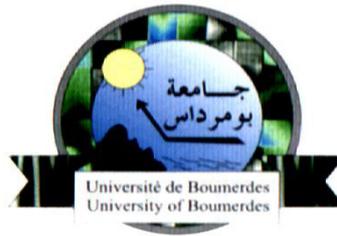


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER**

Filière : Génie mécanique
Option : Energétique

THEME

**Simulation numérique d'un jet nanofluide
impactant une paroi chauffée**

Réalisé par :

M^{elle} ZENNOUCHE Amina

M^{elle} HAMOURIT Zineb

Suivi par:

Promoteur : Pr .K.MANSOURI

Co-Promotrice : M^{elle} H.LAMRAOUI

Promotion 2019- 2020

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu **ALLAH** le tout Puissant qui nous donnée la force, le courage et la patience de bien mener ce travail.

Un remerciement spécial à notre promoteur **Pr. Mansouri Kacem**, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciement aussi notre co promotrice **Hanan Lamraoui** pour son aide précieuse, ce conseils éclairés et ses encouragements.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner et pour consacrer une partie de leurs temps pour lire, évaluer et de juger notre travail.

Nous remercions aussi tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.

Enfin nous tenons à remercier tous les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon père et ma mère, qui m'ont

Éclairés le chemin en me donnant la main tout au

Long de mes années d'étude

A mes frères

A Toute ma famille

*Tous mes chère amis surtout Nour elhouda el Hadjer et LILA
que j'ai partagé des moments les plus agréables.*

A tous ceux qui me sont chères, proches de mon cœur, et à

*Tous ceux qui m'aiment et qui aurait voulu partager ma joie et
qui me donnent l'envie d'aller en avant.*

Je vous remerciés tous.

Hammourit Zineb

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma très chère mère,

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Alors je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

À mes frères et mes sœurs qui ont été toujours présent pour moi.

À Toute ma famille

Toutes mes chères amies

Tous ceux et celles qui m'ont aidée et encouragée.

Amina Zennouche

Résumé

Dans ce travail, nous proposons une étude numérique d'un jet laminaire impactant une paroi chauffée avec un nanofluide non-Newtonien. La méthode des volumes finis a été utilisée à l'aide du code de calcul "ANSYS 16.0" pour discrétiser les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie, et l'algorithme SIMPLE pour les résoudre. Les simulations numériques ont été réalisées pour différentes valeurs du nombre de Reynolds $50 \leq Re \leq 200$ pour différentes valeurs de la fraction volumique $1\% \leq \phi \leq 4\%$, et pour de nanoparticule (Al_2O_3), une température uniforme est appliqués sur la surface cible. On étudié le comportement thermique et dynamique en terme de coefficient de transfert de chaleur et nombre de Nusselt. Les résultats obtenus montrent que le transfert de chaleur s'améliore avec l'augmentation du nombre de Reynolds et la fraction volumique. Le coefficient de transfert de chaleur et nombre de Nusselt augment avec l'augmentation de Re et ϕ .

Les mots clés: jet impactant, nanofluide, fluide non Newtonien, régime laminaire.

Abstract

In this work, a numerical study of a laminar jet impacting a heated wall with a non-Newtonian nanofluid. The finite volume method was used using code of calculation "ANSYS 16.0" to discretize continuity and momentum equations and energy, and the SIMPLE algorithm is used to resolve them. Numerical simulations were carried out for different values of the Reynolds number $50 \leq Re \leq 200$ for different volume fractions $1\% \leq \phi \leq 4\%$ of Al_2O_3 nanoparticle. Uniform temperature is applied to the target surface. We study the behavior thermal and dynamic in term of heat transfer coefficient and Nusselt number, the results obtained show that the heat transfer improves with the increase of the Reynolds number and the volume fraction

Keywords: impinging solt jets, nanofluid, non-Newtonian fluid, laminar regime

المخلص

في هذا العمل ; نقترح دراسة عدديه لناقورة مؤثرة على جدار حراري بامتداد النانو المائع غير النيوتوني .استعملنا طريقة الحجم المنتهية باستخدام كود حساب "انسيس 0.16" لحل المعادلات الاستمرارية الحركة و الطاقة . المحاكات نفذت لقيم مختلفة من "رينولدز" بين 50 الي 200 و قيم تركيزات الجسيمات النانوية لنانو جزيئات "الكسيد الالمنيوم" . يتم تطبيق درجة حرارة موحدة على السطح المستهدف ندرس السلوك الحراري والديناميكي من خلال معامل انتقال الحرارة ورقم "نوسلت" . اظهرت النتائج ان انتقال الحرارة يتحسن مع زيادة عدد رينولدز و قيم تركيزات الجسيمات النانوية ومعامل انتقال الحرارة يزيد مع زيادة عدد رينولدز و قيم تركيزات

الكلمات المفتاحية صدم- نانو المائع - نظام جامينار- غير نيوتن.

Tables matières

Nomenclature.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités

I.1. Notion générale sur les jets.....	2
I.1.1. Structure du jet impactant une paroi plane.....	3
I.1.2. Jet laminaire.....	3
I.2. les fluides non-Newtoniens	4
I.2.1 Classification des fluides non-Newtoniens	5
I.2.3 Types de comportement non-Newtonien	6
I.3. Généralité sur les nanofluides	6
I.3.1. Définition	6
I.3.2. Nanoparticules et les fluides porteurs.....	7
I.3.3 Types de nanoparticules	8
I.3.4. Techniques de fabrication	9
I.3.5. Les études effectuées sur les nanofluides	9
I.3.6. Les applications des nanofluides	10
I.3.7. Les avantages et les inconvénients des nanofluides	11
I.3.7.1. Les avantages des nanofluides	11
I.3.7.2. Les inconvénients des nanofluides.....	11
I.3.8. Propriétés thermophysiques des nanofluides.....	11
I.3.8.1. La masse volumique.....	11
I.3.8.2. La capacité calorifique.....	12
I.3.8.3. Le coefficient d'expansion thermique	12
I.3.8.4. La viscosité des nanofluides	12
I.3.8.5. La conductivité thermique des nanofluides	13
I.4. Conclusion	14

Chapitre II: Revue bibliographique

II.1.Introduction	15
Partie I : Travaux effectués sur les nanofluides dans les jets impactant	15
Partie II : Travaux traitant les nanofluides non-newtoniens.....	17
Conclusion.....	22

Chapitre III : Technique numérique et résolution

III. Introduction	23
III.1.Equation gouvernantes.....	23
III.2.Configuration géométrique.....	26
III.3.Présentation du code de calcul	27
III.3.1.La méthode des volumes finis.....	27
III.3.2.Fluent ANSYS.....	27
III.3.3.Les étapes du logiciel.....	27
III.3.3.1.Création du projet.....	28
III.3.3.2.Création de la géométrie.....	29
III.3.3.3.Création du maillage.....	30
III.3.3.4.Lancement du calcul par Fluent.....	30
III.4.Procedreur numérique.....	31
Conclusion.....	32

Chapitre IV : Résultat et discussion

IV.1. Introduction.....	33
IV.2 .Validation du code de calcul.....	33
IV.3. Effet du nombre de Reynolds Re , rapport d'impact H/W et de la fraction volumique concentration φ sur le coefficient de transfert de chaleur	33
IV.4. Effet du nombre de Reynolds Re et rapport d'impact H/W et de la fraction volumique φ sur le nombre locale Nu_x	35
IV.5.Effet du nombre de Reynolds Re et rapport d'impact H/W et de la fraction volumique φ sur concentration sur le coefficient de transfert de chaleur.....	39
Conclusion générale	41
Références bibliographiques.....	42

Nomenclature

Symboles de nomenclature

- c_p : Chaleur spécifique (J / kg K).
- H : Hauteur du canal (m).
- h : Coefficient de transfert thermique (W/ m² K).
- L : Longueur de canal (m).
- Nu_x : Nombre de Nusselt local.
- P : Pression (Pa).
- q : Flux thermique de surface cible (W / m²).
- Re : Nombres de Reynolds.
- T : Température (K).
- u : Composante de vitesse (m / s).
- Q : Débit volumique (m³ / s).
- W : Largeur du jet (m).
- x, y : Coordonnées spatiales (m).
- m, n : l'indice de comportement et le facteur de cohérence.

Symboles grecs

- δ : Distance des particules (m)
- λ : Conductivité thermique (W / m K)
- μ : Viscosité dynamique (Pa s)
- ν : Viscosité cinématique (m² / s)
- ρ : Densité (kg / m³).
- τ : Contrainte de cisaillement des murs (kg / m)
- ϕ : Concentration de nanoparticules.

Les indices

- 0 : Point de stagnation.

f : Fluide.

nf : Nanofluide.

P : particule.

j : Jet.

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Structure d'un jet impactant une paroi plane.

Figure I.2 : Nanofluides vus au microscope électronique : éthylène glycol+cuivre à 0.5% ; eau+ alumine ; eau +or ; eau + nanotubes.

Figure I.3 : Nanoparticules sphériques [BAN/2005] ; Nanotubes de carbone [INT1].

Figure II.1 : Géométrie et conditions aux limites associées au problème actuel.

Figure II.2 : Schéma d'un jet impactant confiné.

Figure II.3 : modèle physique d'un jet impactant confiné.

Figure III.1 : Esquisse du model géométrique avec conditions aux limites.

Figure III.2 : Les étapes du logiciel.

Figure III.3 : Interface de la création d'un projet.

Figure III.4 : Sous-interface de la création d'un projet.

Figure III.5 : Interface du logiciel ANSYS 16.0.

Figure III.6 : Géométrie du domaine de calcul.

Figure III.7 : Interface de la création du maillage.

Figure III.8 : L'interface du lancement du calcul.

Figure III.9 : Allure de l'évolution des résidus de calcul.

Figure III.10 : Résultats de test maillage.

Figure IV.1 : Validation des résultats numériques en termes de distribution du coefficient de transfert de chaleur le long de la surface d'impact.

Figure IV.2 : Profils de coefficient de transfert de chaleur par convection le long de x/W , $H/W=4$, $Re=100$ et 200 (a) $\phi=1\%$;(b) $\phi=4\%$.

Figure IV.3 : Profils de coefficient de transfert de chaleur par convection le long de x/W , $H/W=6$, $Re=100$ et 200 (a) $\phi=1\%$;(b) $\phi=4\%$.

Figure IV.4 : Profils de nombres Nusselt locaux le long de x/W pour $H/W=4$ et $H/W=6$, $Re=50$ à 200 ; $\phi=1\%$ et 4% .

Figure IV.5: Profils nombres Nusselt locaux selon x/W , $H/W=4$ et 6 , $Re=50$, 100 , 150 et 200 : $\phi=1\%$; $\phi=4\%$.

Figure IV.6 : Profils de Nusselt locaux selon x/W : $H/W=4$, $Re =100$; 200 et $H/W=6$, $\varphi=1\%$; $\varphi=3\%$; $\varphi=4\%$.

Figure IV.7 : Profils des coefficients de transfert de chaleur par convection moyen en fonction de Re pour différentes concentrations $H / W = 4$ et 6.

Figure IV.8 : Profils des coefficients de transfert de chaleur par convection moyen en fonction de concentrations φ pour différents nombre de Re , $H/W=4$ et 6.

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Comparaison entre jet simple et jets multiple.

Tableau I.2 : Caractéristique du jet laminaire.

Tableau III.1 : Valeurs des paramètres rhéologiques.

Tableau III.2 : Propriétés de Thermophysique de nanofluide.

Introduction
générale

Introduction générale

Les jets à impact sont classés dans la catégorie des méthodes actives, et ils ont été largement utilisés dans plusieurs applications industrielles comme moyen de fournir des coefficients de transfert de chaleur localisés élevés. En fait, les jets d'impactant sont fréquemment utilisés dans le cadre de différentes applications mécaniques, en particulier appliqués au séchage des textiles, et du papier, au refroidissement des composants des turbines à gaz et de la paroi extérieure des chambres de combustion.

