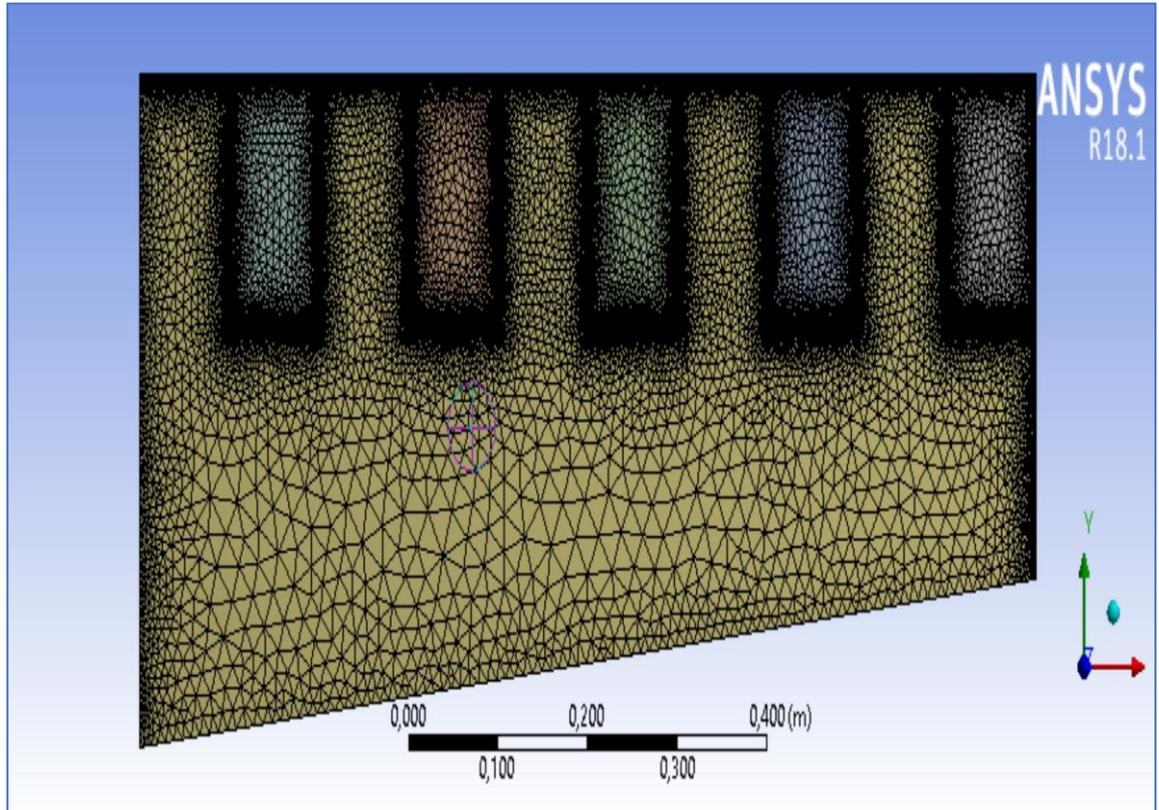
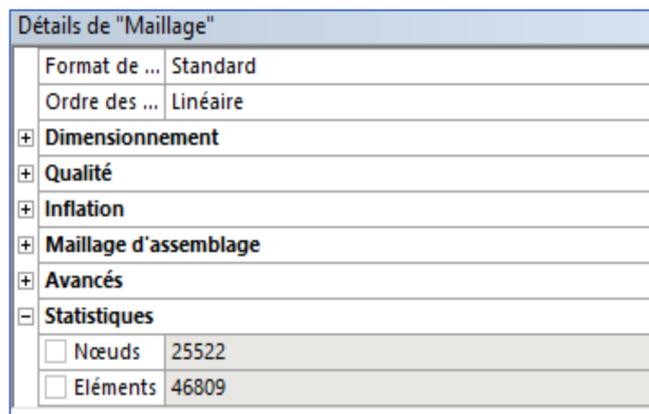


Figure III. 12: le maillage utilisé.

✓ Méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis a été décrite pour la première fois en 1971 par Patankar et Spalding et publiée en 1980 par **Patankar** [23]; le principe de cette méthode repose sur une technique de discrétisation, qui convertit les équations différentielles aux dérivées partielles en équations algébriques non linéaires, qui peuvent par la suite être résolues numériquement. Elle se distingue par la fiabilité de ses résultats, son adaptation au problème physique, sa possibilité de traiter des géométries complexes, sa garantie pour la conservation de masse et de quantité de mouvement et de tout scalaire transportable sur chaque volume de contrôle, dans tout le domaine de calcul, ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes numériques.

Le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de sous-domaines élémentaires,



| Détails de "Maillage" | |
|-----------------------------------|----------|
| Format de ... | Standard |
| Ordre des ... | Linéaire |
| + Dimensionnement | |
| + Qualité | |
| + Inflation | |
| + Maillage d'assemblage | |
| + Avancés | |
| - Statistiques | |
| <input type="checkbox"/> Nœuds | 25522 |
| <input type="checkbox"/> Éléments | 46809 |

Figure III. 13: le nombre des nœuds et les éléments.

appelés volumes de contrôle, Chacun de ces derniers englobe un nœud, dit nœud principal, comme il est indiqué sur la Figure (III.14). La technique des volumes finis consiste à intégrer les équations aux dérivées partielles pour obtenir les équations discrétisées, qui conservent toutes les grandeurs physiques sur chaque volume de contrôle. Elle comporte essentiellement les étapes suivantes :

- La division du domaine considéré en volumes de contrôle;
- La formulation intégrale des équations différentielles aux dérivées partielles;
- Ecriture des équations algébriques aux nœuds du maillage ;

- Résolution du système algébrique non linéaire obtenu.

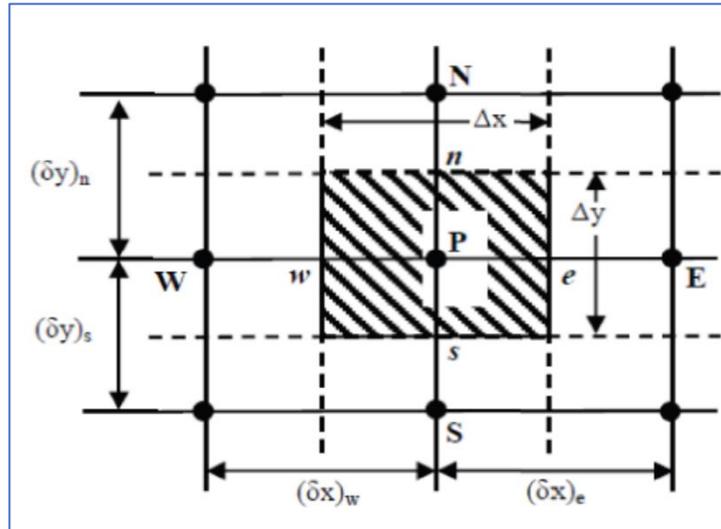


Figure III. 14: Volume de contrôle bidimensionnel.

Pour un nœud principal P, les points E et W (Est et Ouest) sont des voisins dans la direction x, tandis que N et S (Nord et Sud) sont ceux dans la direction y. Le volume de contrôle entourant P est montré par des lignes discontinues, alors que les faces sont localisées aux points e et w dans la direction x, n et s dans la direction y. Dans ce mémoire, la résolution du problème est effectuée par le logiciel FLUENT, qui est basé sur la méthode des volumes finis, en utilisant le schéma « loi de puissance » pour la discrétisation de l'équation de quantité de mouvement et de l'énergie.

III.2.4.1. Configuration

La configuration sous Workbench on a été réalisé avec double-cliquer sur la configuration dans la boite Workbench dans cette étapes les sélections nommées seront affichées

Automatiquement, on va pose nos conditions aux limites et on va pose les données comme montre les figures suivantes :

- **Model** : laminaire, équation de l'énergie, électrique potentielle.
- **Matériels** : On ajoute les matériels utilisé dans notre étude et changeons les propriétés thermiques et physiques (la masse volumique, la chaleur spécifique, la conductivité thermique et la viscosité dynamique) pour le nano fluide hybride.
- **Cell zone conditions** : Nous avons identifié le nano fluide hybride dans la cavité.
- **Boundary Conditions**: Nous avons identifié les conditions aux limites suivantes :
 - ✓ Wall Coll : Température imposée (Température Froids) avec le champ mantique.
 - ✓ Wall Heat : Température imposée (Température chauds).

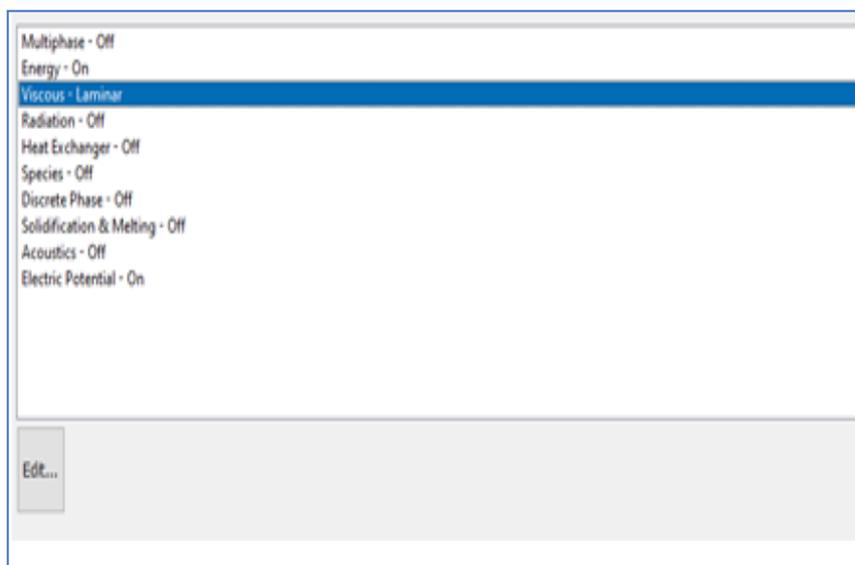


Figure III. 15: Model (laminaire, équation de l'énergie, électrique potentielle).

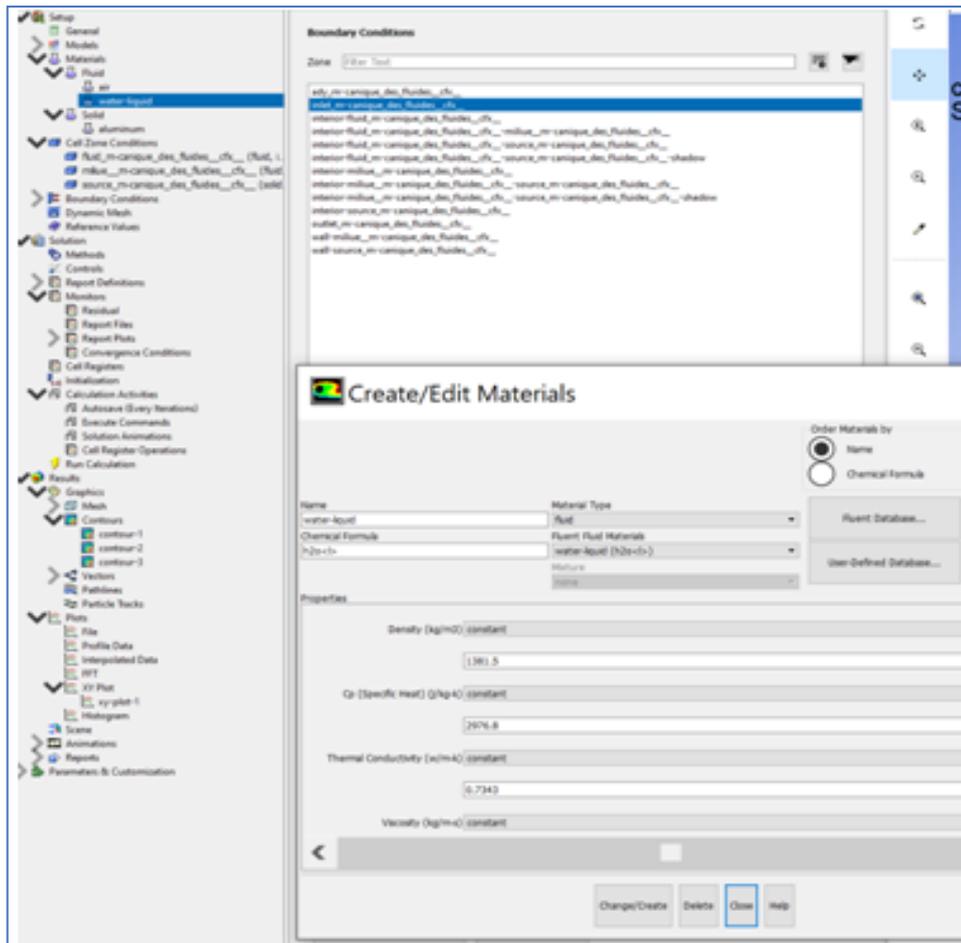


Figure III. 16: Création les données du nano fluide hybride.

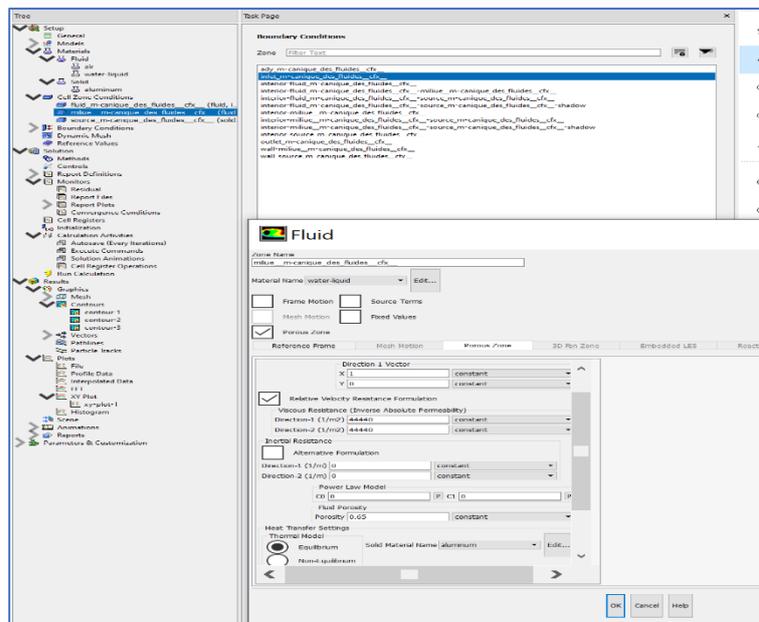


Figure III. 17: Condition aux limites –fluide- (inverse permeability-porosity).

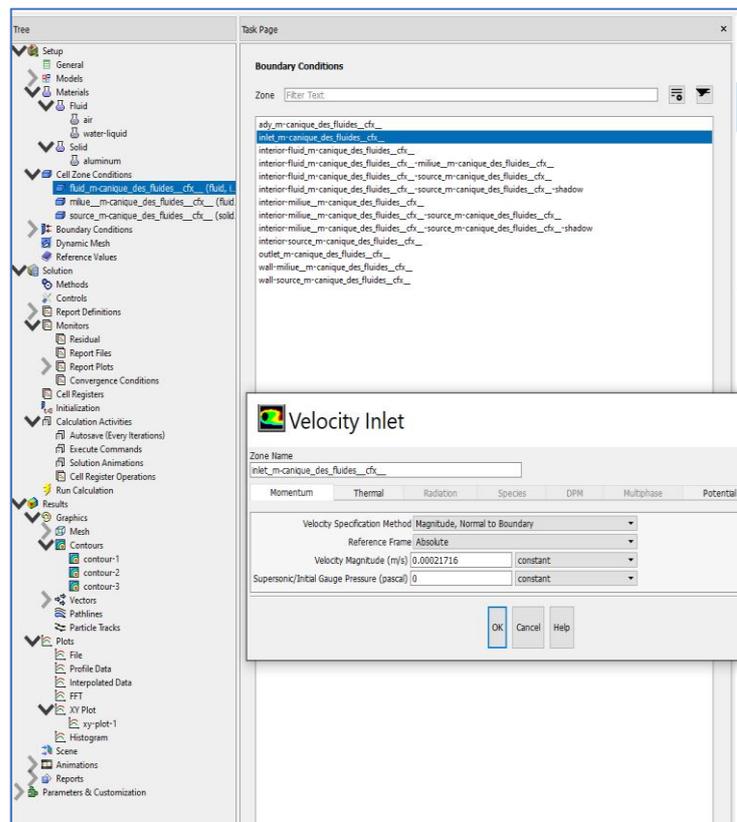


Figure III. 18: Condition aux limites –entrée de vitesse- grandeur de la vitesse.

III.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué en détail comment utiliser ANSYS et les étapes de calcul par logiciel utilisant la simulation numérique par CFD.

Nous nous intéressons à nos résultats obtenus à travers le domaine de température, les lignes de courant et le nombre de Nusselt, qui seront présentés, interprétés et discutés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

Résultats et Discussions

IV. Résultats et Discussions

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, les résultats numériques que nous avons obtenus ont été présentés, par la simulation numérique à travers un logiciel CFD utilisé «ANSYS FLUENT» ; traitant de l'étude du refroidissement convectif, et suivant l'évolution du transfert de chaleur dans un canal trapézoïdal qui portent des obstructions (sous forme d'un milieu poreux) en présence de nano-fluide hybride ($AL_2O_3-SiO_2-H_2O$.)

Dans ce chapitre, nous simulons numériquement des écoulements à travers ce type où nous modifions certains des facteurs, que ce soit la fraction volumique (φ) ou le nombre de Reynolds (Re), le nombre de Darcy (Da) et la porosité (ε) ensemble chaque fois que nous fixons un facteur et modifions les autres facteurs.

Nous réalisons cette simulation en utilisant des méthodes numériques pour obtenir une solution approchée aux problèmes de dynamique des fluides et de transfert de chaleur. Nous présentons pour chaque résultat des graphiques de la distribution de la température à l'intérieur du canal, de l'écoulement et de l'effet des obstacles sur l'écoulement du fluide à l'intérieur du canal et sur l'échange de chaleur.

IV.2. Résultats et interprétation :

Dans cette section, nous avons effectué plusieurs simulations numériques à l'aide du code commercial ANSYS. Fluent (version 2018), basé sur la méthode des volumes finis. Nous présentons les résultats de la simulation numérique de la convection dans un canal trapézoïdal contenant des obstructions (milieu poreux) et des nano-liquides hybrides ($AL_2O_3-SiO_2-H_2O$).

Dans ce calcul, la fraction volumique des nanoparticules est un facteur important, on fait varier les valeurs de la fraction entre ($\varphi = 0,01$; $\varphi = 0,02$; $\varphi = 0,03$ et $\varphi = 0,035$) ; tandis que les nombres de Reynolds varié entre ($Re = 50$; $Re = 100$ et $Re = 150$) ainsi que le nombre de Darcy et la porosité (voir les **Tableau IV.1** à **Tableau IV.4**).

Les résultats obtenus sont présentés sous forme des champs de température, la distribution du coefficient de transfert convectif, la distribution de vitesse et du nombre de Nusselt en fonction de Re et l'évolution du coefficient de transfert en fonction de Re .

- **Caractéristique thermo physique du nano fluide hybride (AL₂O₃-SiO₂-H₂O) $\varphi=(0.01 ; 0.02 ; 0.03 ; 0.035)$:**

Les résultats mentionnés dans les tableaux (IV.1, IV.2, IV.3 et IV.4) ont été calculés à partir du logiciel MATLAB pour calculer les propriétés thermo-physiques de nanofluide hybride (AL₂O₃-SiO₂-H₂O). Vous le trouverez à la fin :

Tableau IV.1: les propriétés thermo-physiques de nano fluide hybride pour $\varphi=0.01$

| | ρ (kg/m³) | C_p (J/kg.k) | k (W/m.K) | μ (kg/m.s) |
|--|---|----------------------------------|------------------|----------------------------------|
| (AL ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O) | 1107.7 | 3752.6 | 0.6364 | 0.0011 |

Tableau IV.2: les propriétés thermo-physique de nano fluide hybride pour $\varphi =0.02$

| | ρ (kg/m³) | C_p (J/kg.k) | k (W/m.K) | μ (kg/m.s) |
|--|---|----------------------------------|------------------|----------------------------------|
| (AL ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O) | 1217.2 | 3400.4 | 0.6743 | 0.0011 |

Tableau IV.3: les propriétés thermo-physique de nano fluide hybride pour $\varphi =0.03$

| | ρ (kg/m³) | C_p (J/kg.k) | k (W/m.K) | μ (kg/m.s) |
|--|---|----------------------------------|------------------|----------------------------------|
| (AL ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O) | 1326.7 | 3106.4 | 0.7139 | 0.0012 |

Tableau IV.4: les propriétés thermo-physique de nano fluide hybride pour $\varphi =0.035$

| | ρ (kg/m³) | C_p (J/kg.k) | k (W/m.K) | μ (kg/m.s) |
|--|---|----------------------------------|------------------|----------------------------------|
| (AL ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O) | 1381.5 | 2976.8 | 0.7343 | 0.0011 |

IV.2.1. Distribution de la température:

*** Pour le nanofluide hybride ($Al_2O_3-SiO_2-H_2O$) avec différentes fractions volumique φ (0.01 ; 0.02; 0.03 ; 0.035) et nombre de Reynolds Re (50 ; 100 ; 150) et nombre de darcy Da (10^{-3} ; 10^{-4}) et la porosité ε (0.65 ; 0.75 ; 0.95) :**

On peut voir par rapport à la température que la modification de la fraction conduit à une amélioration du processus de refroidissement car la température est plus basse dans (0,035) contrairement à (0,01), Exemple voir : (**Tableau IV.13**) et (**Tableau IV.16**). (La différence n'est pas claire car les chiffres sont petits et proches les uns des autres, donc ça ne peut pas être Nous voyons une grande différence).

De plus, nous constatons qu'il y a une diminution de la température lorsque le nombre de Rayleigh augmente, et nous constatons que la température lorsque la valeur du nombre de Reynolds est égale à 50 ($Re = 50$) est supérieure à la température lorsqu'elle est de ($Re = 100$ et $Re = 150$) , Autrement dit, le nombre de Rayleigh a un effet significatif sur un changement de température voir: (**Tableau IV.5**) et (**Tableau IV.13**).

On remarque aussi que le coefficient de Darcy, plus il est bas, plus la température avec lui est basse, c'est-à-dire que la température en $Da = 10^{-3}$ est supérieure à la température en $Da = 10^{-4}$, c'est-à-dire en proportionnelle directe. Exemple : voir : (**Tableau IV.6**)

De plus, nous n'oublions pas la porosité, dont nous avons également remarqué qu'elle a une relation inverse, c'est-à-dire que plus elle est proche de $\varepsilon = 0.65$ plus la température est élevée, contrairement à $\varepsilon = 0.75$ et $\varepsilon = 0.95$ la température diminue. Exemple voir :(**Tableau IV.7**).

Nous en concluons que la modification des paramètres de Reynolds et Darcy et de la porosité ou l'augmentation de la quantité de nanoparticules dans le fluide principal responsable du processus de refroidissement entraîne une augmentation de la conductivité du fluide de base, ce qui se traduit par un bon processus de refroidissement.

✓ On peut déduire de tous les tableaux et j'ai pris un exemple de chaque tableau

Tableau IV.5:Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.01$; $Re=50$).

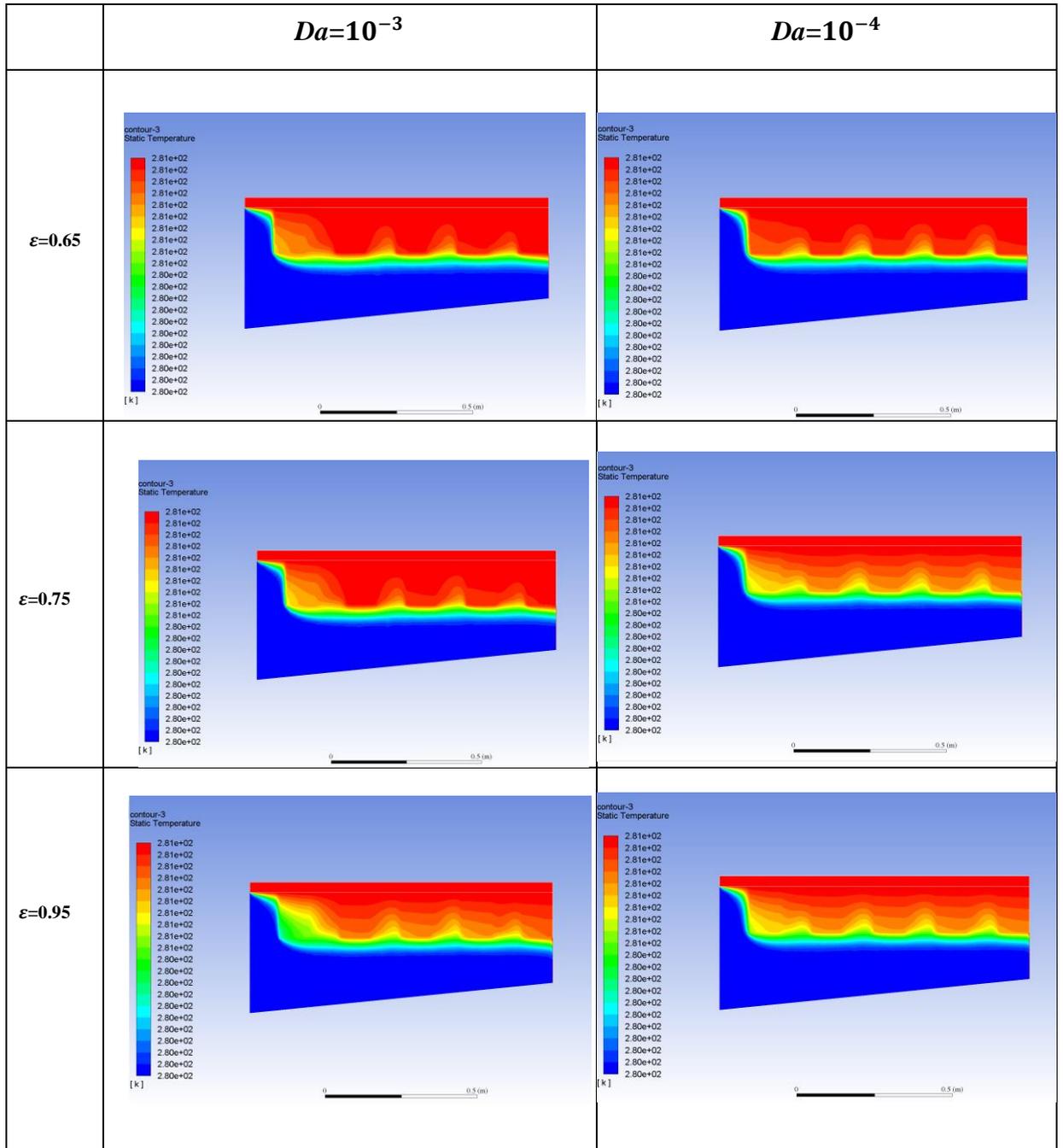


Tableau IV.6: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.02$; $Re=50$).

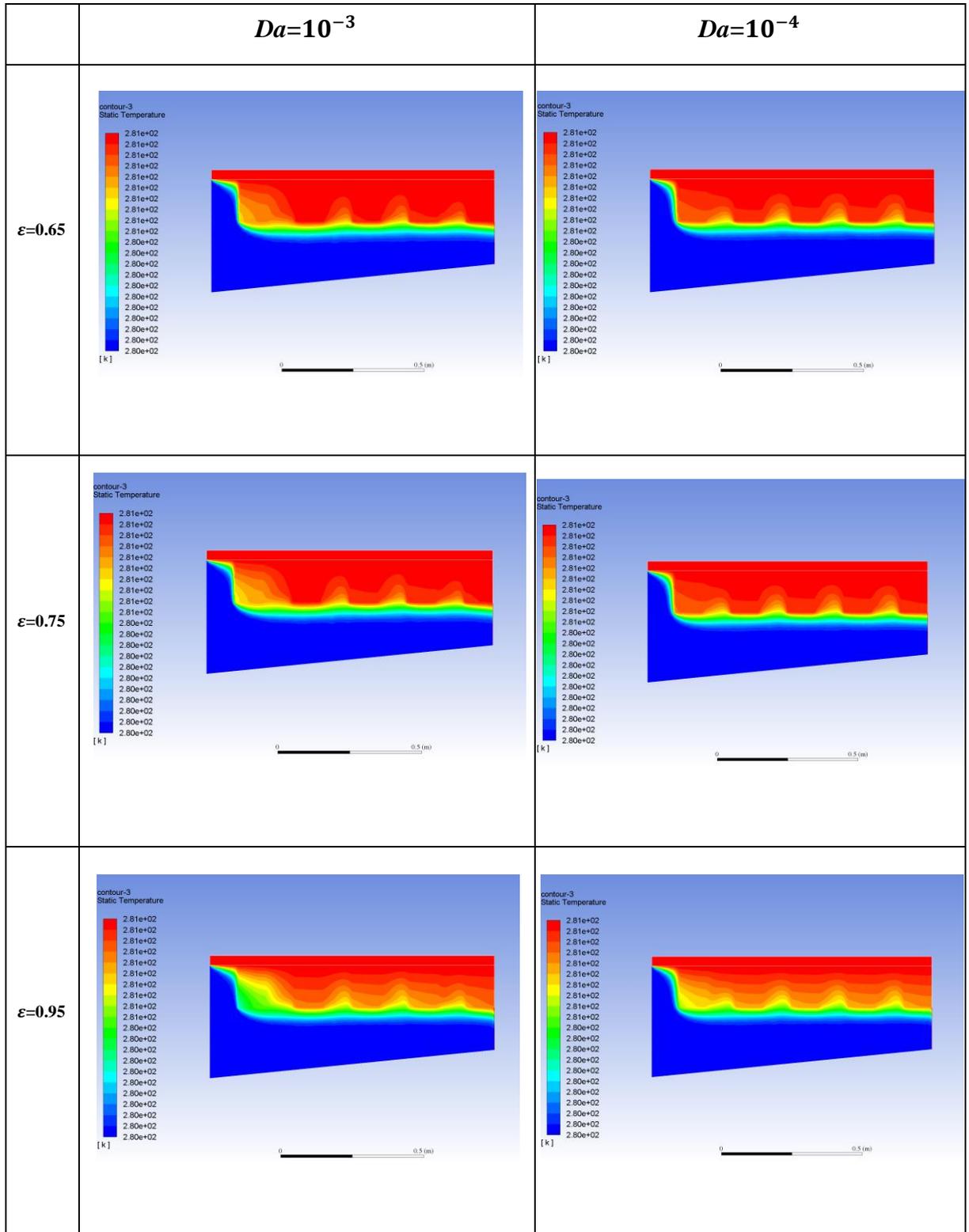


Tableau IV.7: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.03$; $Re=50$)

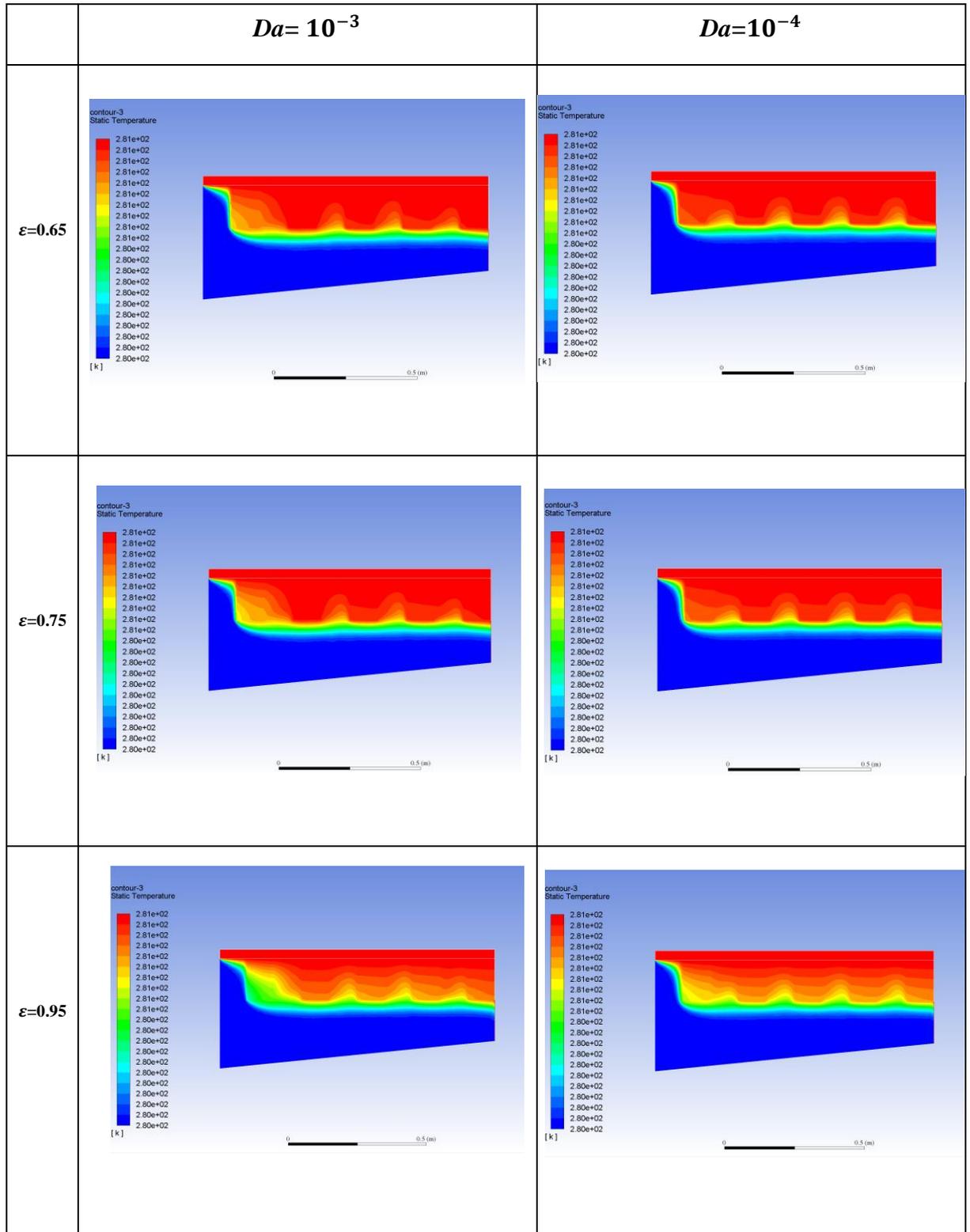


Tableau IV.8: Présentation les Figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.035$; $Re=50$).