Il existe une réelle demande dans le monde industriel pour développer de nouvelles stratégies permettant d'améliorer le comportement thermique des fluides utilisés dans les systèmes de refroidissement. Des progrès importants en chimie ont permis dès la fin des années 90 de synthétiser des particules de taille nanométrique, qui sont dispersées dans le liquide porteur, constituent des nanofluides. De nombreuses recherches ont été menées sur cette nouvelle génération de fluides afin d'apporter une meilleure compréhension de ces mécanismes, et mettre ainsi au point des liquides caloporteurs plus performants.

Les applications potentielles des nanofluides sont multiples et très importantes dans plusieurs domaines (refroidissement d'éléments électronique, climatisation et froid, aéronautique et spatial,...).

Notre modeste travail de recherche s'inscrit dans le domaine de transfert de chaleur et mécanique des fluides. Ce travail a pour objectif d'une étude numérique d'un jet nanofluide impactant une paroi chauffée.

Le présent travail est organisé en quatre chapitres :

- le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités sur les jets impactant, fluide non-Newtonien ainsi que une généralité sur les nanofluides.
- Le deuxième chapitre, nous présentons une revue des différents travaux concernant notre cas d'étude.
- Le troisième chapitre présente la méthode de résolution numérique.
- le quatrième chapitre est dédié à l'explication et discussion des résultats de simulation obtenus.

Finalement nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

Chapitre I
Généralités

I.1. Notion général sur les jets :

Théoriquement dans une première approche, un jet peut être défini comme étant le résultat d'une injection de fluide (sous phase liquide ou gazeuse) à débit constant, à travers une fente appelée buse (ou orifice) dans un milieu ambiant (en mouvement ou au repos). Alors que de nombreuses applications impliquent des jets turbulents, les jets laminaires sont également rencontrés lorsque le fluide est très visqueux (liquide), la géométrie est miniature (dans le domaine de la microélectronique) ou pour le cas où le nombre de Reynolds faible est nécessaire pour éviter une pression élevée dans la zone d'impact du jet. Cette liste n'est pas exhaustive et de nombreuses autres applications existent.

Selon leur surface d'injection, on peut distinguer au moins deux types de jet :

- le jet rond (axisymétrique) lorsqu'il débouche d'une buse circulaire.
- le jet plan, débouche d'une buse de forme rectangulaire avec un rapport d'allongement très important, de manière que l'épanouissement latéral du jet soit négligé. Le jet peut être alors considéré bidimensionnel en moyenne.

Pour un jet avec absence d'obstacles, on distingue deux cas de conditions aux limites, jet confiné (l'effet paroi est tenu en considération) et jet libre (débouchant à l'air libre ou l'effet paroi est négligeable, elles sont suffisamment éloignées).

De manière générale, l'écoulement du jet est caractérisé par :

- la hauteur d'impact : distance entre la section de sortie de la buse d'injection et la paroi d'impact ;
- le nombre de Reynolds du jet, calculé à partir de la vitesse moyenne dans la buse d'injection et de son diamètre.

Jet simple	Jet multiples
<ul style="list-style-type: none"> • Le taux de distinction est fort à cause de l'effet de la compression puissante de l'atmosphère entourant tous les cotés. • pour $X/D \geq 10$ le taux d'épanouissement est linéaire avec la distance. 	<ul style="list-style-type: none"> • le taux de distinction est faible en général pour tous les (S) en présence de la région enfermée entre eux et qui a des niveaux de pression su atmosphérique. • Le demi-largeur ($Y_{0.5}$) est grande que celle de simple jet. • Pour $X/D \geq 10$ le taux d'épanouissement est linéaire avec la distance. • le taux d'épanouissement est faible par rapport au jet simple.

Tableau I-1 : Comparaison entre jet simple et jets multiple.

I.1.1 Structure du jet impactant une paroi plane :

En général, le jet impactant sur une paroi plane peut se décomposer en trois régions

Essentielles :

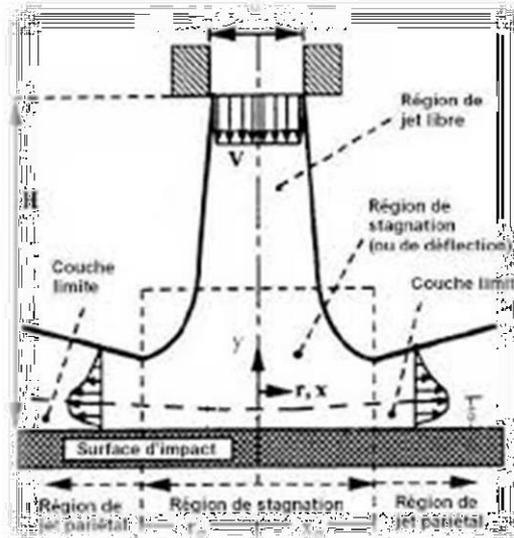


Figure. I.1 : Structure d'un jet impactant une paroi plane.

1. Région de jet libre : cette région est caractérisée par l'écoulement d'un jet rond turbulent, axisymétrique en moyenne. Il peut atteindre une zone d'écoulement établi ZEF (*Zone of Established Flow*) cette dernière ne peut apparaître que lorsque la distance d'impact est suffisamment grande.
2. Région de stagnation (région d'impact) : cette région est caractérisée principalement par une forte diminution de la composante de vitesse axiale à l'amont du point de stagnation, une élévation importante de la pression au point d'arrêt, et une forte augmentation de la composante de vitesse radiale en aval du point d'impact.
3. Région de jet pariétal : cette région est caractérisée par le développement et l'épaississement d'un jet pariétal, c'est à dire le long de la surface d'impact et dont la vitesse radiale maximale diminue

I.1.2. Jets laminaires :

le jet laminaire est la forme la plus simple d'écoulement de jet .Un jet étant le plus souvent issu d'une conduite droite, le nombre de Reynolds le caractérisant est pris égal au nombre de Reynolds à la sortie de l'orifice Re (tableau IV-2). Un jet peut donc être considéré laminaire lorsque $Re < 2000$; au-delà de cette valeur, il peut être considéré turbulent. Les données de la littérature sont disponibles dans les ouvrages généralistes de la mécanique des fluides.

Le jet laminaire considéré est un jet rond et stationnaire. Le fluide environnant est considéré au repos. Tableau (IV-2) permet de synthétiser les expressions exprimant le champ de vitesse moyenne et le champ de concentration :

	Expression	Expression
Champ de vitesse Moyenne	$U_x = \frac{3}{32} \frac{Re^2 v}{x \left(1 + \frac{\zeta^2}{4}\right)^2}$	$Re = \frac{d_0 u_0}{\nu}$ nombre de Reynolds du jet à l'orifice.
Champ de Concentration	$\frac{c}{c_0} = \frac{3}{32} \frac{Re d_0}{x \left(1 + \frac{\zeta^2}{4}\right)^{2Sc}}$	$\zeta = \frac{\sqrt{3}}{8} \frac{\nu}{x}$ paramètre adimensionnel $Sc = \frac{Dm}{\nu}$ nombre de Schmidt
Largeur du jet	$b_v = \frac{5.94}{Re} x$	Plus le nombre de Reynolds est élevé, plus le jet est étroit

Tableau I-2 -Caractéristiques du jet laminaire.

Où d_0 est le diamètre de l'orifice, u_0 la vitesse initiale du jet, ν la viscosité cinématique du fluide, y la distance transversale à l'axe ox , x la distance sur l'axe ox à l'orifice et Dm la diffusivité moléculaire.

I.2. les fluides non-Newtoniens :

En termes très simplifiés, un fluide newtonien est un liquide dont la viscosité ne dépend ni de sa vitesse de cisaillement (analogue à la vitesse d'écoulement dans un tuyau), ni du temps pendant lequel le liquide est cisailé : l'eau, par exemple, a une viscosité qui reste constante (pour une température donnée), quelle que soit son débit dans un tuyau et le temps qu'elle y circule. On parle de cisaillement quand, par exemple, les différentes parties d'un liquide qui s'écoule ne vont pas à la même vitesse : dans un tuyau, l'eau qui circule au centre va plus vite que l'eau qui longe la paroi du tuyau. Cette différence de vitesse entre les deux endroits provoque comme un glissement relatif des deux endroits : il existe une variation de vitesse entre les deux endroits :

Au contraire, les fluides qui n'ont pas un comportement newtonien sont qualifiés de non-newtoniens : c'est un liquide (et en généralisant, n'importe quelle matière déformable) dont la

viscosité peut varier en fonction de la contrainte mécanique qu'on lui applique, ou du temps pendant lequel est appliquée cette contrainte. On parle de contrainte quand on applique une force sur un matériau.

Les fluides Newtoniens sont caractérisés par une loi de comportement linéaire entre la contrainte de cisaillement τ et le taux de déformation $\dot{\gamma}$. Le coefficient de proportionnalité entre τ et $\dot{\gamma}$ est la viscosité dynamique μ . Par contre, pour les fluides non Newtoniens, la contrainte de cisaillement est non linéaire et proportionnelle au taux de déformation.

Toute déviation de ces règles est le signe d'un comportement non-Newtonien.

L'équation représente le cas le plus simple où le vecteur vitesse a une seule composante dans la direction axiale (x), qui varie seulement dans la direction radiale (y). Une telle configuration d'écoulement est connue comme écoulement de cisaillement simple.

$$\tau_{yx} = \frac{F}{S} = \mu \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{Avec le taux de déformation.}$$

La plupart des fluides connus en physique et dans les processus industriels, autres que l'air et l'eau sont des fluides non-Newtoniens. Il y a une orientation croissante de la compréhension du comportement des fluides non-Newtoniens et en particulier dans le domaine des polymères, du pétrole, et des industries agroalimentaires et sanitaires.

Le comportement non-Newtonien est une caractéristique des solutions de polymères. La production des fibres synthétiques (Nylon par exemple) est un domaine où les fluides non-Newtoniens trouveront une place importante.

I.2.1 Classification des fluides non-Newtoniens :

On peut classer les fluides non-Newtoniens en trois catégories :

1. Fluides non-Newtoniens généralisés : Le taux de cisaillement du fluide dépend uniquement de la valeur instantanée de l'effort de cisaillement. Ceux-ci s'appellent également fluides purement visqueux ou indépendants du temps.
2. Des fluides plus complexes dont la relation entre l'effort de cisaillement et le taux de cisaillement dépend de la durée du cisaillement s'appellent 'les fluides dépendant du temps.

3. Les fluides non-Newtonien qui présentent à la fois des propriétés des solides élastiques et des fluides visqueux sont appelés fluides viscoélastiques. Pour ces fluides, il y a seulement un rétablissement partiel à l'état original quand une déformation ou un effort est appliqué.

I.2.3 Types de comportement non-Newtonien :

On distingue plusieurs types de comportement non-newtonien :

- **Fluides rhéofluidifiants** : quand on les agite ou qu'on les presse, ils deviennent plus fluides, donc moins visqueux, ils s'écoulent plus facilement.
- **Fluides de Bingham** : c'est un cas particulier où la fluidité survient uniquement après qu'un certain seuil de contrainte soit dépassé. Par exemple, la pâte dentifrice ne coule pas hors du tube sous son propre poids quand l'ouverture du tube est vers le bas il faut presser (= appliquer une contrainte) pour qu'elle sorte du tube.
- **Fluides rhéoépaississants** : au contraire, quand on les agite, ils deviennent plus visqueux, plus difficiles à mélanger, ils se figent parfois. C'est le cas d'une solution d'alcool polyvinylique dans l'eau : au-delà d'une certaine concentration, quand on agite fortement la solution liquide, celle-ci devient plus visqueuse et peut même se gélifier.
- **Fluides thixotropes** : proche des fluides rhéofluidifiants, mais à ne pas confondre, car là il s'agit d'un passage de l'état solide, gélifié ou liquide très visqueux à un état liquide moins visqueux, lorsqu'une contrainte est appliquée pendant un certain temps. Il s'agit donc d'une variation de viscosité dans laquelle le temps de la contrainte intervient : une contrainte appliquée ne peut provoquer le passage à l'état liquide qu'après un certain temps. Exemples : les sables mouvants, ou certaines argiles, peuvent devenir liquides si on les soumet à des vibrations ou mouvements (c'est ainsi que, lors de tremblements de terre, on a pu voir des immeubles basculer sur le côté dans un sol devenu plus fluide !).
- **Fluides anti thixotropes ou rhéopexes** : au contraire, il s'agit du passage de l'état liquide à un état liquide plus visqueux, gélifié ou solide, lorsqu'une contrainte est appliquée pendant un certain temps.