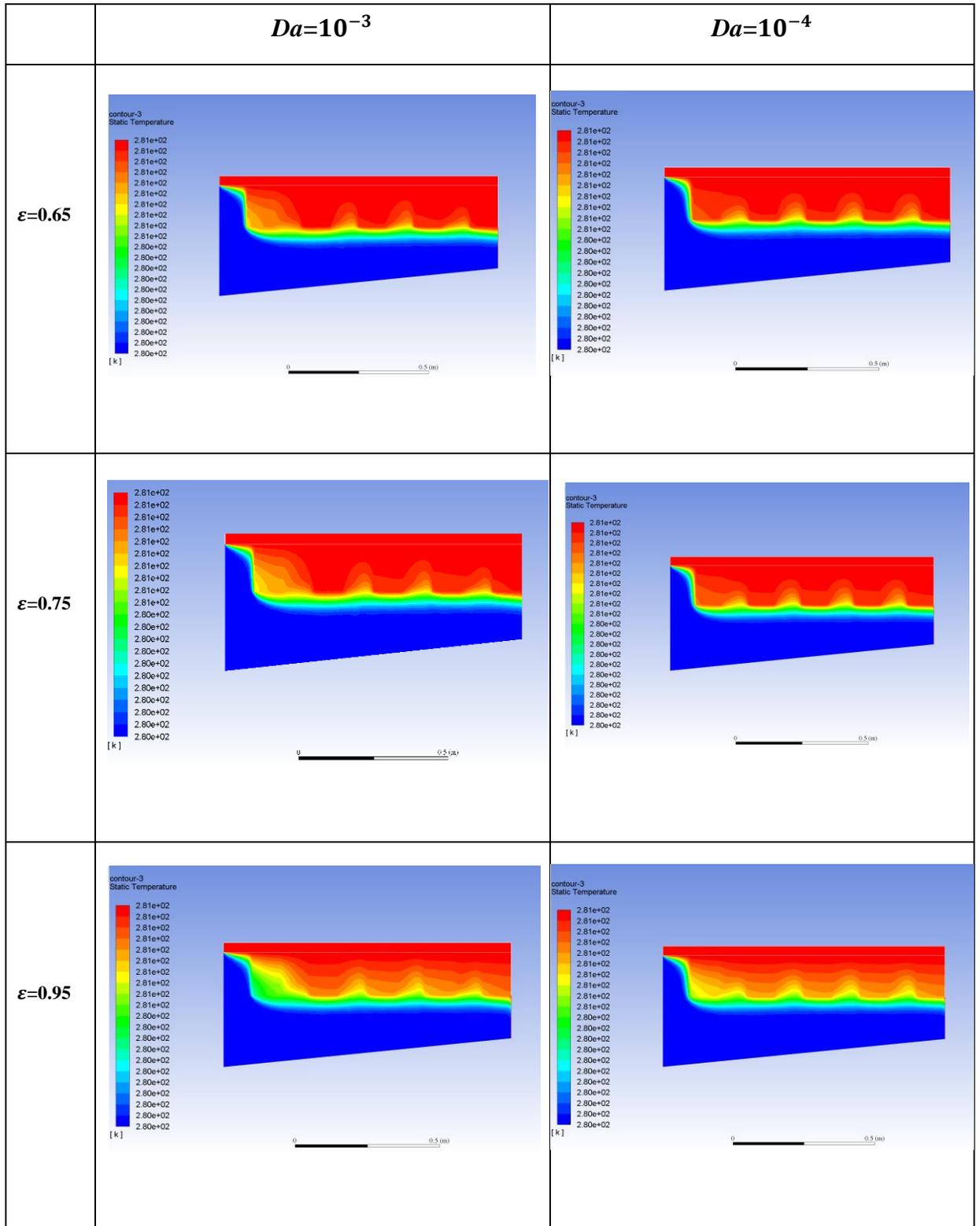


Tableau IV.9: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.01$; $Re=100$).

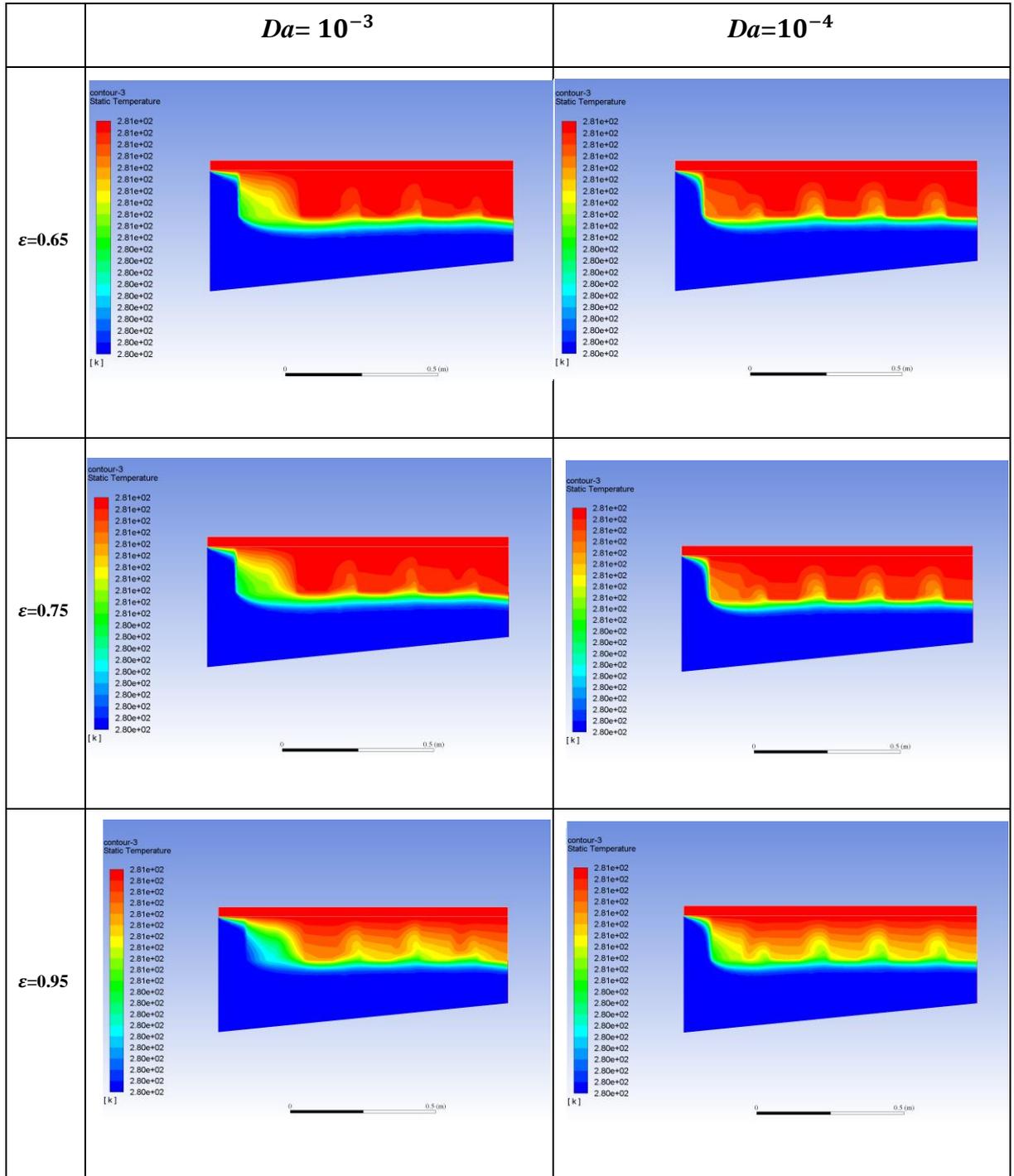


Tableau IV.10: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.02$; $Re=100$).

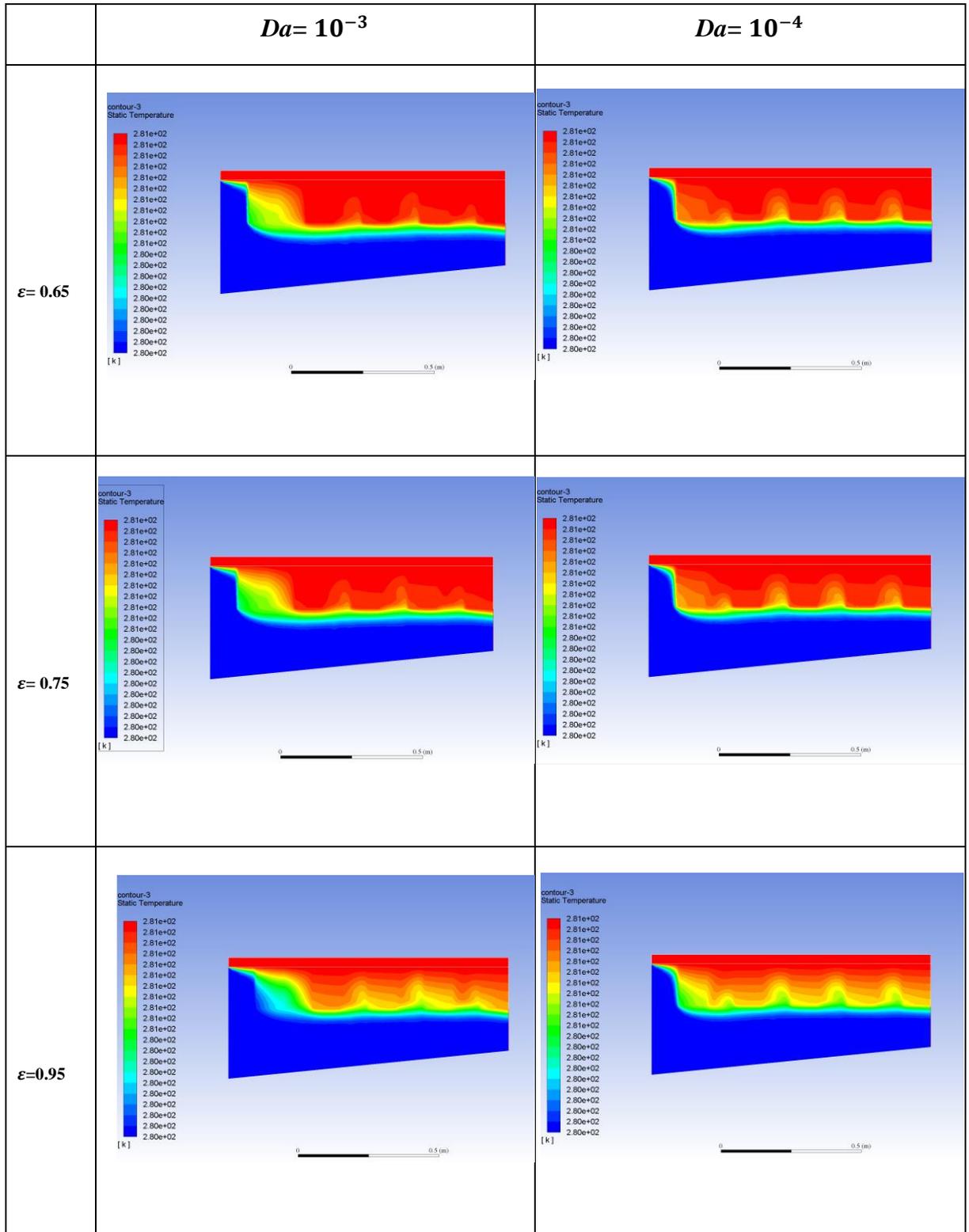


Tableau IV.11: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.03$; $Re=100$).

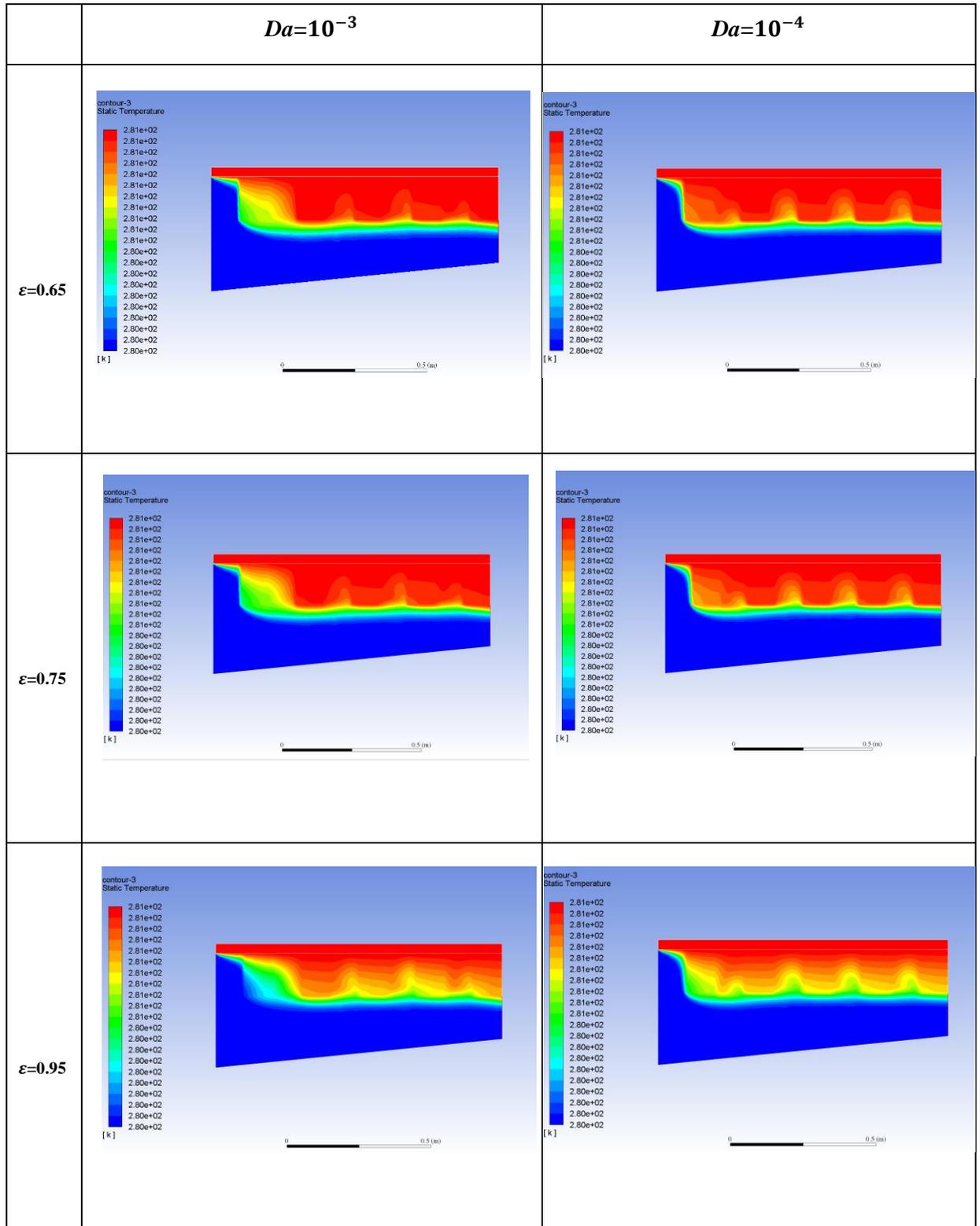


Tableau IV.12: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.035$; $Re=100$).