I.3. Généralité sur les nanofluides :

I.3.1. Définition

Les nanofluides 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. Ce type de solution suscite un grand intérêt depuis la découverte de leurs propriétés thermiques particulières.

Dans le cas des fluides caloporteurs, un des premiers paramètres à prendre en compte afin d'évaluer le potentiel d'échange de chaleur est la conductivité thermique. En effet, les fluides de base souvent utilisés dans les applications de refroidissement ou de chauffage ont des conductivités thermiques très faibles qui limitent leur capacité de transfert de chaleur. L'idée est alors d'insérer au sein des liquides de base des nanoparticules de conductivité très élevée, afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange et ainsi améliorer ces performances thermiques.

I.3.2. Nanoparticules et les fluides porteurs :

Une nanoparticule est un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes, conduisant à un objet dont au moins l'une des dimensions est de taille nanométrique (1 à 100 nm). Les nanoparticules se situent à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique ou moléculaire. Elles ont un intérêt à la fois fondamental, et sont très étudiées de nos jours. De nombreux physiciens et chimistes les synthétisent, d'autres physiciens les étudient afin de comprendre la physique de ces objets nanométriques et des biologistes les utilisent comme marqueurs cellulaires.

Les liquides de base généralement utilisés dans la préparation des nanofluides sont ceux d'usage commun dans les applications de transfert de chaleur tels que l'eau, l'éthylène glycol, l'huile de moteur etc...; Les nanoparticules peuvent être à base de métaux, d'oxydes, de carbures, de nitrures ou de carbone

Les nanoparticules les plus utilisées pour obtenir des nanofluides sont :

- Les nanoparticules des oxydes métalliques.
- L'oxyde d'aluminium, Al_2O_3 .
- L'oxyde de cuivre, CuO .
- L'oxyde de silicium, SiO_2 .
- L'oxyde de titanium, TiO_2 .

Les nanoparticules métalliques

- L'aluminium, Al .
- Le cuivre, Cu .
- L'or, Au .
- L'argent, Ag .

- La silicone, Si.

Les nanoparticules non métalliques :

- Les nanotubes de carbone, CNT.
- Le diamant, C.

-Les liquides de base les plus utilisés sont :

- L'eau.
- L'éthylène-glycol, EG.
- Les huiles
- Le Toluène.
- Les fluides de réfrigération (R12.R22...)

Le choix des liquides de base est primordial pour un nanofluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tous phénomènes d'agréations, la sélection d'un telle fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule.

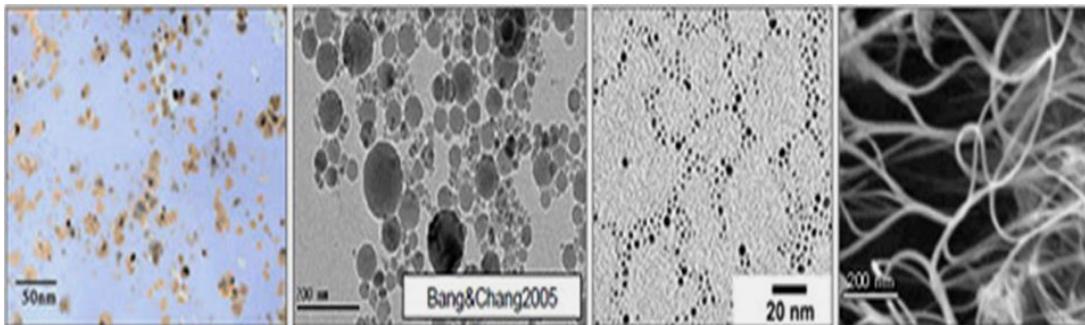


Figure. I.2 : Nanofluides vus au microscope électronique : éthylène glycol + cuivre à 0,5 % ; eau + alumine ; eau + or ; eau + nanotubes. [1]

I.3.3. Types de nanoparticules :

La production de nouveaux nanomatériaux (nanoparticules) constitue un champ de recherche en pleine expansion, aussi seules les nanoparticules les plus couramment utilisées dans les applications liées aux transferts thermiques sont ici brièvement mentionnées.

D'une manière générale, les nanoparticules peuvent être classées selon leur forme en deux grandes catégories (figure I.3) :

- Les nanoparticules sphériques pour lesquelles plusieurs types de matériaux peuvent être utilisés pour leur fabrication. Ces nanoparticules sphériques peuvent ainsi être à

base de métaux (cuivre Cu, fer Fe, or Au, argent Ag...) ou d'oxydes de cuivre (oxyde d'aluminium Al_2O_3 , oxyde de cuivre CuO, oxyde de titane TiO_2 ...).

- Les nanotubes (les nanotubes de carbone NTC, les nanotubes de titane TiO_2 , Nanotube de silicium...).

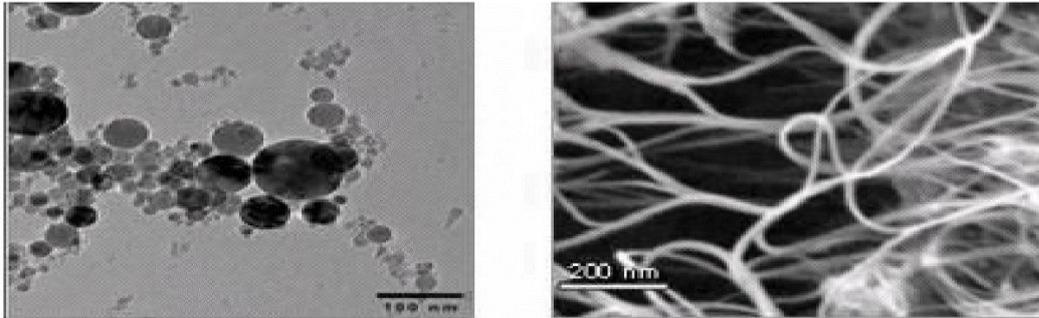


Fig. I.3 : Nanoparticules sphériques [BAN/2005] ; Nanotubes de carbone [INT1]

I.3.4. Techniques de fabrication :

La littérature concernant les nanofluides montre que leur utilisation en tant que fluide caloporteur est envisageable, la plupart des auteurs ayant constaté une amélioration des performances thermiques. Les informations qui reviennent le plus souvent sont l'amélioration de la conductivité thermique et une hausse de la viscosité avec l'augmentation de la concentration en nanoparticules. L'utilisation des nanofluides est assez contraignante cependant, des précautions particulières devant être prises pour éviter la sédimentation des particules, la corrosion ou l'augmentation des pertes de charge. A l'opposé, certains auteurs affirment le contraire, en l'occurrence que les nanofluides sont moins performants que leurs liquides de base. D'une manière générale, les nanofluides permettent de réduire l'encombrement et la consommation des équipements de refroidissement industriel par une meilleure efficacité. Comme les nanofluides sont de bons conducteurs de chaleur ils peuvent aussi être utilisés pour réchauffer plus efficacement. Un des grands inconvénients des nanofluides est leur prix (près de 100 euros le litre) Amrid [2]. On doit s'assurer de leur rentabilité. Leur emploi sera sûrement réservé aux technologies de pointes. Les grandes disparités sur l'explication des phénomènes derrière l'amélioration des propriétés thermiques des nanofluides prouvent bien que cette technologie n'est pas encore mature. On s'attend à ce que la recherche dans ce domaine s'intensifie.

Diverses techniques chimiques et physiques sont disponibles pour élaborer des nanoparticules. Ces différentes méthodes permettent d'obtenir des nanoparticules libres ou enrobées, encapsulées dans une matrice hôte.

La préparation des Nanofluides doit tenir compte surtout d'une suspension stable et durable et une agglomération minimale des nanoparticules, et doit assurer qu'elles n'entrent pas en échange chimique avec le fluide de base.

- La méthode en une seule étape consiste à produire les nanoparticules dans le fluide de base. Moins industrielle, elle n'est utilisable que pour certains nanofluides mais permet d'éviter l'agglomération et l'oxydation des nanoparticules. Un exemple de procédé consiste à condenser sous forme de nanoparticules une vapeur métallique dans un réacteur sur un film de liquide à basse tension de vapeur.
- La méthode en deux étapes consiste à produire dans un premier temps les nanoparticules, puis à les disperser dans le fluide de base. Pour permettre une bonne dispersion, une forte action mécanique à l'aide d'un agitateur rotatif ou d'ultrasons est souvent nécessaire afin de briser les agglomérats. En outre, pour éviter l'agglomération due aux forces d'attraction entre les particules, on utilise des forces de répulsion électrostatique en chargeant la surface des particules en adaptant le pH. On peut également utiliser les forces de répulsion stériques à l'aide de molécules adsorbées ou greffées sur la surface.

I.3.5. Les études effectuées sur les nanofluides :

compte tenu de l'importance accordée aux nanofluides, plusieurs études effectuées sur leurs propriétés physiques, telles que le coefficient de transfert thermique et la viscosité dynamique, ont prouvé que les nanofluides sont très différents par rapport au fluide de base et présentaient de meilleures caractéristiques thermophysiques. En effet, l'adjonction des particules métalliques dans un fluide de base a mis en évidence une amélioration des capacités thermiques de celui-ci.

Dans leurs premiers travaux, Choi et al [3] ont constaté que l'addition d'une petite quantité de nanoparticule (concentration volumique $\phi < 1\%$) donnait une augmentation, presque le double pour le coefficient de transfert de chaleur. D'autre part, Das et al [4] ont déterminé que l'augmentation de la conductivité thermique est presque de 25% par rapport à celui du fluide de base pour les différentes nanoparticules et les différentes concentrations volumiques ($0.5\% < \phi < 4\%$).

I.3.6. Les applications des nanofluides :

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques (paliers magnétiques à ferro fluides, agents de contraste en imagerie médicale), pour leurs propriétés électriques (dépôt conducteur électro mouillage pour lentilles liquides), et de marquage de cellules ou de contrefaçon avec des nanoparticules fonctionnalisées. En thermique, les nanofluides peuvent être utilisés partout où des flux de chaleur importants doivent être évacués par des boucles liquides fermées : refroidissement de composants électriques et électroniques, radars, automobile...etc.). Les nanofluides pourraient apporter une solution intéressante dans le refroidissement des miroirs, cibles et filtres des lasers et rayons X de forte puissance, ainsi que des Micro Electro Mechanical Systèmes. [5][6].

➤ D'autres applications

- L'échangeur de chaleur.
- Le refroidissement d'éléments électroniques (produire un nanofluide stable qui est compatible avec des circuits et des composants électroniques).
- Nanoparticules pour l'efficacité des réfrigérateurs (formulations de lubrifiants et liquides de refroidissement mélangés avec des nanoparticules pourraient entraîner une augmentation de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs).
- Aéronautique et spatial.
- Refroidissement des systèmes nucléaire.
- Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique).
- Autres applications (caloducs, pile à combustible, le chauffage solaire d'eau, forage, stockage thermique).