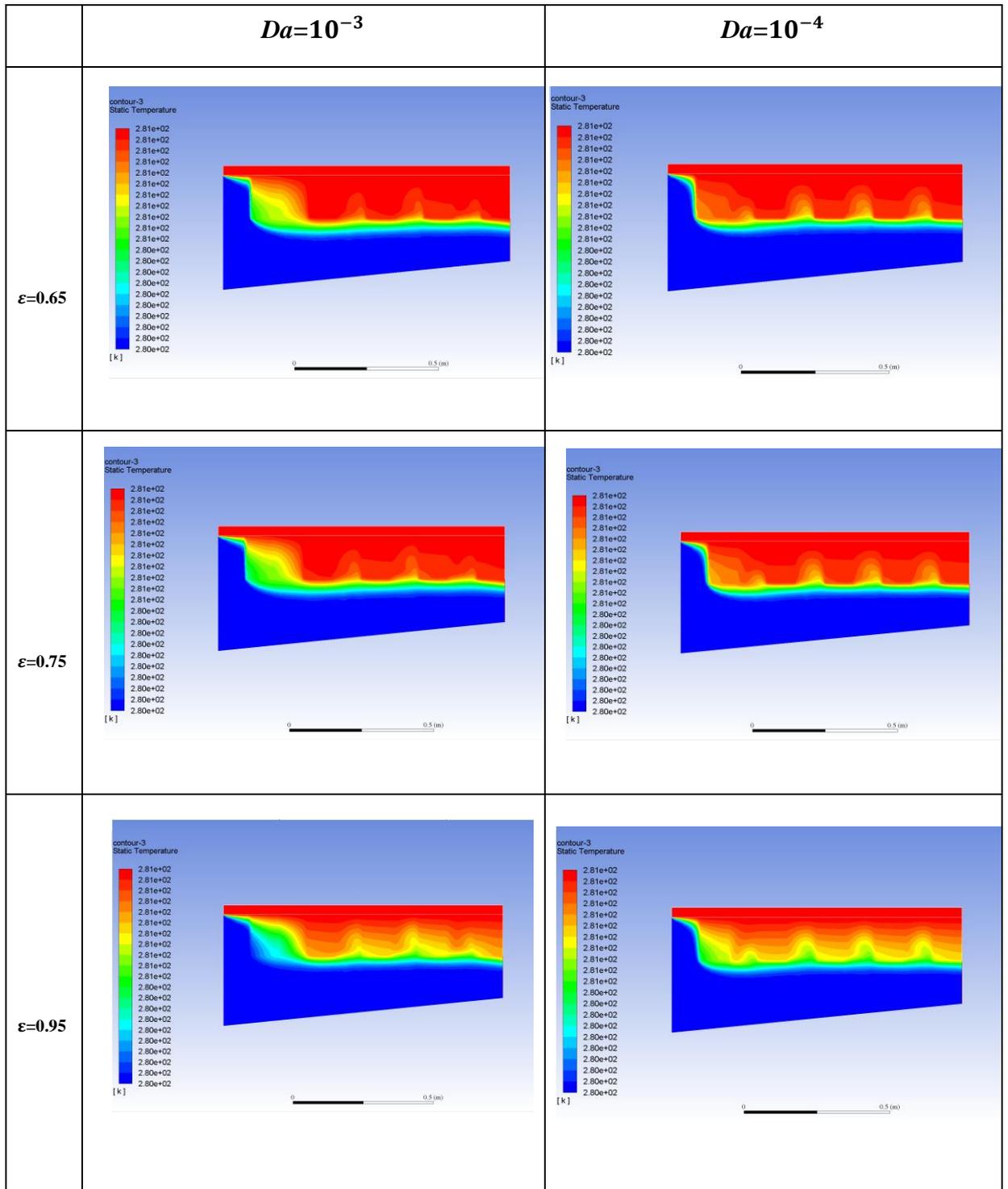


Tableau IV.13: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.01$; $Re=150$).

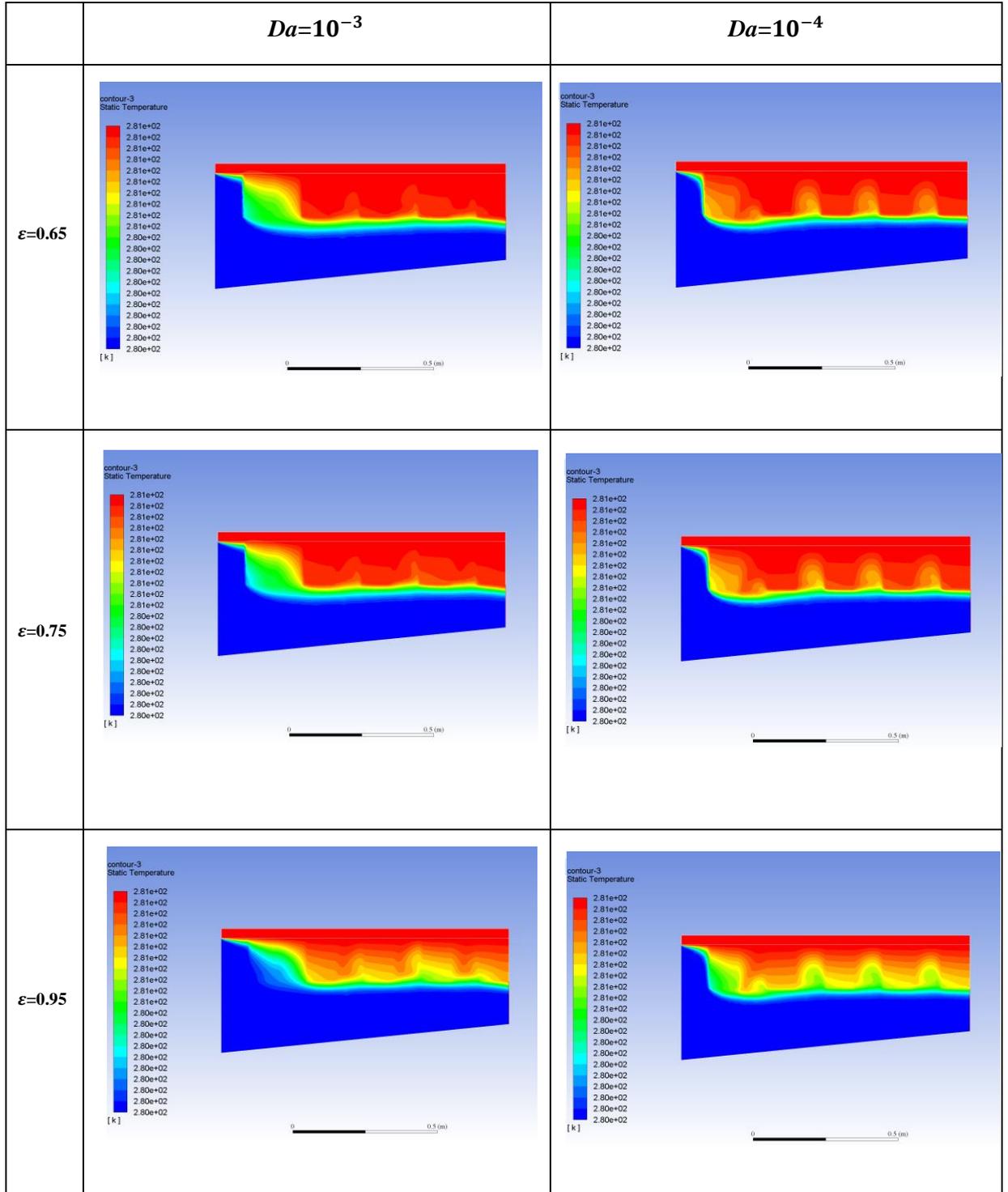


Tableau IV.14: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.02$; $Re=150$).

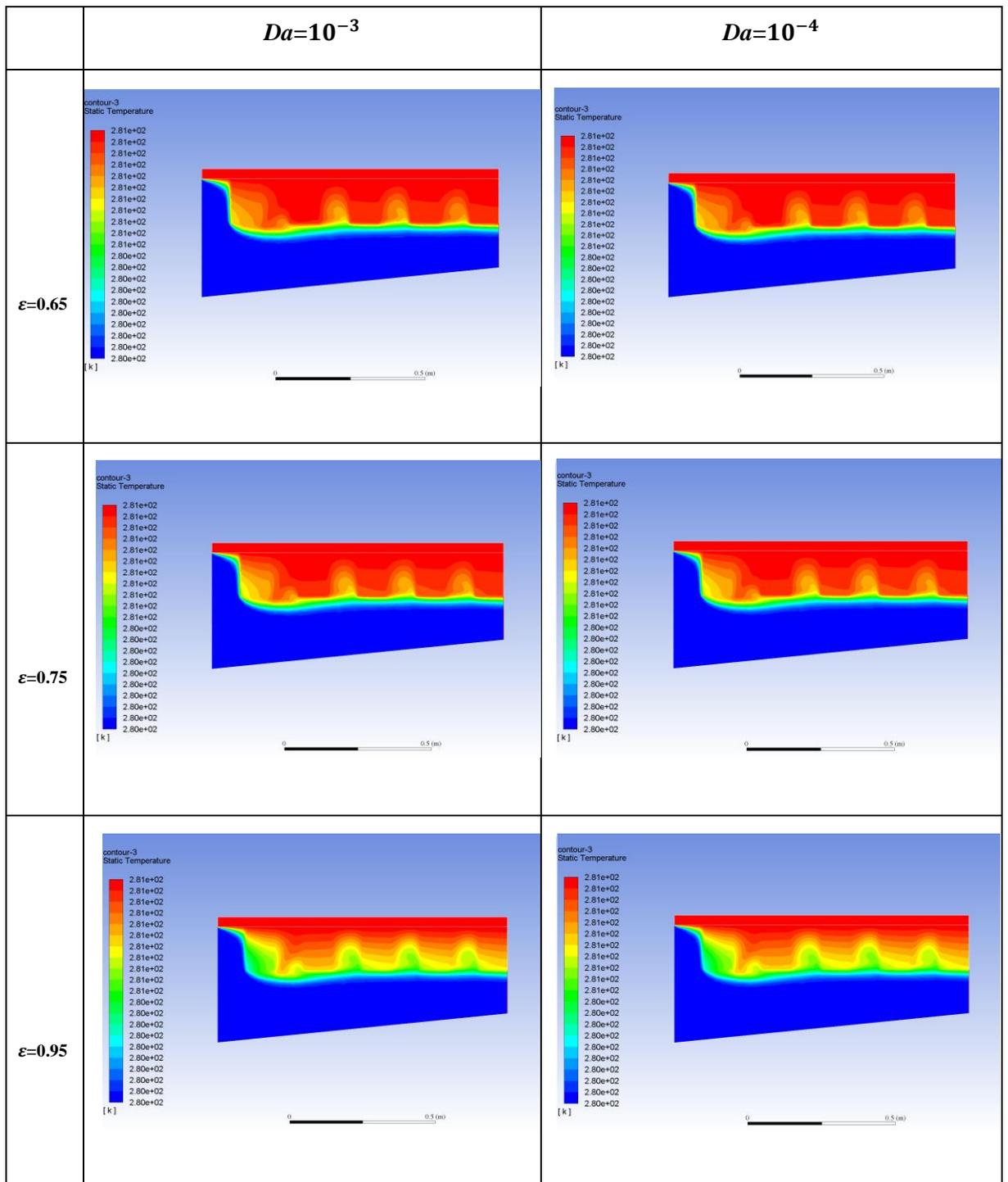


Tableau IV.15: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.03$; $Re=150$).

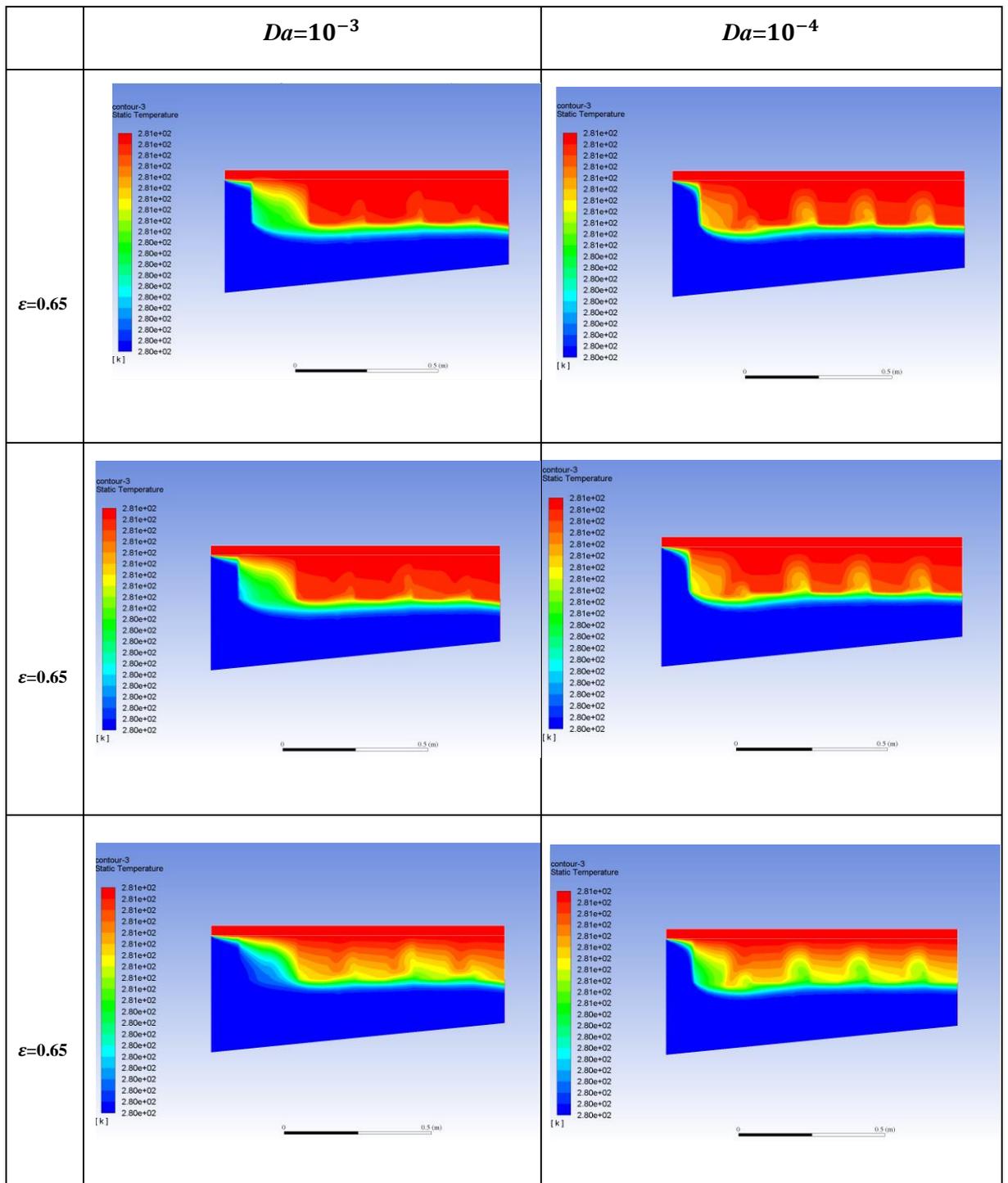
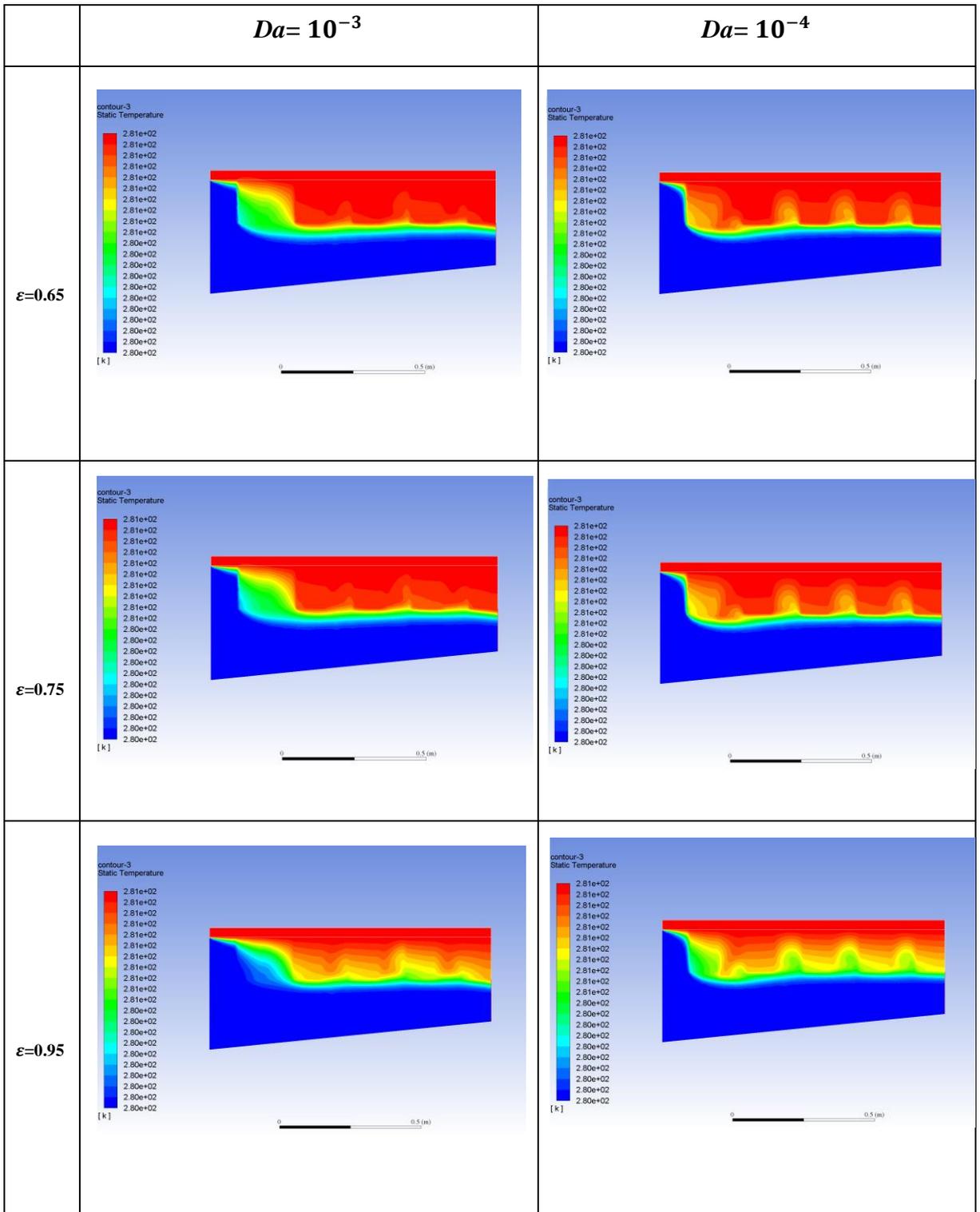