I.3.7. Les avantages et les inconvénients des nanofluides :

I.3.7.1. Les avantages des nanofluides :

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.
- Haute dispersion et stabilité avec prédominance mouvement brownien des particules.
- 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.

I.3.7.2. Les inconvénients des nanofluides :

- Fortes pertes de charge.
- Erosion.
- Sédimentation.
- Bouchons dans les écoulements.
- Le coût élevé des nanofluides.
- Difficultés dans le processus de production.

I.3.8. Propriétés thermo physiques des nanofluides :

Changement des paramètres physiques, dû à l'ajout des nanoparticules dans le fluide de base, tel que la masse volumique la viscosité et les paramètres thermiques sont prédits avec une pondération statistique ou à l'aide des méthodes expérimentales. En utilisant une pondération déterminée par le pourcentage de nanoparticules dans le fluide de base, on peut obtenir les paramètres physiques des nanofluides.

I.3.8.1. La masse volumique :

Pour calculer la masse volumique d'un nanofluide que nous supposons parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique à une température T donnée, à partir à la définition de la masse volumique de ce mélange on déduit l'expression suivante:

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi) \rho_f + \varphi \rho_s \quad (2)$$

ρ_{nf} : Masse volumique du nanofluide (kg/m³).

ρ_f : Masse volumique du fluide de base (kg/m³).

ρ_s : Masse volumique des nanoparticules solides (kg/m³).

$$\varphi = \frac{\text{volume solide}}{\text{volume total du nanofluide}} = \frac{v_s}{v_s + v_f} \quad (3)$$

Cette formule a été validée par les données expérimentales de Pak et Cho [7]. Elle a été également utilisée largement dans plusieurs travaux théoriques.

I.3.8.2. La capacité calorifique :

Pour la détermination de la capacité calorifique d'un nanofluide, on a retrouvé suivant.

Les auteurs l'une ou l'autre des deux relations suivantes.

- Modèle du Pak et Cho [7] :

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

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

- Modèle du Xuan et Roetzel :

Xuan et Roetzel (2000) [8] ont utilisé la formule suivante

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \varphi) (\rho c_p)_f + \varphi (\rho c_p)_s \quad (5)$$

I.3.8.3. Le coefficient d'expansion thermique :

Pour calcul la valeur de ce coefficient pour les nanofluides, on déduit l'expression suivante :

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi) \beta_f + \varphi \beta_s \quad (6)$$

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.

Le coefficient d'expansion thermique effectif est déduit de la formule classique suivant :

$$(\rho \beta)_{nf} = (1 - \varphi) (\rho \beta)_f + \varphi (\rho \beta)_s \quad (7)$$

I.3.8.4. La viscosité des nanofluides :

Il existe plusieurs modèles proposés dans la littérature pour la modélisation de la conductivité thermique et la modélisation de la viscosité des nanofluides. Dans ce qui suit, on discutera de quelques modèles parmi les plus représentatifs (Nguyen et al) [9]. Différentes formules théoriques peuvent être utilisées pour la détermination de la viscosité de particules en suspension dans un fluide. Il est important de mentionner que presque toutes les formules existantes sont dérivées du travail fondamental d'Einstein[10] Basé sur l'hypothèse que l'énergie a une dépendance linéaire avec la viscosité, Einstein a déterminé l'énergie dissipée autour d'une seule particule dans un fluide en associant son énergie avec le travail réalisé pour

la faire avancer relativement au fluide. À partir de ce résultat, il a déterminé l'expression qui permet d'obtenir la viscosité d'un fluide avec des particules :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\phi) \quad (8)$$

Où ϕ est la concentration des nanoparticules et μ la viscosité dynamique.

Cette célèbre formule est valide pour une concentration faible de nanoparticules (Drew et Passman [11]). Depuis la publication d'Einstein, plusieurs travaux théoriques ont été consacrés à l'obtention d'une correction à la formule d'Einstein. Un bref survol est donné par la suite :

Brinkman a amélioré la formule d'Einstein. Sa formule est la suivante :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad (9)$$

À partir des formules ci-dessus, il est évident que la viscosité effective d'un fluide visqueux qui contient des particules en suspension est fonction de la viscosité du fluide de base et du volume de la fraction des particules. En principe, toutes ces formules peuvent être utilisées pour la détermination de la viscosité du nanofluide en assumant que la dépendance de la viscosité est linéaire.

I.3.8.5. La conductivité thermique des nanofluides :

La conductivité thermique d'un nanofluide est calculée selon les deux modèles suivants :

- Modèle de Maxwell [12]

Maxwell, a présenté son modèle pour calculer la conductivité thermique d'un nanofluide en fonction de la fraction volumique de nanofluide, mais ce modèle est valable uniquement dans le cas des nanofluides qui contiennent des nanoparticules sphériques, et que cette condition peut être considérée comme un point négatif pour le modèle, donc pour l'utilisation de ce modèle on est obligée de considérer seulement les nanoparticules de forme sphériques. Le modèle de Maxwell (1873) est donné par la formule suivante :

$$\frac{\lambda_{nf}}{\lambda_f} = \frac{(\lambda_s + 2\lambda_f) - 2\phi(\lambda_f - \lambda_s)}{(\lambda_s + 2\lambda_f) + \phi(\lambda_f - \lambda_s)} \quad (10)$$

Où s , λ_{nf} et λ_f indiquent la conductivité thermique des nanofluides, des nanoparticules et du fluide de base respectivement, et ϕ la fraction volumétrique de nanoparticules dans le fluide de base.

Tel qu'illustré par l'expression ci-dessus, l'effet de la taille et la forme des particules n'ont pas été inclus dans l'analyse. Il convient aussi de noter que l'interaction entre les particules a été également négligée dans le calcul.

- Modèle de Hamilton-Crosser [13]

Le modèle de Hamilton, est une extension du modèle de Maxwell. Il concerne les particules de forme quelconque. Pour prendre en compte cette diversité de forme, Hamilton introduit un facteur géométrique appelé sphéricité (Ψ) faisant référence à la géométrie sphérique. Ce coefficient est défini comme étant le rapport de la surface de la sphère ayant le même volume que les nanoparticules sur la surface d'une nanoparticule, la conductivité thermique apparente du milieu est donnée par l'expression suivante :

$$\frac{\lambda n f}{\lambda f} = \frac{(\lambda s + (n-1)\lambda f) - (n-1)\varphi(\lambda f - \lambda s)}{(\lambda s + (n-1)\lambda f) + \varphi(\lambda f - \lambda s)} \quad (11)$$

Où n est le facteur de forme empirique qui est défini comme :

$$n = 3/\Psi.$$

Où Ψ est la sphéricité. La sphéricité est le rapport de la surface d'une sphère avec un volume égal à celui de la particule à la surface de la particule. Pour $n = 3$ le modèle de Hamilton et Crosser est équivalent au modèle de Maxwell.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une description générale sur le jet impactant ; le fluide non-Newtonien ; les nanofluides et leur propriétés thermo physiques des nanofluides. Dans le prochaine chapitre nous allons présenter les différents travaux de recherche les plus proches de notre sujet.

Chapitre II
Revue Bibliographique

Introduction :

Les jets d'impact ont été largement utilisés dans plusieurs applications industrielles comme moyen de fournir des coefficients de transfert de chaleur localisés élevés, ce qui a été largement étudié par de nombreuses chercheurs. Cependant, quelques exemples d'études sur les nanofluides dans les jets d'impact ont été étudiés expérimentalement et numériquement.

Pour éclaircir ce qui a été publié dans ce domaine, nous allons présenter dans un premier temps certains travaux effectués sur les nanofluides dans les jets impactant. Par la suite, on présente les études plus importantes sur des nanofluides, qui sont considérés comme des fluides non-newtoniens. En fin, nous présentons quelques travaux traitant les jets laminaires non newtoniens.

Parti I :

Roy et al [14], ont fourni les premiers résultats numériques sur les champs hydrodynamiques et thermiques du nanofluide Al_2O_3 / eau dans un système de refroidissement à flux laminaire radial, soulignant une amélioration du transfert de chaleur jusqu'à 200% dans le cas d'un nanofluide à 10% la concentration volumique des nanoparticules à un nombre de Reynolds égal à 1200. Cependant, une augmentation significative de la contrainte de cisaillement de paroi a été notée.

Palm et al [15], ont étudié numériquement les jets à impact laminaire, mais ils ont considéré les propriétés des fluides en fonction de la température. Les résultats ont indiqué une augmentation de 25% en termes de coefficient de transfert thermique moyen des parois, par rapport à l'eau à une concentration égale à 4%. De plus, l'utilisation de propriétés dépendantes de la température est déterminée pour de meilleures prévisions de transfert de chaleur avec des diminutions correspondantes des contraintes de cisaillement des parois par rapport aux évaluations utilisant des propriétés constantes. Les importantes capacités d'élimination de la chaleur des nanofluides ont été confirmées par l'étude numérique sur l'écoulement radial laminaire d'un nanofluide dans une configuration axisymétrique simplifiée avec injection axiale de liquide de refroidissement, qui a été réalisée par **Roy et al** [16]. **Roy et al** [14] a simulé numériquement le comportement de diverses fractions volumiques de particules dans un jet circulaire confiné et immergé frappant une plaque chauffante horizontale. Des jets d'impact laminaires et turbulents à différentes distances buse à plaque et nombres de Reynolds

ont été pris en compte. Ils ont souligné les performances d'évacuation de chaleur plus élevées des jets laminaires par rapport au fluide de base.

L'étude sur l'écoulement laminaire constant d'alumine / eau incompressible entre des disques parallèles a été réalisée par **Vaziei et Abouali** [17] qui ont évalué des valeurs croissantes du nombre de Nusselt avec une fraction volumique de nanoparticules plus élevée, un diamètre de nanoparticules plus petit, un espacement de disque réduit et un nombre de Reynolds à jet plus important.

Gherasim et al [18], a souligné les limites de l'utilisation d' Al_2O_3 / nanofluide d'eau en configuration d'écoulement radial en raison de l'augmentation significative de la puissance de pompage associée. En outre, **Yang et Lai** ont présenté des résultats numériques sur des jets confinés avec des propriétés constantes [19] et dépendantes de la température [20]. Les résultats ont confirmé l'augmentation du nombre de Nusselt avec l'augmentation du nombre de Reynolds et de la fraction volumique de nanoparticules et l'augmentation de la chute de pression. En outre, les propriétés thermo physiques dépendantes de la température des nanofluides se sont avérées avoir une incidence marquée sur les résultats de la simulation.

Manca et al [21], ont étudié numériquement les effets de confinement sur les jets à fentes qui frappent dans le régime turbulent, comme pour les nombres de Reynolds, allant de 5000 à 20000. Ils ont adopté l'approche monophasée afin de décrire le Comportement Al_2O_3 / eau pour des concentrations de particules jusqu'à 5%. Une amélioration significative en termes de coefficients de transfert de chaleur par convection a été évaluée pour des concentrations élevées en volume de particules ainsi qu'une augmentation de la puissance de pompage requise.

Bachir Glades et al [22], ont présenté une étude numérique de transfert de chaleur par conduction et convection de nano-fluides une base chauffée. Il propose d'étudier l'influence de la concentration en nanoparticules (Al_2O_3 , CuO, Cu, Ag) présentes dans les liquides. Les propriétés des nano-fluides diffèrent en ce qui concerne le transfert de chaleur par la configuration de Rayleigh-Bénard. Lors de l'ajout de nanoparticules dans le fluide porteur, le nombre Reynolds diminue avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules.

Côté expérimental, **Nguyen et al** [23] ils ont fait attention à un jet d'impact confiné et immergé sur une surface chauffée plane, horizontale et circulaire avec du nanofluide Al_2O_3 / eau. Les résultats ont été obtenus pour les régimes d'écoulement laminaire et turbulent, et les

auteurs ont montré que, selon la combinaison de la distance de la buse à la surface chauffée et de la fraction volumique des particules, l'utilisation d'un nanofluide peut déterminer une amélioration du transfert de chaleur.

Gherasim et al [24], ont étudié les capacités d'amélioration du transfert de chaleur de liquides de refroidissement avec des nanoparticules en suspension à l'intérieur d'un dispositif de refroidissement à flux radial laminaire. Le nombre moyen de Nusselt augmente avec la fraction volumique des particules, le nombre de Reynolds et une diminution de l'espacement des disques.

Heris et al [25], ont examiné des nanoparticules d'oxyde de cuivre (Cu) et de trioxyde d'aluminium (Al_2O_3), dispersés à différentes concentrations dans l'eau. L'ensemble constituant un nanofluide est testé en écoulement convectif laminaire dans un tube circulaire horizontal maintenu à température constante, les résultats expérimentaux ont montré que l'augmentation du coefficient de transfert convectif est plus important pour le mélange (eau/ Al_2O_3) que celui du mélange (eau/ Cu) et ceci est plus significatif pour les grandes concentrations volumiques en nanoparticules, et pour un optimum compris entre 2.5 et 3%.

Wen et Ding [26] ont adopté une procédure expérimentale similaire dans un tube circulaire chauffé uniformément, mais avec des nanoparticules de trioxyde d'aluminium(Al_2O_3) de 27-56 nm de diamètre. L'utilisation du nanofluide a augmenté significativement le coefficient de transfert de chaleur en régime laminaire.

Li et al [27], ont étudié les caractéristiques de transfert de chaleur des jets à impact avec des nanofluides Cu-eau comme liquide de refroidissement. Les auteurs ont rapporté que les nanofluides présentent un meilleur taux de transfert de chaleur par rapport aux fluides de base.

Zeitoun et Ali [28], ont étudié le transfert de chaleur d'un disque chaud circulaire en utilisant un jet turbulent de nano-fluides alumine / eau. Le nombre de Nusselt s'est révélé augmenter avec l'augmentation de la concentration de nano-fluides.

Teamah et al [29], ont réalisé des études numériques et expérimentales pour étudier la structure de l'écoulement et le transfert de chaleur de l'impact des nano-fluides Al_2O_3 .eau sur une plaque plate. Les auteurs ont observé une augmentation des taux de transfert de chaleur avec l'augmentation de la concentration de nano-fluides.

Li et al [30], un jet unique étudié numériquement frappe une surface alvéolée en utilisant des nanofluides Al_2O_3 -eau. Ils ont constaté que le nombre de Nusselt moyen augmente avec les variations de la concentration volumique des nanoparticules (ϕ). À partir des publications précédentes, on peut conclure que les combinaisons de plusieurs technologies d'amélioration du transfert de chaleur sont devenues un sujet brûlant. L'impact des jets avec un fluide de travail non conventionnel semble être un potentiel pour renforcer le transfert de chaleur.

Parti II :

Le fluide non newtonien a attiré certaines attentions ces dernières années pour ses avantages évidents de réduction de traînée et d'amélioration du transfert de chaleur. Ainsi, via un fluide non newtonien, le jet incident a été étudié. De nombreux chercheurs, ont choisi de sortir du contexte considérant les nanofluides comme des fluides Newtoniens, pour aborder le comportement non-Newtonien des nanofluides. Ils ont pensé à des améliorations dans les propriétés des nanofluides, plus importantes que celles des fluides Newtoniens.

Dans ce qui suit, on va citer les travaux de recherche liés aux nanofluides non newtoniens par exemple, **Maleki et al** [31,32], ont étudié les caractéristiques de l'écoulement et du transfert de chaleur des nanofluides non newtoniens dans la surface poreuse et ils ont également analysé les caractéristiques de dissipation visqueuse et d'absorption et de génération de chaleur sous transfert de chaleur et écoulement de fluide dans des conditions de nanofluides pseudo-plastiques.

Hanan Lamraoui et al [33] ont étudié numériquement des comportements hydrodynamiques et de transfert de chaleur pour les nanofluides d'eau Al_2O_3 pour l'impact des jets laminaires à fentes confinées. Elle fait une comparaison avec les nanofluides newtoniens et non newtoniens en termes de coefficient de transfert de chaleur, de nombre de Nusselt, de lignes de courant et de contours d'isothermes a été effectuée pour le même nombre de Reynolds, la vitesse d'entrée du jet et le même rapport d'aspect H / W . Il a été observé que le taux de transfert de chaleur augmente avec le nombre de Reynolds et la fraction volumique solide du nanofluide. Notant que le nombre de Nusselt local est beaucoup plus élevé pour les nanofluides non newtoniens que l'écoulement newtonien dans toute la surface cible avec une amélioration particulière située à l'axe du jet où une augmentation relative de 9,8% est évaluée pour $\phi = 5\%$ et $Re = 300$.

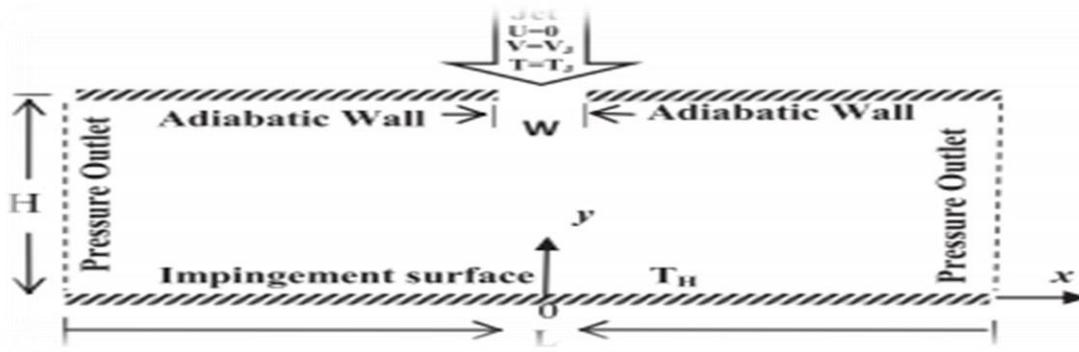


Figure (II.1) : Géométrie et conditions aux limites associées du problème actuel

Yousefi-Lafouraki et al [34], ont présenté une étude numérique la génération d'entropie avec un nanofluide non newtonien pour impact des jets laminaires à fentes confinées. Le fluide de travail est une solution CMC avec TiO_2 nanoparticules, présentant un comportement pseudo plastique. Dans l'ensemble, un fluide non newtonien dont la viscosité est sensible à la vitesse de déformation de cisaillement peut être efficace sur les jets en collision avec un écoulement de cisaillement manifeste. Les résultats ont montrés qu'une grande partie de la génération d'entropie est concentrée dans la surface d'impact. La génération d'entropie totale augmente avec l'augmentation de la fraction volumique et de l'angle de convergence. La valeur minimale de la perte d'exergie a tendance à se produire à des angles de convergence plus élevés en augmentant le nombre de Reynolds et le rapport surface / distance de l'impact du jet. De plus, la perte d'exergie diminue avec les amplitudes des rainures concaves.

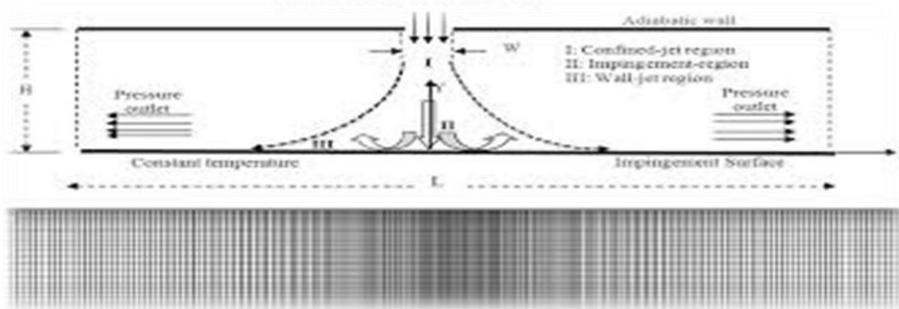


Figure (II.2) : Schéma schématique d'un impact de jet de sol confiné.

Esmailnejad et al [35], ont traité numériquement le transfert thermique d'un non Newtonien nanofluide modélisé par la loi de puissance, en écoulement dans un rectangle avec des dimensions micrométriques. Les nanoparticules utilisées sont : (Al_2O_3) et (CuO).

Les auteurs de cette recherche, ont remarqué une amélioration importante dans le cas du nanofluide à fluide de base non newtonien par rapport au nano fluide à un fluide de base

Newtonien. Comme résultats, les auteurs ont découvert que l'ajout de nanoparticules de (CuO) améliore bien l'échange thermique par rapport à l'ajout de (Al_2O_3), dans les deux cas de fluide de base : Newtonien ou non-Newtonien.

Moraveji et al [36], ont étudié l'effet de transfert de chaleur convectif sur l'écoulement d'un nanofluide non-newtonien dans un tube horizontal avec un flux de chaleur constant en utilisant la CFD (dynamique des fluides computationnelle). Le nanofluide non-newtonien utilisé contient des particules Al_2O_3 et une solution aqueuse de xanthane en tant que phase liquide unique. L'effet de la taille des particules et de la concentration de la solution de xanthane sur le coefficient de transfert de chaleur convectif a été étudié pour différents nombres de Reynolds $500 \leq Re \leq 2500$, et différentes positions axiales du tube. Les résultats ont montré que le coefficient de transfert de la chaleur et le nombre de Nu d'un nanofluide non-newtonien augmentent avec l'augmentation de la concentration de la solution de xanthane.

Hojjat, et al [37], ont déterminé expérimentalement, la conductivité thermique du fluide de base Carboxyle Méthylique Cellulose (CMC) à 0.5% et des nanofluides avec diverses concentrations des nanoparticules (Al_2O_3 , TiO_2 et CuO) à différentes températures. Les résultats montrent que la conductivité thermique du nanofluide TiO_2 /CMC est plus élevée que celle du fluide de base, et qu'elle évolue exponentiellement avec la concentration ($3\% < M < 4\%$) et la température. En outre, ils ont proposé des modèles analytiques, en utilisant la technique de réseaux de neurones, pour représenter la conductivité thermique du nanofluide comme une fonction de la température, la concentration en nanoparticules et la conductivité thermique des nanoparticules. D'autre part, ils ont conclu que, le modèle de Hamilton-Crosser est limité uniquement aux basses concentrations de nanoparticules.

Nous allons présenter ainsi que travaux qui se sont intéressés à l'étude jets laminaire non newtonien.

Rama Subba Reddy Gorla et al [38], ont présenté une analyse pour l'écoulement d'un jet de fluide laminaire, bidimensionnel, incompressible, non newtonien s'écoulant sur une surface courbe. Une solution de similitude unique est obtenue pour les surfaces concaves et convexes. La solution de similitude nécessite une forme spéciale de la surface courbe qui est également déterminée. Des résultats numériques sont présentés pour les détails du champ de vitesse et du coefficient de frottement cutané en fonction du paramètre de courbure.

Poh et al [39], ont étudié un jet laminaire semi-confiné à symétrie unique avec des solutions de CMC (carboxyméthylcellulose). Leurs résultats ont montré que pour un nombre de Reynolds généralisé fixe, lorsque l'indice de la loi de puissance diminue, l'augmentation de la vitesse d'entrée conduit à l'augmentation du nombre de Nusselt. Pour une vitesse d'entrée fixe, les nombres de Nusselt restent inchangés quels que soient les changements du nombre de Reynolds et de la concentration de CMC.