Tableau IV.16: Présentation les figures de la distribution de température pour ($\varphi=0.035$; $Re=150$).



IV.2.2.La vitesse d'écoulement :

Concernant l'écoulement, on constate que la modification de la fraction entraîne une amélioration du processus de refroidissement car la vitesse d'écoulement est plus important en (0,035) contrairement la vitesse d'écoulement à (0,01). Il existe une relation inverse ; Exemple voir : (**Tableau IV.18**) avec (**Tableau IV.19**) (on retrouve la différence en l'échelle sur les images).

De plus, on trouve qu'il y a une augmentation de la vitesse d'écoulement lorsque le nombre de Rayleigh augmente, et on trouve que la vitesse d'écoulement lorsque ($Re = 100$ et $Re = 150$) est supérieur au la vitesse d'écoulement lorsque ($Re = 50$), c'est-à-dire en proportionnelle directe ; Exemple voir : (**Tableau IV.20** et **Tableau IV.21**) avec (**Tableau IV.27**).

On remarque également que plus le coefficient de Darcy est faible plus la vitesse de flux est élevé, ce qui signifie que la vitesse de flux en $Da = 10^{-4}$ est supérieur au la Vitesse de flux en $Da = 10^{-3}$, inversement proportionnel ; voir : (**Tableau IV.27**).

Nous avons également noté que la porosité n'affecte pas la vitesse d'écoulement lorsque $\varepsilon = 0,65$ reste le même à $\varepsilon = 0,75$ et $\varepsilon = 0,95$, c' c'est-à-dire que la vitesse de flux est constant ; Exemple voir : (**Tableau IV.25**).

Nous concluons que la modification des coefficients de Reynolds et Darcy ou l'augmentation de la quantité de nanoparticules dans le fluide principal responsable du processus d'écoulement à l'intérieur du canal entraîne une augmentation de la conductivité du fluide primaire, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse.

Tableau IV.17: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.01$; $Re=50$).

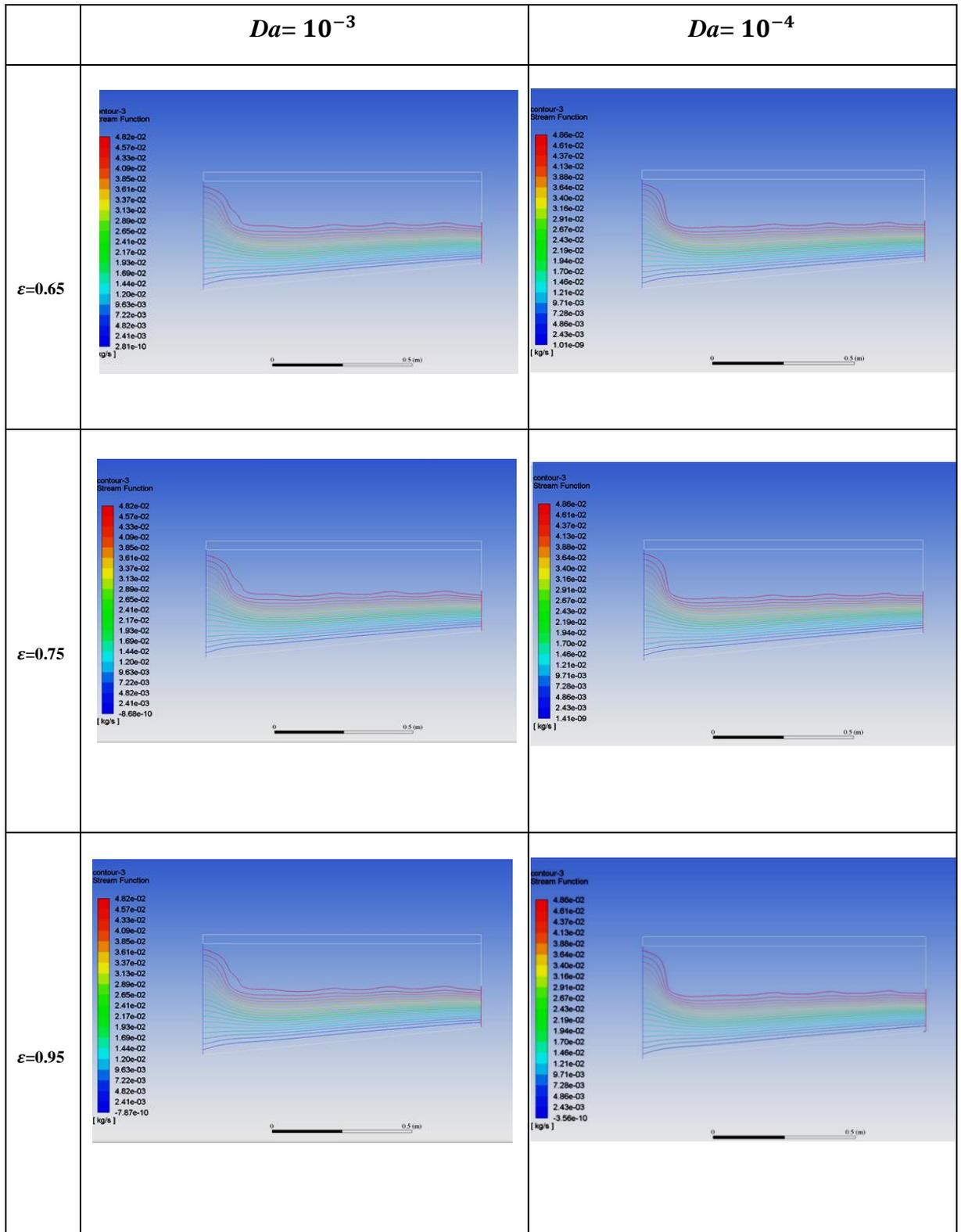


Tableau IV.18: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.02$; $Re=50$).

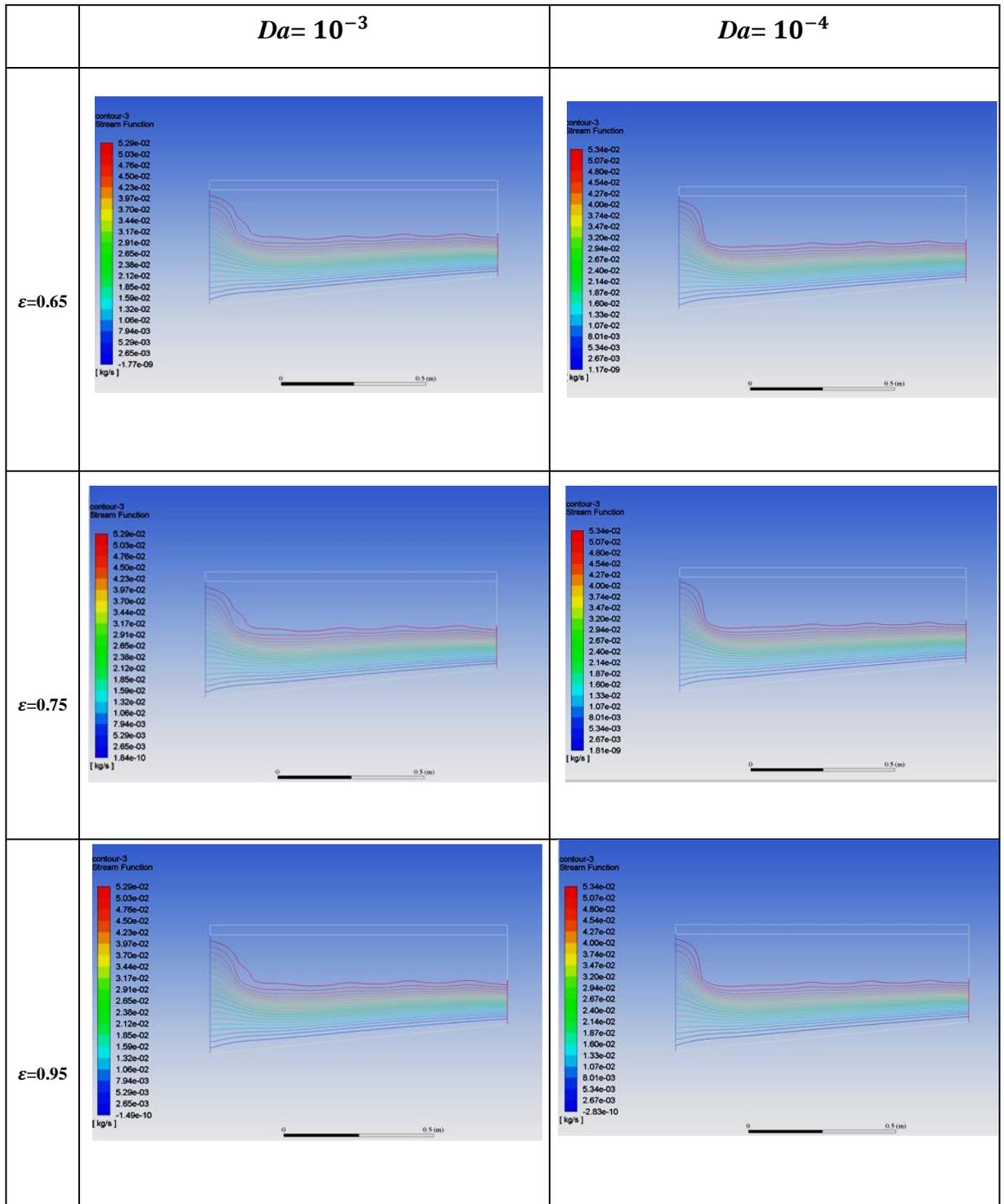


Tableau IV.19: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.03$; $Re=50$).

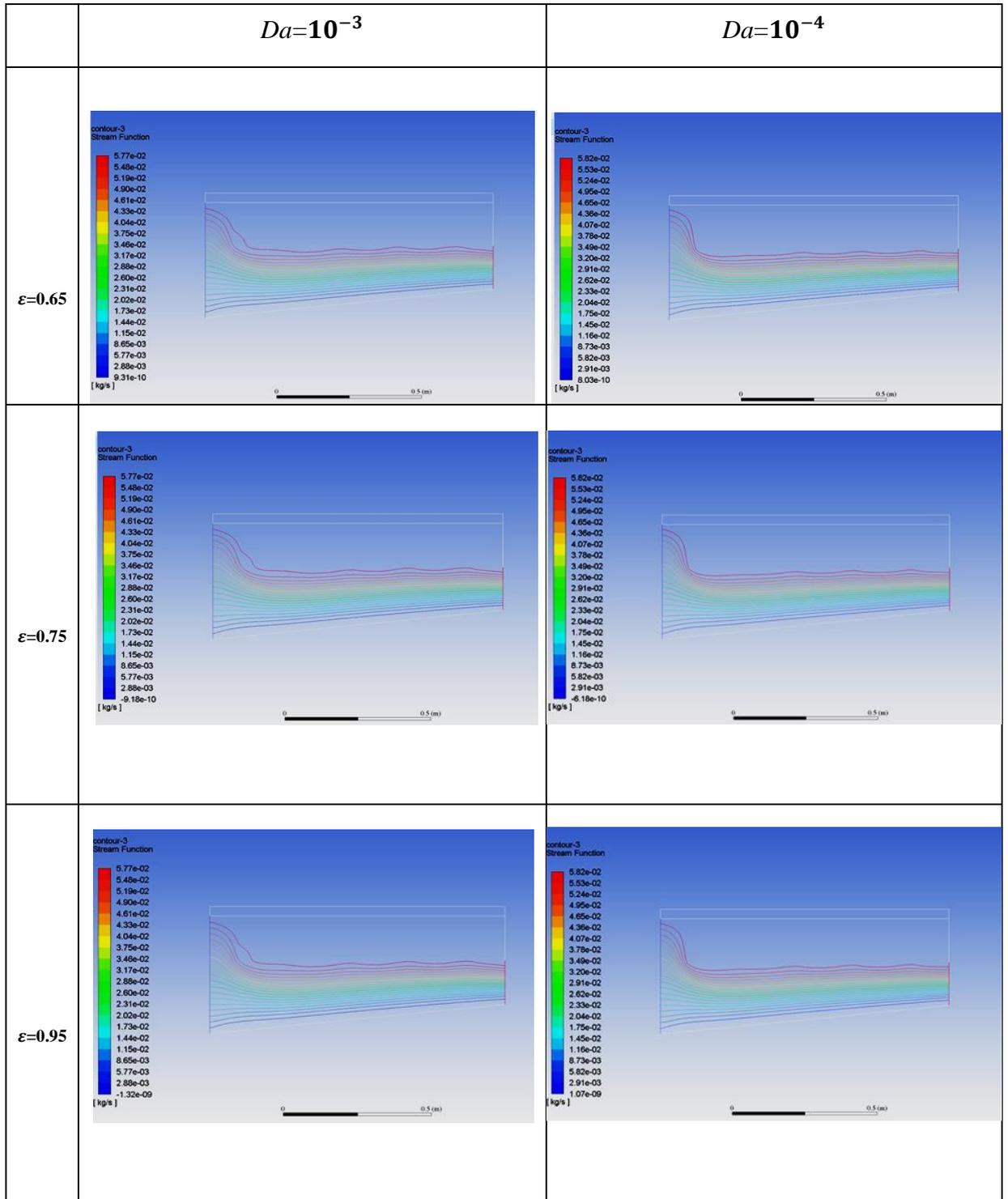


Tableau IV.20: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.035$; $Re=50$).