Yan Qiang et al [40], ont étudié le transfert de chaleur de fluide non newtonien fictif et industriel de loi de puissance dans un jet incident laminaire confiné. Les résultats indiquent qu'avec l'augmentation de n , K pour un Re donné, le nombre de Nusselt de paroi augmente principalement en raison de l'augmentation de la vitesse d'entrée U . Pour une vitesse d'entrée donnée, le nombre de Nusselt de paroi diminue avec l'augmentation de n et K , ce qui est principalement attribuable à l'augmentation de la viscosité apparente et à la réduction de la diffusion d'impulsion. Pour les mêmes Re , U et Pr , le nombre de mur Nusselt diminue avec l'augmentation de n . Parmi les études sur les fluides fluidifiants par cisaillement de loi de puissance industrielle, la solution CMC à 100 ppm montre les meilleures performances de transfert de chaleur à une vitesse donnée. De plus, une nouvelle corrélation du nombre de Nusselt sur le fluide industriel est proposée. En général, pour le transfert de chaleur du jet d'impact confiné laminaire, il est préférable d'utiliser le fluide de travail à faible viscosité.

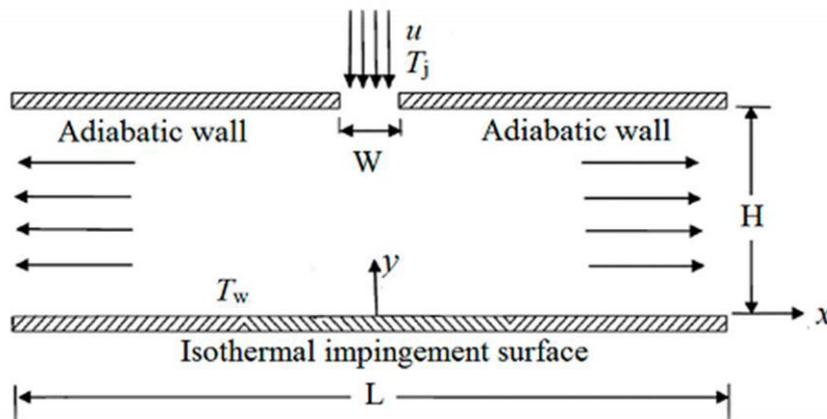


Figure (II .3) : modèle physique d'un jet impactant confiné bidimensionnel

AS Cavadas et al [41], Ont étudié numériquement un jet laminaire non newtonien confiné par des parois planes inclinées. Experiences sur l'écoulement à jet à impact planaire 3D confine laminaire de la solution de polymère. Les simulations numériques ont étudié les rôles de l'amincissement par cisaillement de l'inertie sur les principales caractéristiques

d'écoulement des fluides purement visqueux à des nombres de Reynolds comprise entre 10 à 800. La longueur de la recirculation (L_R) constant dans la partie centrale du canal se désintègre en zéro avant d'atteindre les parois latérales plates. Aux nombres élevés de Reynolds, une légère augmentation de L_R au bord du cœur de l'écoulement est apparent. Comme prévu, l'inertie augmente la longueur de la recirculation comme pour les fluides newtoniens, mais de manière quelque peu surprenante, et elle augmente également la nature tridimensionnelle de l'écoulement en réduisant l'étendue du noyau central. L'amincissement par cisaillement renforce le rôle de l'inertie, en particulier aux nombres élevés de Reynolds, tandis qu'aux faibles nombres de Reynolds, le comportement inverse est observé.

R.Gharraej et al [42], on a étudié numériquement les caractéristiques d'écoulement de fluide et de transfert de chaleur non-newtonien à loi de puissance laminaire de plusieurs jets carrés à impact. L'effet du nombre de Reynolds d'entrée, de l'espacement jet-plaque et de l'indice de loi puissance des fluides sur la structure d'écoulement et le nombre de Nusselt de paroi a été étudié. Des résultats numériques ont été présentés pour les nombres de Reynolds 100, 200, les indices de loi de puissance 0, 4-1, 6 et les espacements de jet-plaque sans dimension 0, 25-1, 0. Les résultats ont montré que pour un nombre de Reynolds et un coefficient de cohérence donnés, l'augmentation de l'indice de loi de puissance conduit à un plus élevée vitesse et nombre de Nusselt plus élevé. Pour des espacements jet-plaque plus élevés, les tourbillons d'entraînement périphériques sont créés autour du corps de jet et en diminuant l'espacement, ces tourbillons disparaissent. En outre, les résultats numériques ont montré que la diminution de l'espacement jet-à-plaque augmente le nombre de Nusselt du mur.

Srisamran et al [43], a simulé numériquement le comportement d'écoulement et de mélange de deux jets laminaires confinés stables en 2D à l'aide de solutions CMC fluidifiantes par cisaillement. Ils ont constaté que l'interaction des jets dans la zone d'impact augmentait et que la taille des bulles de recirculation augmentait avec l'augmentation de Re .

Conclusion:

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques travaux effectués sur les nanofluides dans les jets impactant et les études plus importantes sur les nanofluides non-Newtoniens.

Nous allons présenter dans le prochain chapitre la technique numérique et la résolution choisie pour la détermination du comportement dynamique et thermique.

Chapitre III
Technique numérique
et résolution

Introduction

Dans cette partie consiste à présenter une étude bidimensionnelle à l'aide du logiciel de calcul «Fluent»; nous introduisons la géométrie étudiée suivi par les équations de la modélisation du phénomène physique avec leurs conditions aux limites utilisées ainsi que la méthode de la résolution numérique basé par l'emploi logiciel «ANSYS16.0».

III. 1.Équations gouvernantes

Une analyse informatique d'un jet laminaire bidimensionnel, illustré à la figure(III.1), est considéré afin d'évaluer ses comportements thermiques et dynamiques des fluides et d'étudier les champs de température et de vitesse dans les cas où le nanofluide Al_2O_3 est un fluide de travail. La largeur du jet est W tandis que la distance entre le jet de la fente et la plaque chauffée est H . Une température uniforme constante est appliquée sur la surface cible. L'utilisation d'un jet à fente bidimensionnel est juste lorsque la longueur latérale, dans la direction orthogonale par rapport au jet, est importante. Les équations gouvernantes de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie sont résolues pour un écoulement d'un jet de fluide laminaire à l'état stationnaire en coordonnées rectangulaires, sous les hypothèses de conditions d'écoulement bidimensionnelles, incompressibles, non newtonien et constantes de température:

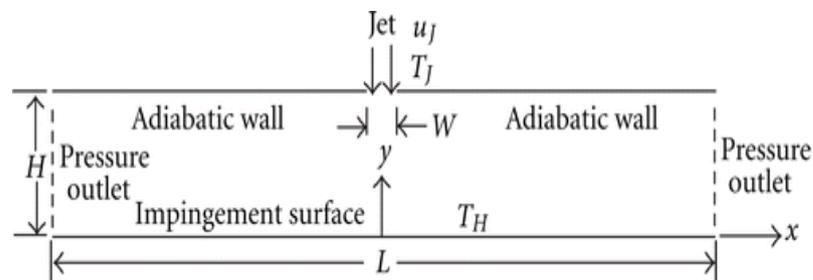


Figure (III.1): Esquisse du modèle géométrique avec conditions aux limites.

Eq.1 de continuité:

$$\left(\frac{\partial(u)}{\partial x} + \frac{\partial(v)}{\partial y}\right) = 0 \quad (1)$$

Eq.2 de quantité de mouvement:

- Équations de quantités de mouvement suivant x

$$\rho_{nf} \left(u \frac{\partial(u)}{\partial x} + v \frac{\partial(u)}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} \right) \quad (2)$$

- Équations de quantités de mouvement suivant y

$$\rho_{nf} \left(u \frac{\partial(v)}{\partial x} + v \frac{\partial(v)}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{yy})}{\partial y} \right) \quad (3)$$

Eq.3 d'énergie

$$\rho_{nf} C_{p, nf} (\mathbf{U} \cdot \nabla T) = \lambda_{nf} \nabla^2 T$$

$$\left(\frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} \right) = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2(T)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(T)}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

α_{nf} : coefficient de diffusion

Les conditions aux limites attribuées sont les suivantes:

– Section de jet d'entrée ($y=H$ et $-W/2 \leq x \leq +W/2$) :

$$\text{profil uniforme de vitesse et de température } T=T_j \text{ et } v=v_j \quad (5)$$

$$\text{– Paroi inférieure } (y=0) : \text{ constant température } T=T_H \quad (6)$$

$$\text{– Section de sortie } (x=\pm L/2 \text{ et } 0 < y < H) \text{ sortie de pression } P_{patm} \quad (7)$$

$$\text{– Section de sortie } (x=\pm L/2 \text{ et } 0 < y < H) \text{ sortie de pression } P_{patm} \quad (8)$$

Le fluide de travail est de nanoparticules d' Al_2O_3 caractérisées par un diamètre de 30 nm et des fractions volumiques 1% à 4%. Changement des paramètres physiques, dû à l'ajout des nanoparticules dans le fluide de base, tel que la masse volumique la viscosité et les paramètres thermiques sont prédits avec une pondération statistique ou à l'aide des méthodes expérimentales. En utilisant une pondération déterminée par le pourcentage de nanoparticules dans le fluide de base, on peut obtenir les paramètres physiques des nanofluides:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_f + \phi \rho_s \quad (9)$$

$$(C_p)_{nf} = (1 - \phi) (C_p)_f + \phi (C_p)_s \quad (10)$$

$$\lambda_{nf} = \lambda_f (4.97 \phi^2 + 2.72 \phi + 1) \quad (11)$$

Pour un nanofluide bisous non-Newtonien, le tenseur de contrainte de cisaillement accordement au modèle d'Ostwald-de Waele est le suivant :

$$\tau_{ij} = 2\mu_{ap} D_{ij} = \mu_{ap} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (12)$$

Où indique le taux de tenseur de déformation pour la coordonnée cartésienne

bidimensionnelle et nous la viscosité apparente dynamique de fluide donnée par :

$$\mu_{ap} = m \left\{ \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right\}^{\frac{n-1}{2}} \quad (13)$$

$$X = \frac{x}{W}, Y = \frac{y}{W}, U = \frac{u}{v_f}, V = \frac{v}{v_f}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (14)$$

$$\left(U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{m v_f^{n-2}}{p_{nf} W^n} \left[2 \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\mu_{ap}}{m} \frac{\partial U}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\mu_{ap}}{m} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right) \right] \quad (15)$$

$$\left(U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{m v_f^{n-2}}{p_{nf} W^n} \left[2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\mu_{ap}}{m} \frac{\partial V}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\mu_{ap}}{m} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right) \right] \quad (16)$$

$$\left(U \frac{\partial T}{\partial X} + V \frac{\partial T}{\partial Y} \right) = \frac{\lambda_{nf}(pCp)_f}{\lambda_f(pCp)_{nf}} \frac{1}{RePr} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \right) \quad (17)$$

Où n et m sont respectivement l'indice de comportement et le facteur de cohérence. Les deux constantes empiriques pour le nanofluide ont été trouvées à partir d'une étude expérimentale préformée par Sentra et al [44].

Les valeurs de m et n pour différents ϕ ont été données dans le tableau (IV.1) en notant que le nanofluide d'eau d'alumine avec une fraction volumique solide ϕ allant 1% à 4% de se comporte comme un fluide fluidifiant par cisaillement ou les valeurs de n inférieure de 1.

Fraction volumique solide $\phi\%$	m (N sec ⁿ m ⁻²)	N
1	0.00230	0.830
2	0.00347	0.730
3	0.00535	0.625
4	0.00750	0.540

Tableau IV.1 : Valeurs des paramètres rhéologiques.

$\varphi\%$	P [kg/m ³]	Cp [J/kg k]	μ [Pa s]	λ [W/m K]
1	1027	4148	11100×10^{-6}	0.617
2	1056	4114	11870×10^{-6}	0.63
3	1085	4078	1320×10^{-6}	0.648
4	1113	4046	1370×10^{-6}	0.654

Tableau IV.2 : Propriétés Thermophysique de nanofluides.

III.2. Configuration géométrique

Une analyse thermofluidynamique computationnelle d'un modèle bidimensionnel, rapportée à (la figure III.1), qui concerne un jet impactant confiné sur une paroi chauffée avec des nanofluides, est envisagée pour évaluer les performances thermiques et fluides-dynamiques. Le modèle bidimensionnel a une largeur d'orifice de jet, W , égale à 6,2 mm et une longueur x/W égale à 50 tandis que la hauteur H/W est comprise entre 4 et 6. Une valeur de température constante de 313 K est appliquée sur l'impact. Surface inférieure. Deux valeurs du rapport H/W , égales à 4 et 6, sont considérées. Le fluide de travail est un nanofluide Al_2O_3 à différentes fractions de volume.

Les paramètres sans dimension du nombre de Reynolds, du nombre de Nusselt, du coefficient de transfert de chaleur.

De plus, le nombre de Reynolds et le nombre est définis comme:

$$Re = \frac{\rho_f v_j w}{\mu_f} \quad (18)$$

Les performances de transfert de chaleur sont caractérisées par des nombres de Nusselt, exprimés en

$$Nu_x = \frac{hw}{\lambda_f} \quad (19)$$

$$Nu_x = \frac{qw}{(T_H - T_j)\lambda_f} \quad (20)$$

Ici, h est le coefficient de transfert de chaleur qui est défini comme:

$$h = \frac{q}{(T_H - T_j)} \quad (21)$$

Où W est la largeur du jet, q est le flux thermique de la surface cible, et T_H et T_j représentent respectivement la température de la surface cible et la température du jet.

III.3: Présentation du code de calcul:

III.3.1 La méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis est l'approche par excellence utilisée en mécanique des fluides numérique. Elle repose sur un principe aussi valable en vie courante, en politique qu'en démarche scientifique. C'est le principe 'diviser pour régner', qui est très efficace en tant qu'approche scientifique.

III.3.2. Logiciel ANSYS:

L'ANSYS est un logiciel à usage générale, utilisé pour construire des géométries, des maillages et aussi pour faire les simulations numérique basée sur les deux premières étapes et pour cela utilise dans notre cas le code FLUENT.

III.3.3. Les étapes du logiciel:

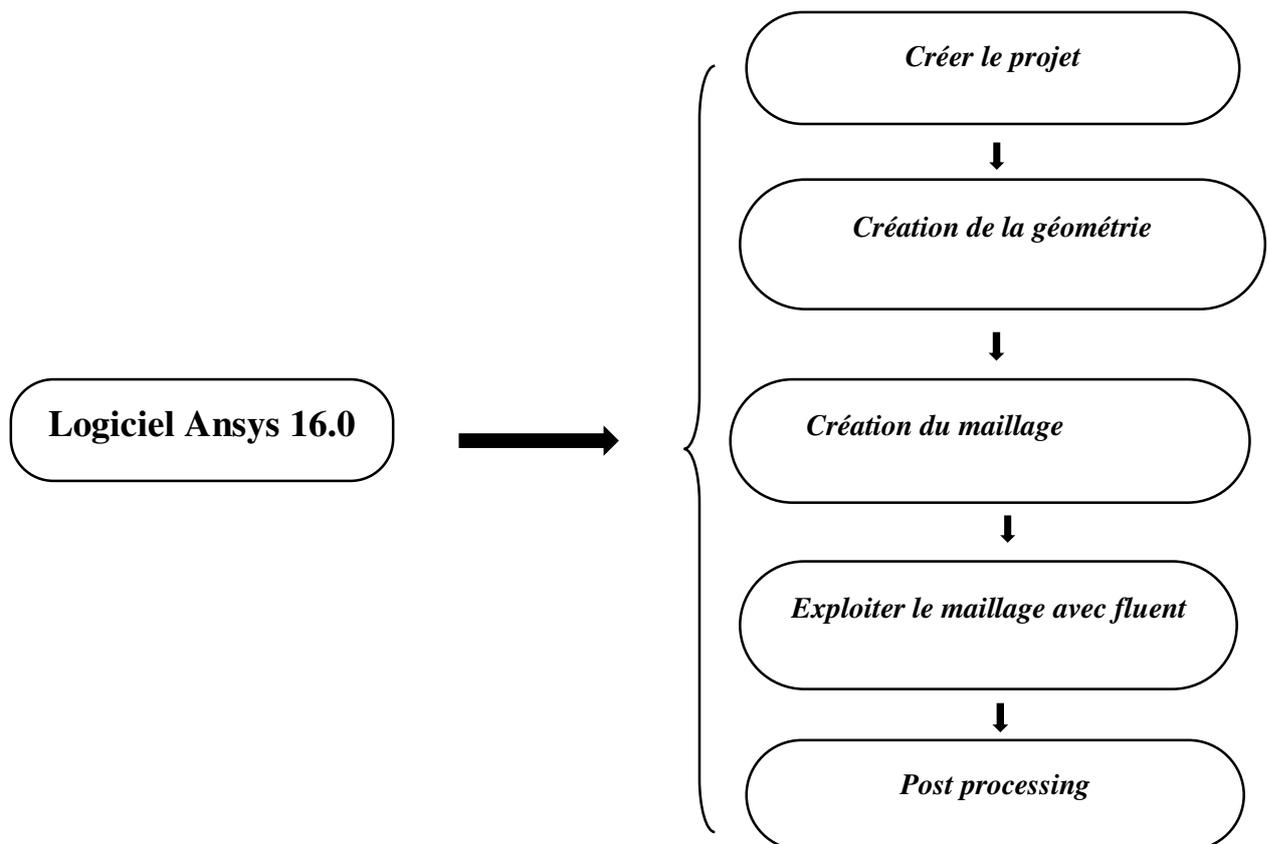
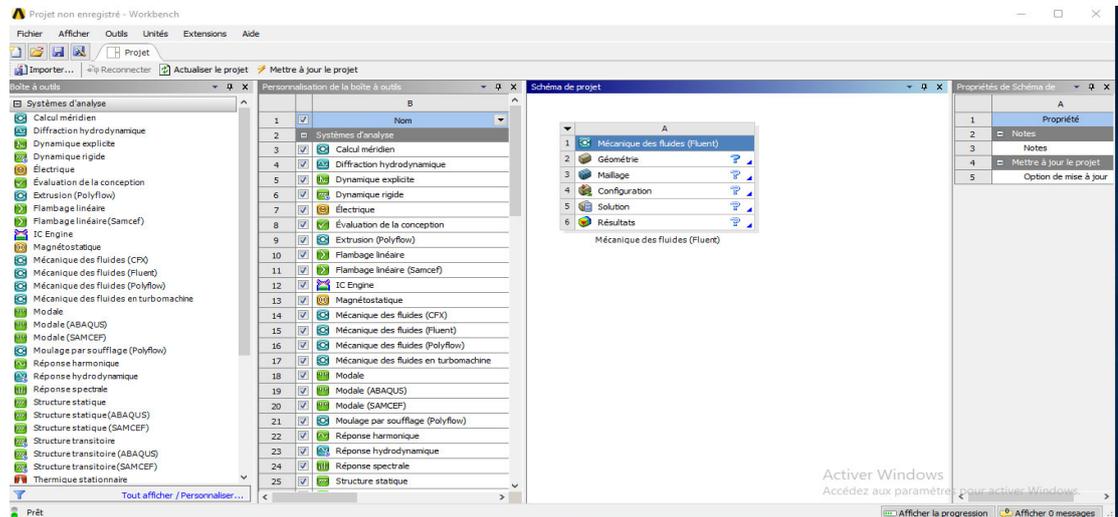


Figure (III.3): Les étapes du logiciel.

III.3.3.1. Création du projet:

Pour cela commencer par démarrer ANSYS. Un nouveau projet s'ouvre automatiquement. Choisissez dans la Boîte à outils => systèmes d'analyse => mécanique des fluides (Fluent) (en haut à gauche), cliquez-glissez jusque dans l'espace de travail.



Figure(III.3): interface de la création d'un projet

Nous allons lui préciser le type de géométrie que l'on veut créer. Cliquez sur *Géométrie* dans la boîte que vous venez de créer. La colonne de droite se remplit. Dans *Option de géométrie avancées* => *Type d'analyse* choisir 2D.

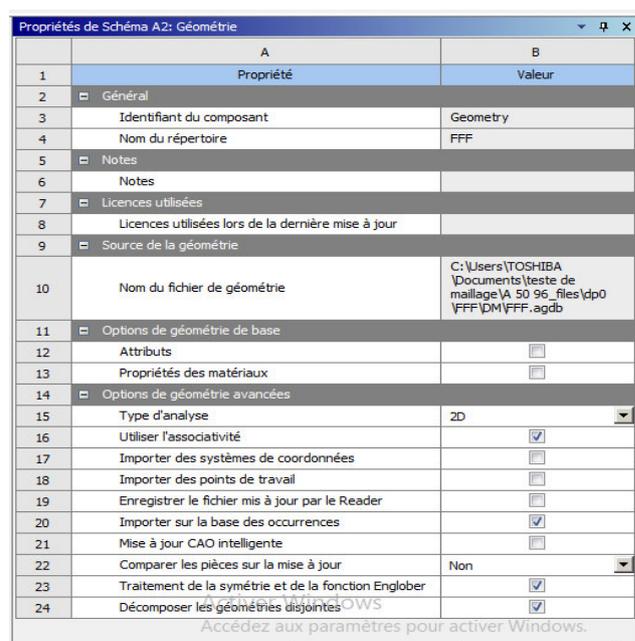


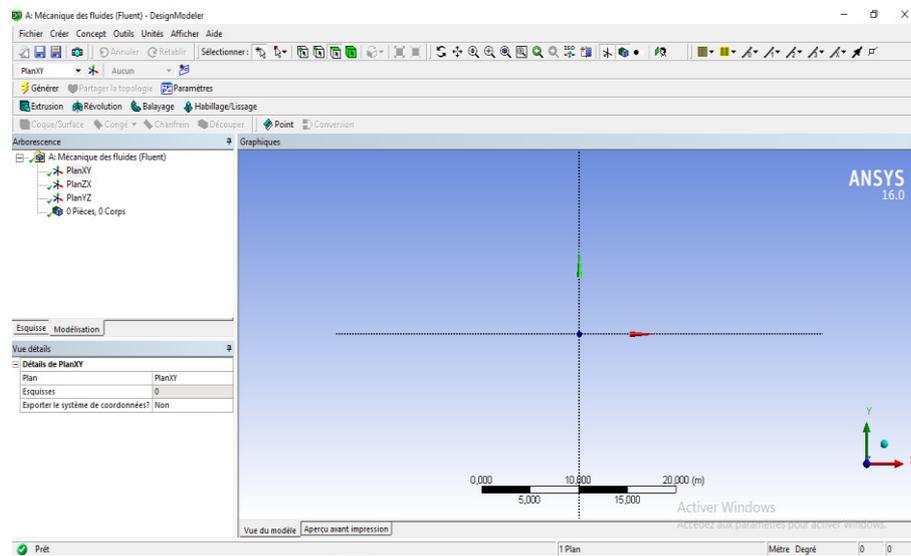
Figure (III.4): sous-interface de la création d'un projet.

Avant de dessiner la géométrie, nous allons enregistrer le projet : Files => Save As, vous l'appelez comme vous voulez.

III.3.3.2. Création de la géométrie:

Tout d'abord, le logiciel vous demande de choisir l'unité caractéristique du système, dans cas il s'agit du centimètre. Pour créer une géométrie, il faut:

- Commencer par la tracer grossièrement (juste les formes),
- Préciser les côtes,
- Dessiner les bords de la géométrie pour le maillage,
- Préciser les zones et leur nature (fluide ou solide),



Figure(III.5):Interface du logiciel ANSYS 16.0.