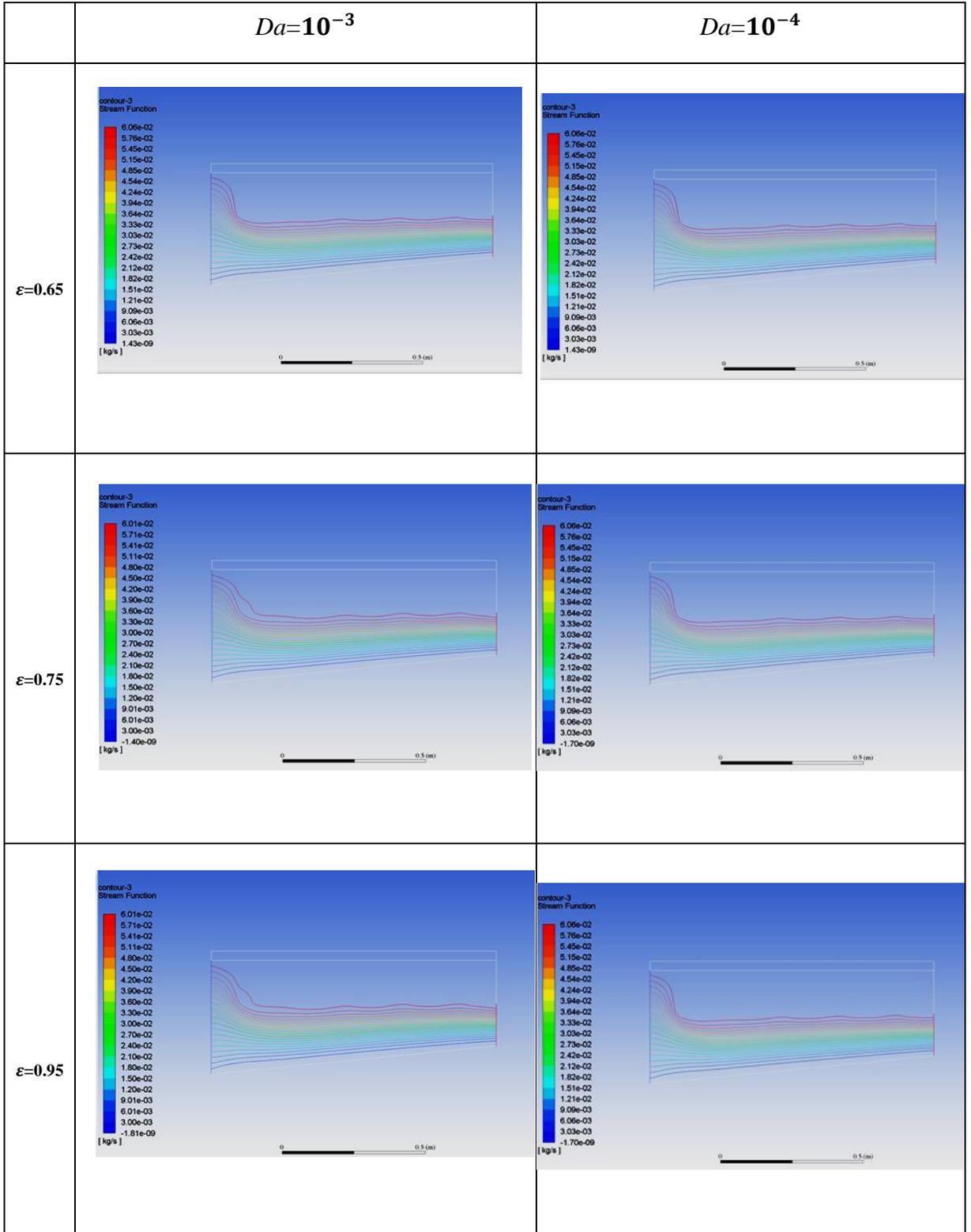


Tableau IV.21: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.01$; $Re=100$).

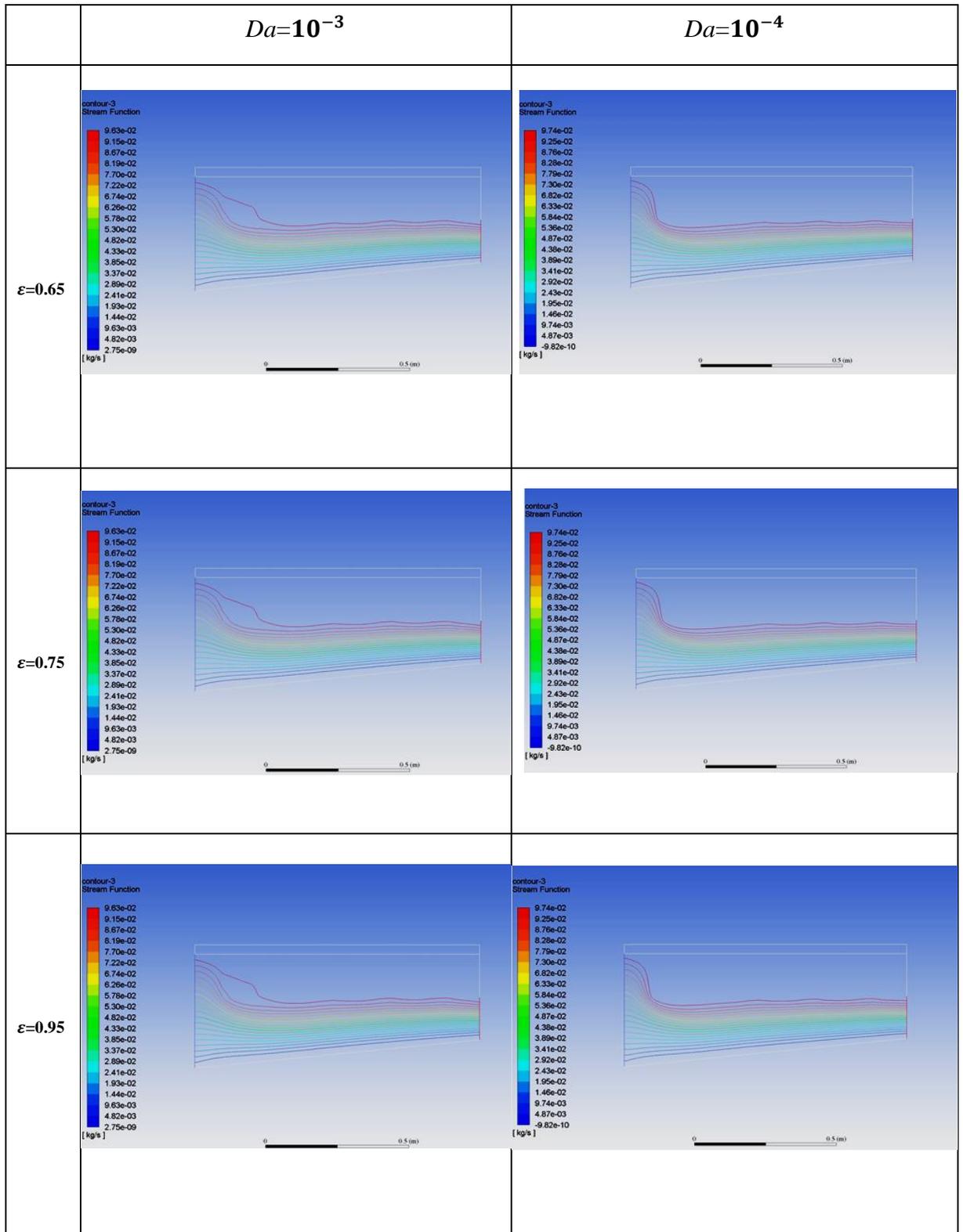


Tableau IV.22: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\phi=0.02$; $Re=100$).

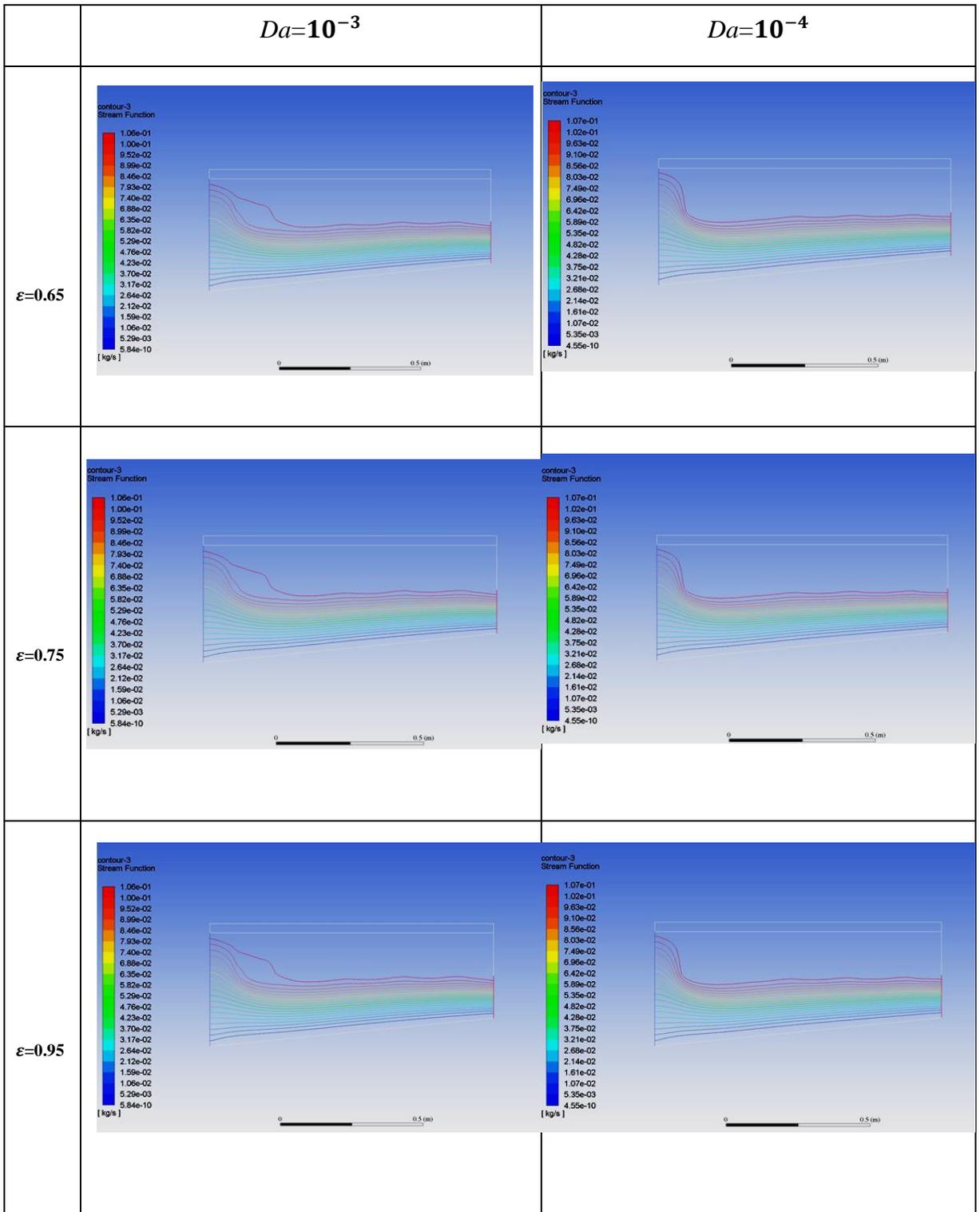


Tableau IV.23: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.03$; $Re=100$).

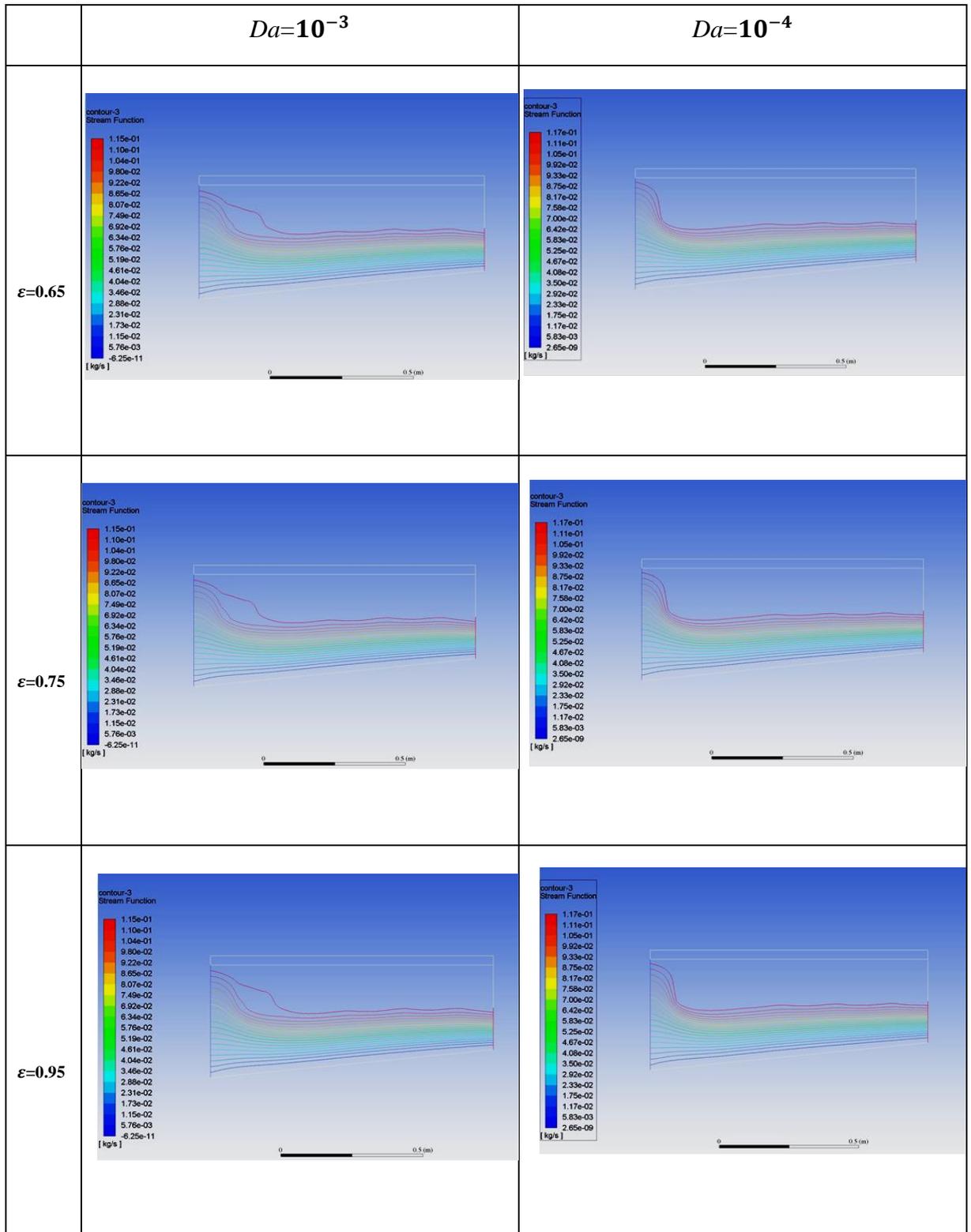


Tableau IV.24: Présentation les Figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.035$; $Re=100$).

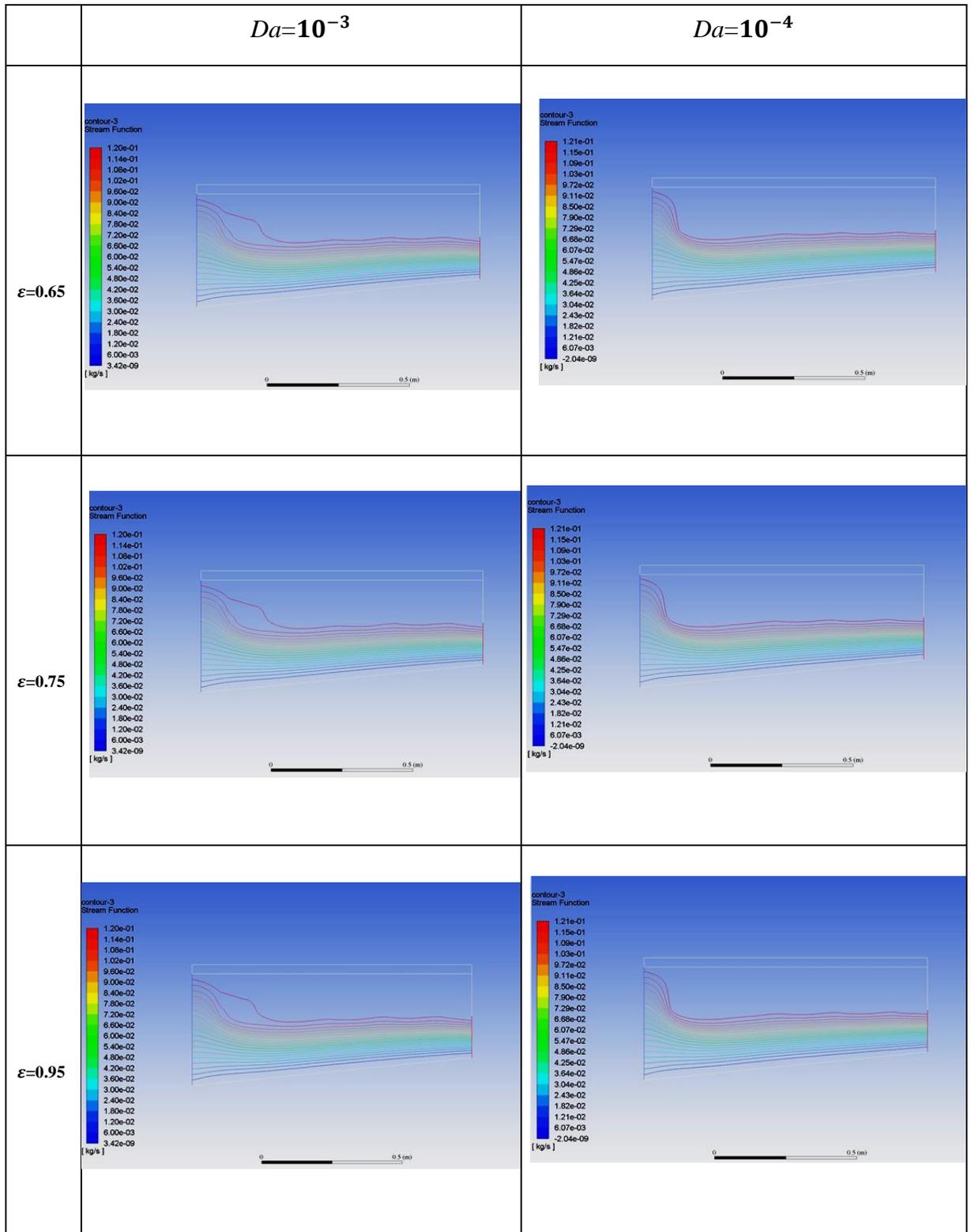


Tableau IV.25: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.01$; $Re=150$).

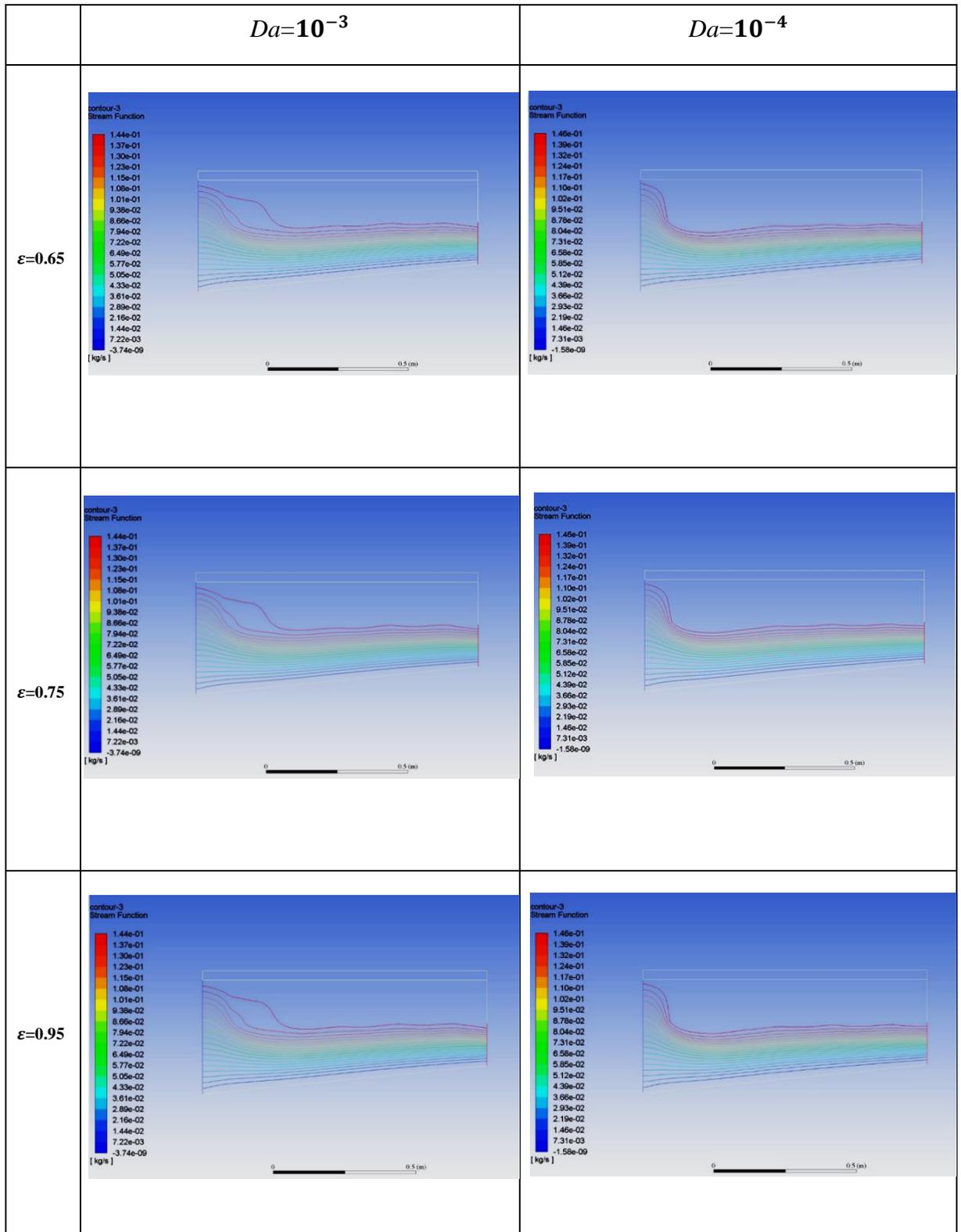


Tableau IV.26: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.02$; $Re=150$).

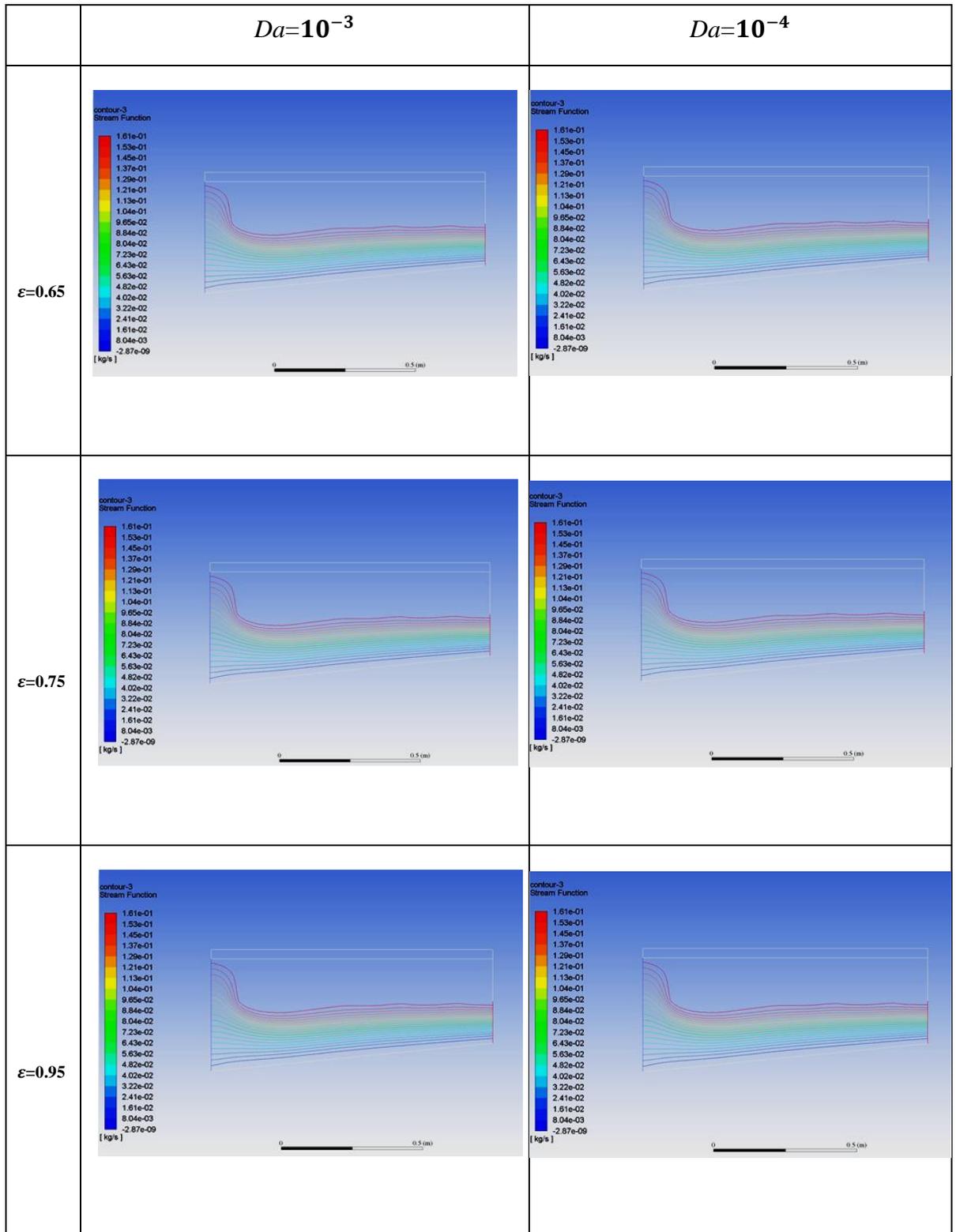


Tableau IV.27: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.03$; $Re=150$).

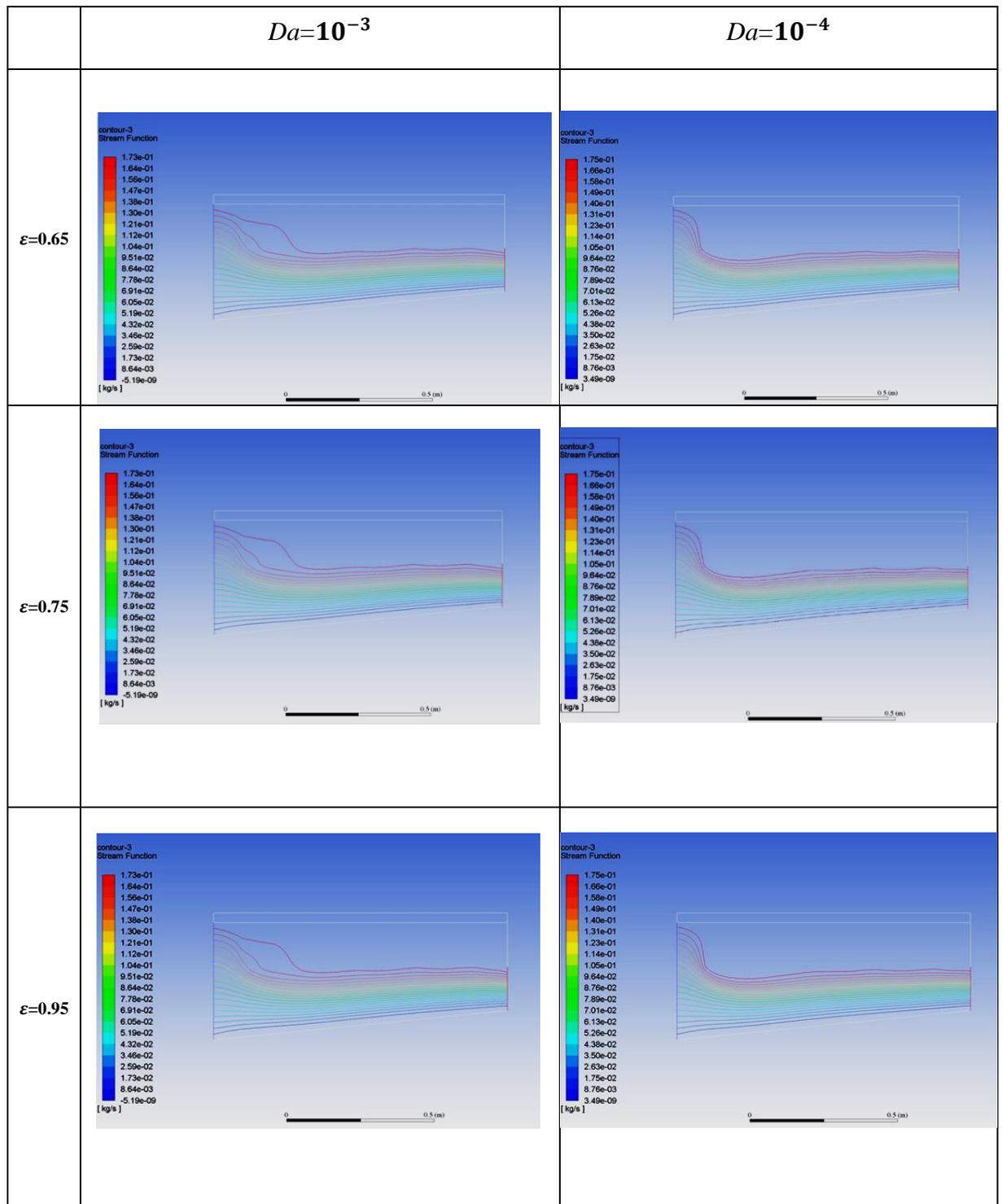
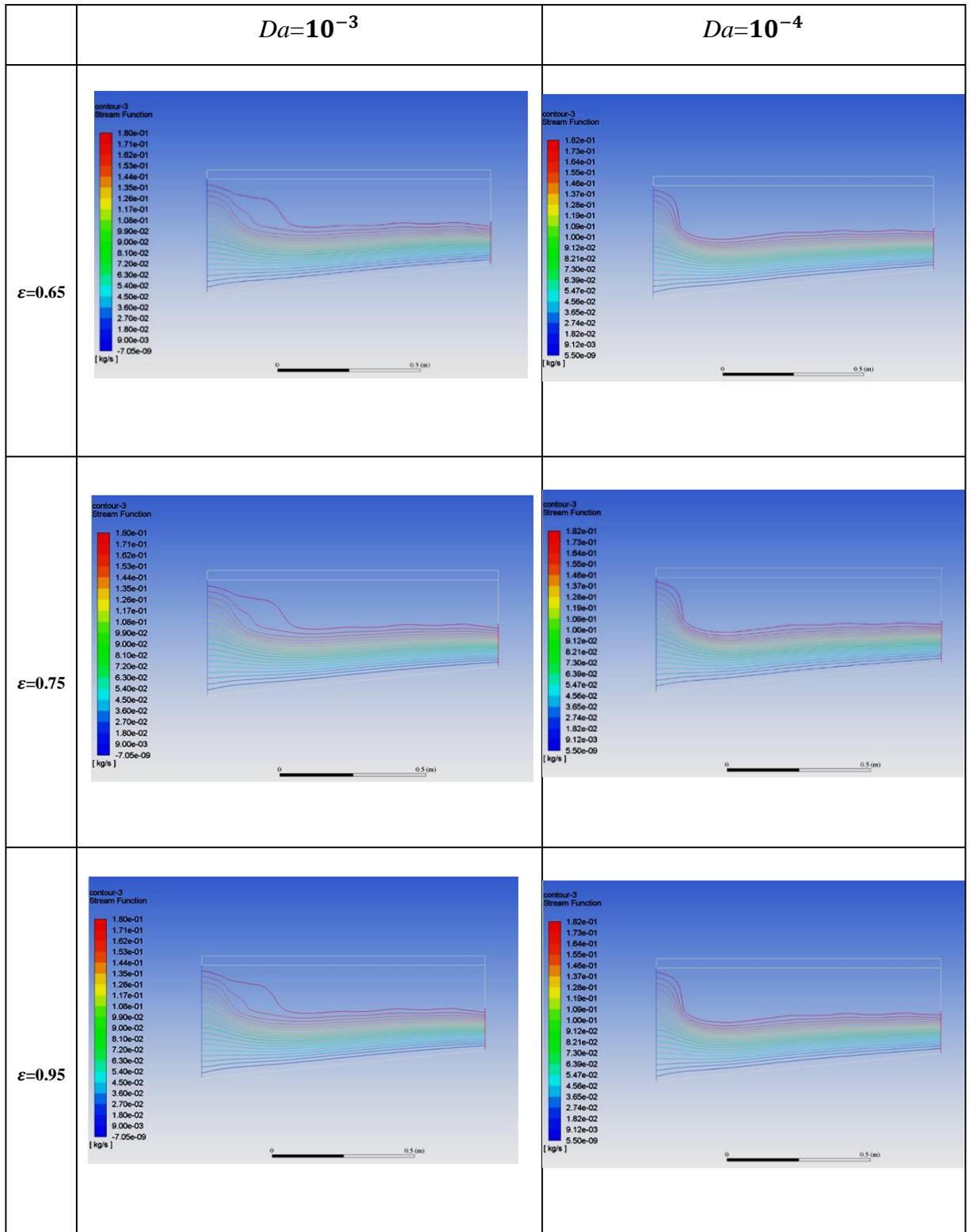


Tableau IV.28: Présentation les figures de la fonction d'écoulement pour ($\varphi=0.035$; $Re=150$).



IV.2.3. L'effet des obstacles sur la température et la vitesse d'écoulement à l'intérieur d'un canal :

IV.2.1.1. La température :

On note dans les tableaux (Du : **Tableau IV.5** au : **Tableau IV.16**) qu'il y a un effet des obstacles sur la température du liquide, car les obstacles augmentent le transfert de température en cas de frottement entre eux et le liquide, c'est-à-dire qu'une augmentation du nombre d'obstacles entraîne à une augmentation de la température.

IV.2.1.2. La vitesse d'écoulement:

On note dans les tableaux (Du : **Tableau 17** au : **Tableau 28**) qu'il y a un effet des obstacles sur l'écoulement du liquide, car les obstacles empêchent l'écoulement, et il y a peu d'écoulement dans certains cas au niveau de la première barrière seulement, toute augmentation de le écoulement n'affecte que la première barrière.

IV.2.1.3. L'effet de la forme du canal et de la forme de l'obstacle sur l'échange thermique :

- **La forme du canal :** La forme du canal n'affecte pas l'échange de chaleur.
- **La forme de l'obstacle :** Les obstacles affectent l'échange de chaleur, c'est-à-dire que plus il y a d'obstructions, plus l'échange dans le canal est important.

IV.3. Nombre de Nusselt moyen :

On remarque clairement que lorsque le nombre de Rayleigh augmente, le nombre de Nusselt augmente également, ce qui se justifie par l'augmentation du coefficient d'échange thermique.

Nous n'oublions pas non plus le nombre de Darcy, dont nous avons remarqué qu'il est directement proportionnel au nombre de Nusselt, ce qui signifie que plus Darcy augmente, plus Nusselt augmente.

Chaque fois qu'il y a une augmentation de la fraction volumique, le nombre de Nusselt augmente avec elle, et cela peut être vu dans les différents résultats obtenus dans chacun des tableaux suivants

Une des observations importantes que nous avons remarquée est l'absence du milieu poreux dans le transfert de chaleur, afin d'augmenter le transfert qui est contrôlé par la porosité du milieu poreux, c'est-à-dire que :

ε : il contrôle l'augmentation de la porosité du milieu

Ainsi, plus le ε est bas, plus le transfert de chaleur est élevé et vice versa.

Exemple :

$$\begin{array}{l} \varepsilon = 0.65 \longrightarrow Nu = 64,10077 \\ \varepsilon = 0.95 \longrightarrow Nu = 35,26633 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \varepsilon = 0.65 \\ \varepsilon = 0.95 \end{array}} \right\} \text{(Tableau IV.33)}$$

Tableau IV.29: Résultats du premier cas de Nusselt moyen $Re = 50$ et $Da = 10^{-3}$.

| | $\varepsilon = 0.65$ | $\varepsilon = 0.75$ | $\varepsilon = 0.95$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\varphi = 0.01$ | 20,05759 | 19,52035 | 18,85675 |
| $\varphi = 0.02$ | 20,72262 | 20,27109 | 19,5714 |
| $\varphi = 0.03$ | 21,38877 | 20,94062 | 20,21073 |
| $\varphi = 0.035$ | 21,75083 | 21,32362 | 20,57512 |

Tableau IV.30: Résultats du deuxième cas de Nusselt moyen $Re = 50$ et $Da = 10^{-4}$.

| | $\varepsilon = 0.65$ | $\varepsilon = 0.75$ | $\varepsilon = 0.95$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\varphi = 0.01$ | 43,4318 | 40,71113 | 26,44303 |
| $\varphi = 0.02$ | 44,90353 | 42,04045 | 27,21238 |
| $\varphi = 0.03$ | 45,34422 | 42,48511 | 27,59372 |
| $\varphi = 0.035$ | 46,0192 | 43,09878 | 27,96143 |

Tableau IV.31: Résultats du troisième cas de Nusselt moyen $Re = 100$ et $Da = 10^{-3}$.

| | $\varepsilon = 0.65$ | $\varepsilon = 0.75$ | $\varepsilon = 0.95$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\varphi = 0.01$ | 25,66305 | 25,23473 | 24,0562 |
| $\varphi = 0.02$ | 26,57344 | 26,15604 | 24,91968 |
| $\varphi = 0.03$ | 27,12501 | 26,68429 | 25,42725 |
| $\varphi = 0.035$ | 27,57051 | 27,13103 | 25,84825 |

Tableau IV.32: Résultats du quatrième cas de Nusselt moyen $Re = 100$ et $Da = 10^{-4}$.

| | $\varepsilon = 0.65$ | $\varepsilon = 0.75$ | $\varepsilon = 0.95$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\varphi = 0.01$ | 26,72505 | 25,9643 | 19,88668 |
| $\varphi = 0.02$ | 27,79819 | 26,97503 | 20,53111 |
| $\varphi = 0.03$ | 28,56348 | 27,70608 | 21,04155 |
| $\varphi = 0.035$ | 29,09415 | 28,20601 | 21,3627 |

Tableau IV.33: Résultats du cinquième cas de Nusselt moyen $Re = 150$ et $Da = 10^{-3}$.

| | $\varepsilon = 0.65$ | $\varepsilon = 0.75$ | $\varepsilon = 0.95$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\varphi = 0.01$ | 34,04936 | 32,68498 | 23,5342 |
| $\varphi = 0.02$ | 35,49099 | 34,01284 | 24,33214 |
| $\varphi = 0.03$ | 36,26064 | 34,7471 | 24,84998 |
| $\varphi = 0.035$ | 36,94439 | 35,37782 | 25,23482 |

Tableau IV.34: Résultats du sixième cas de Nusselt moyen $Re = 150$ et $Da = 10^{-4}$

| | $\varepsilon = 0.65$ | $\varepsilon = 0.75$ | $\varepsilon = 0.95$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\varphi = 0.01$ | 29,09415 | 28,20601 | 21,3627 |
| $\varphi = 0.02$ | 35,49097 | 34,01284 | 24,33214 |
| $\varphi = 0.03$ | 63,25452 | 57,98207 | 34,81505 |
| $\varphi = 0.035$ | 64,10077 | 58,7469 | 35,26633 |

IV.4. Conclusion :

Nous avons présenté un ensemble de résultats de notre étude obtenus par le programme de simulation numérique ANSYS WORKBENCH version 2018 (Simulation numérique d'un modèle d'écoulement bidimensionnel dans un système à convection laminaire). Ces résultats sont des résultats numériques et des graphiques de changements de température et d'écoulement de fluide dans un canal trapézoïdal contenant des obstructions (milieu poreux) en utilisant un nanofluide hybride $AL_2O_3-SiO_2-H_2O$.

Dans cette étude, nous avons présenté l'effet des obstacles sur d'écoulement et la température du fluide à l'intérieur du canal, l'effet de la forme du canal, la forme de l'obstacle sur l'échange de chaleur.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce travail de mémoire, Nous avons simulé numériquement effectuées par le logiciel ANSYS un modèle d'écoulement bidimensionnel dans un système de convection laminaire et étudié l'effet des obstacles sur l'écoulement et la température du fluide à l'intérieur du canal, ainsi que l'effet de la forme du canal et de la forme de l'obstacle d'échange de chaleur. Et l'efficacité de l'échange thermique sur un système composé d'une source de chaleur, d'un canal trapézoïdal contenant des obstructions (milieu poreux) et d'un liquide nano-hybride $AL_2O_3-SiO_2-H_2O$.

Cette étude a été décomposée en quatre chapitres :

- ✓ La première partie présente les recherches bibliographiques antérieures dans ce domaine avec des informations générales sur les nanofluides hybrides ainsi qu'une revue des informations générales sur le transfert de chaleur.
- ✓ Il s'appuie dans la partie suivante, sur la modélisation mathématique de la convection d'un liquide nano-hybride dans un canal trapézoïdal contenant des obstructions. Il y a une présentation des équations générales dans le système laminaire, ainsi que le modèle mathématique du cas étudié et la formule mathématique du problème, avec les propriétés thermophysiques des nanofluides hybrides, ainsi que les conditions ou limite qui applique sur cette opération.
- ✓ Une fois le cas géométrique, la grille et la frontière créés par le logiciel ANSYS Workbench, nous avons terminé les calculs et les résultats graphiques de la simulation ont été affichés pour différentes fractions volumiques, différents nombres de Rayleigh ainsi que le module de Darcy et la porosité. Et connaissant l'effet de ces paramètres sur les champs de chaleur et de vitesse, ainsi que sur le nombre de Nusselt, qui caractérise le transfert de flux de chaleur au sein du canal. Autrement dit, chaque fois que nous augmentons la fraction volumique et les nombres de Rayleigh.
- ✓ Nous pouvons finalement conclure que l'augmentation de l'échange de chaleur doit être lorsque la taille de la fraction augmente. Les résultats obtenus ont montré que l'augmentation de la fraction donne une amélioration du refroidissement des microcanaux (température et vitesse), l'augmentation du nombre de Reynolds et de

Conclusion Générale:

la porosité (qui conduit à une augmentation du transfert de chaleur) conduit au développement de la le nombre de Nusselt moyen (qui caractérise le flux de chaleur à l'intérieur du canal) ainsi que le coefficient de Darcy ont un rôle dans le transfert de température.

Bibliographique

- [1] **Teggar. N**, Etude de la convection d'un nano-fluide dans des microcanaux inclinés. Mémoire master, université Mohamed Khider Biskra , 2020.
- [2] **Salhi. H** , Etude numérique de la convection naturelle dans les enceintes : nano-fluide, Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat de l'université de Batna,2015.
- [3] **Kalfali. M** , Etude de la convection thermique dans des cavités par l'utilisation des nano-fluides hybrides . Mémoire master, université Mohamed Khider Biskra , 2021.
- [4] **Hadi. D**, Etude de la convection d'un nano-fluide dans des microcanaux verticaux. Mémoire master, Université Mohamed Khider Biskra,2020.
- [5] **Abd Eddaim. A** , "Gestion des échanges thermiques des éléments électroniques. Mémoire master, Université Mohamed Khider Biskra,2019.
- [6]<https://www.electrolube.fr/articles-techniques/gestion-thermique-des-appareils-electroniques/> (consulté 09/04/2019).
- [7] **Krouma. S** , Influence de la géométrie des nanoparticules dans un nanofluide sur le transfert thermique. Mémoire master, Université Mohamed Khider Biskra, 2017.
- [8] **Maouassi . A**, Intensification des échanges de chaleur par l'utilisation des nano fluides. Mémoire de magistère, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 2012 .
- [9] **Das. S, K, Choi. S, U, Yu. W, & Pradeep. T**, Nanofluids: Science and Technology, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007.
- [10] <https://fr.lambdageeks.com/nanofluid/> date de consultation.2/.6/2021
- [11] **Abbasi. S , M , Rashidi. A , Nemati. A , and Arzani. K** , The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina, *Ceramics International* 39, no. 4 (2013): 3885-3891.
- [12] **Mammeri. A**, 'Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriels : Application aux serveurs informatiques', Doctorat Paris Tech, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 2014.
- [13] **Witharana. S, Chen. H, & Ding. Y**, Stability of nanofluids in quiescent and shear flow fields, *Nanoscale Res. Lett.* 6 (1) (2011) 231.

- [14] **Evans. W, Fish. J, & Keblinski. P,** Rôle de l'hydrodynamique du mouvement brownien sur la conductivité thermique des nanofluides, *Appl. Phys. Lett.* 88 (9) (2006) 093116.
- [15] **Suresh. S, Venkitaraj. K. P, and Selvakumar. P,** Synthesis, Characterisation of Al₂O₃-Cu Nano composite powder and water based nanofluids, In *Advanced Materials Research*, vol. 328, pp. 1560-1567. Trans Tech Publications Ltd, 2011.
- [16] **Sundar, L. Syam, Manoj K. Singh, and Antonio CM Sousa,** Thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based Fe₃O₄ nanofluid, *International communications in heat and mass transfer* 49 (2013): 17-24.
- [17] **Lee, P. Y., K. Ishizaka, H. Suematsu, W. Jiang, and K. Yatsui,** Magnetic and gas sensing property of nanosized NiFe₂O₄ powders synthesized by pulsed wire discharge, *Journal of Nanoparticle Research* 8, no. 1 (2006): 29.
- [18] **Munkhbayar. B, Tanshen. M, R, Jeoun. J, Chung. H, & Jeong. H,** Surfactant-free dispersion of silver nanoparticles into MWCNT-aqueous nanofluids prepared by one-step technique and their thermal characteristics, *Ceramics International* 39, no. 6 (2013): 6415-6425.
- [19] **Ijam. A, & Saidur. R,** Nanofluid as a coolant for electronic devices (cooling of electronic devices), *Appl. Therm. Eng.* 32 (2012) 76 82.
- [20] **Talbi .E** 'Etude numérique de la convection autour des composants électroniques montés entre deux plaques planes verticales en présence d'un nano fluide. Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2016.
- [21] **Jana. S, Salehi-Khojin. A, & Zhong. W, H,** Amélioration de la conductivité thermique des fluides par l'ajout de nano-additifs simples et hybrides, *Thermochim. Acte* 462 (1 2) (2007) 45 55.
- [22] **Mme Tabet. S,** 'Etude numérique de la convection naturelle dans une enceinte fermée partiellement chauffée', Thèse de doctorat Université d'Oran 2 Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2017.
- [23] **REZAIGUIA. I,** investigation des échanges convectifs dans diverses configuration, thèse de doctorat universite constantin , 2014.
- [24] **Athmani. B,** Analyse expérimentale et numérique du déversoir en touche de piano «PK-WEIR» (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra), 2014.

Résumé

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la convection forcée d'un canal trapézoïdal bidimensionnel contenant des ailettes remplies de nanofluides hybride $AL_2O_3-SiO_2-H_2O$. En présence d'un milieu poreux à l'intérieur des ailettes. A partir du nombre de Reynolds, de la taille des nanoparticules et du numéro d'étude sur les valeurs de flux et d'échange thermique. D'après les résultats obtenus à partir de l'étude, il a été noté l'effet de l'augmentation du nombre de Reynolds sur le coefficient de transfert de chaleur, et la relation inverse entre la porosité du milieu et le transfert de chaleur, c'est-à-dire que plus la valeur de la porosité de le milieu, plus le transfert de chaleur est important. Par contre, le nombre de Nusselt est affecté par l'augmentation du nombre de Reynolds et la diminution de la valeur de porosité du milieu.

Mots clés : Transfert de chaleur par convection, nanofluides, nanofluides hybrides.

ملخص

الهدف من هذا العمل دراسة تأثير الحمل الحراري القسري لقناة شبه منحرفة ثنائية الأبعاد تحتوي على زعانف تم مملؤها بالسائل النانوي الهجين ($AL_2O_3-SiO_2-H_2O$) بوجود وسط مسامي داخل الزعانف. حيث تم حل المعادلات الحاكمة للظاهرة الفيزيائية بطريقة الحجم المنتهية، وتمت دراسة تأثير كل من عدد رينولد وحجم الجسيمات النانوية وعدد دراسي على قيم التدفق والتبادل الحراري. من النتائج المتحصل عليها من الدراسة تم ملاحظة تأثير زيادة عدد رينولد على معامل انتقال الحرارة، والعلاقة العكسية بين مسامية الوسط والنقل الحراري، أي كلما قلة قيمة مسامية الوسط زاد النقل الحراري. من ناحية أخرى تأثر عدد نسلت بالزيادة في عدد رينولد ونقصان قيمة مسامية الوسط.

الكلمات الدالة : نقل الحرارة بالحمل الحراري، السوائل النانوية، السوائل النانوية الهجينة.

Abstract

The aim of this work is to study the effect of forced convection of a two-dimensional trapezoidal channel containing fins filled with hybrid nanofluids $AL_2O_3-SiO_2-H_2O$ in the presence of a porous medium inside the fins. From the Reynolds number, the nanoparticle size, and the study number on the flux and heat exchange values. From the results obtained from the study, it was noted the effect of increasing the Reynolds number on the heat transfer coefficient, and the inverse relationship between the porosity of the medium and the heat transfer, that is, the lower the value of the porosity of the medium, the greater the heat transfer. On the other hand, the Nusselt number was affected by the increase in Reynolds number and the decrease in the porosity value of the medium.

Keywords: Heat transfer by convection, nanofluids, hybrid nanofluids.