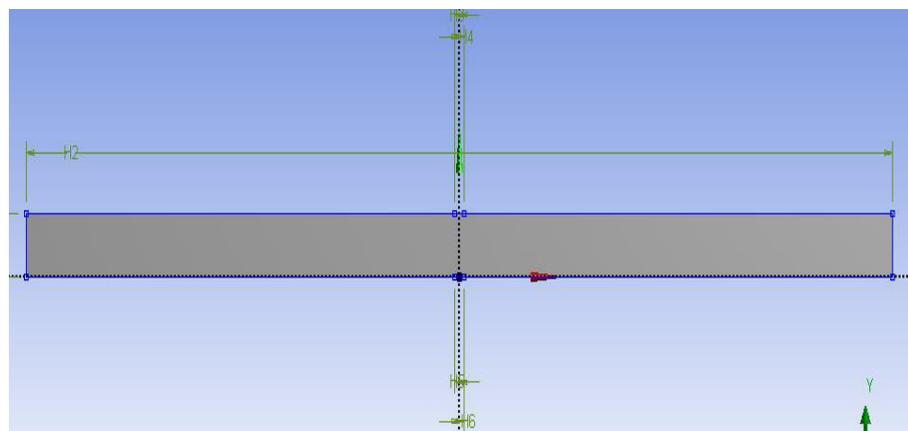


Figure (III.6): Géométrie du Domain de calcul.

III.3.3.3. Création du maillage:

Nous allons créer le maillage, pour cela, en double cliquant sur Maillage. Une fois lancé, la première chose qu'il vous demande est la méthode de maillage. Ici, vu que nous allons donner nous-même des spécifications, la méthode automatique ira très bien.

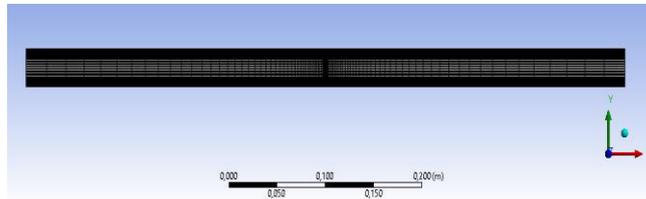


Figure (III.7): Interface de la création du maillage.

III.3.3.4. Lancement du calcul par FLUENT:

- **Ouverture le maillage dans FLUENT:**

Ici, nous n'allons pas vous apprendre à utiliser Fluent, mais juste à raffiner le maillage. Le problème de cette méthode est qu'il faut avoir fait converger la simulation avant de raffiner le maillage.

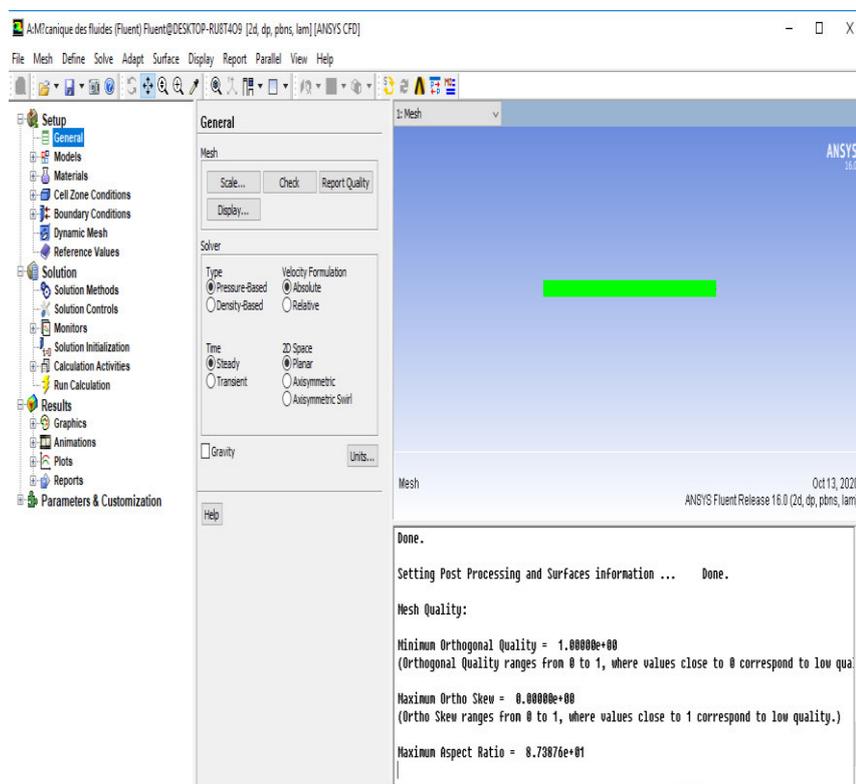


Figure (III.8): L'interface du lancement du calcul.

- **Convergence du Calcul :**

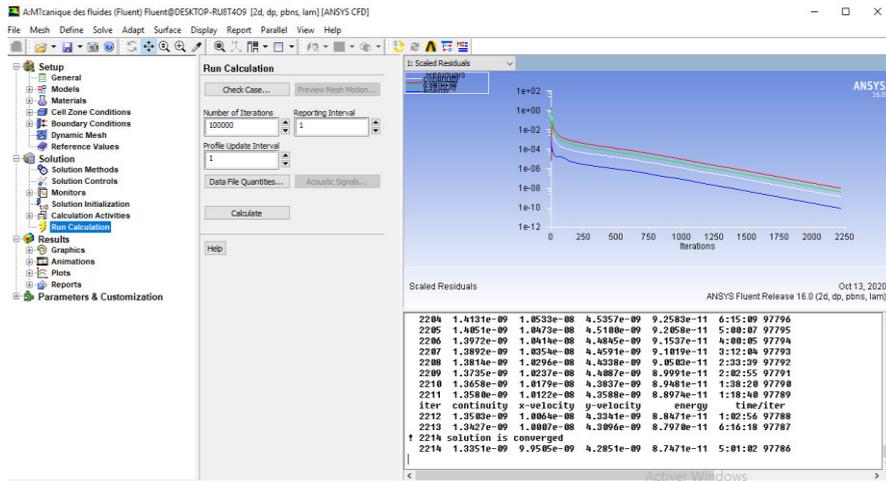


Figure (III.9) : Allure de l'évolution des résidus de calcul.

III.4.Procédure numérique

Les équations gouvernantes sont résolues au moyen de la méthode des volumes finis, en adoptant le code Fluent Ansys 16.0. Un schéma up Wind de second ordre est choisi pour les équations d'énergie et de quantité de mouvement. Puisque la buse est rectangulaire, et perpendiculaire à la surface d'impact, le jet sera parfaitement bidimensionnel et symétrique, on utilise la méthode de l'algorithme SIMPLE. Les critères de convergence de 10^{-8} sont supposés pour les résidus des composantes vitesses et énergie, respectivement. On suppose que le flux entrant soit laminaire à température ambiante égale à 293 K et pression. Différentes vitesses uniformes d'entrée, u_j , correspondant à des valeurs de nombre de Reynolds allant de 50 à 200, ont été considérées. Le long des parois pleines, aucune condition de glissement n'est employée, tandis que des conditions de vitesse d'entrée et de sortie de pression sont données pour les surfaces d'entrée et de sortie.

Quatre distributions de grille différentes sont testées, pour s'assurer que les résultats numériques étaient indépendants de la grille pour le cas caractérisé par $H/W=5$ avec le nanofluide Al_2O_3 comme fluide de travail $Re=200$ et $\phi=1\%$. Ils ont respectivement (50×96) , (40×76) , (30×56) , (60×116) nœuds. Le troisième cas de grille a été adopté car il garantissait un bon compromis entre le temps de calcul de la machine et les exigences, la figure(III.2).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la procédure numérique choisie pour la détermination des comportements dynamique et thermique .Pour cela nous avons utilisé la méthode des volumes finis adaptés au code calcul «ANSYS16.0»ainsi que la présentation des domaines du cas étudié et les conditions aux limites. Ce code calcul sera validés, et les résultats obtenus seront présentés et discutés dans le prochain chapitre.

Chapitre IV
Résultats et discussion

IV.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude numérique obtenus pour la configuration étudiées, en deux dimensions de jet nanofluide impactant une paroi chauffée. Notre principale tâche consiste à étudier l'influence des paramètres de contrôle sur les mécanismes de transfert de chaleur .Ces résultats sont présentés sous forme de graphes pour montrer l'influence effet du nombre de Reynolds Re , du rapport H/W et volume solide fraction ϕ .

IV.2.Validation du code de calcul:

Afin l' exactitude de nos résultats, la validation de notre code de calcul est les nécessaire, car elle permet de lui donner plus de crédibilité. Le code numérique à été validé avec les résultats numérique de Hanan Lamraoui et al [33]. En particulier, des comparaisons en termes de valeurs de coefficient du transfert chaleur sont présentées à la figure (IV.1) pour les cas avec $H/W=4$ et $Re=100$ et 200 et $\phi=1\%$ et 4% .On observe que les résultats actuels s'accordent très bien avec ceux donnés dans [33] en termes de nombre de coefficient de transfert chaleur les nombres.

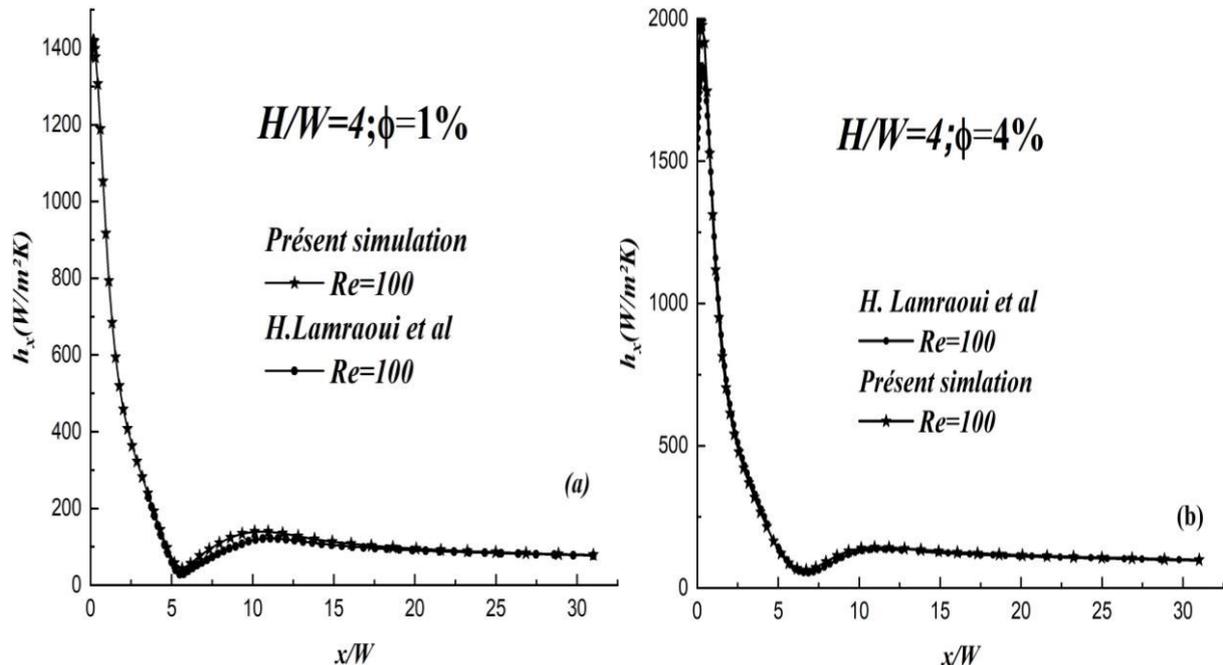


Figure (IV.1) : validation des résultats numériques en terme de distribution des coefficients de transfert de chaleur le long de la surface d'impact $H/W=4$; $Re =100$ pour $\phi=1\%$ et 4% .

IV.3.Effet du nombre de Reynolds Re , rapport d'impact H/W et de la fraction volumique ϕ sur le coefficient de transfert de chaleur h :

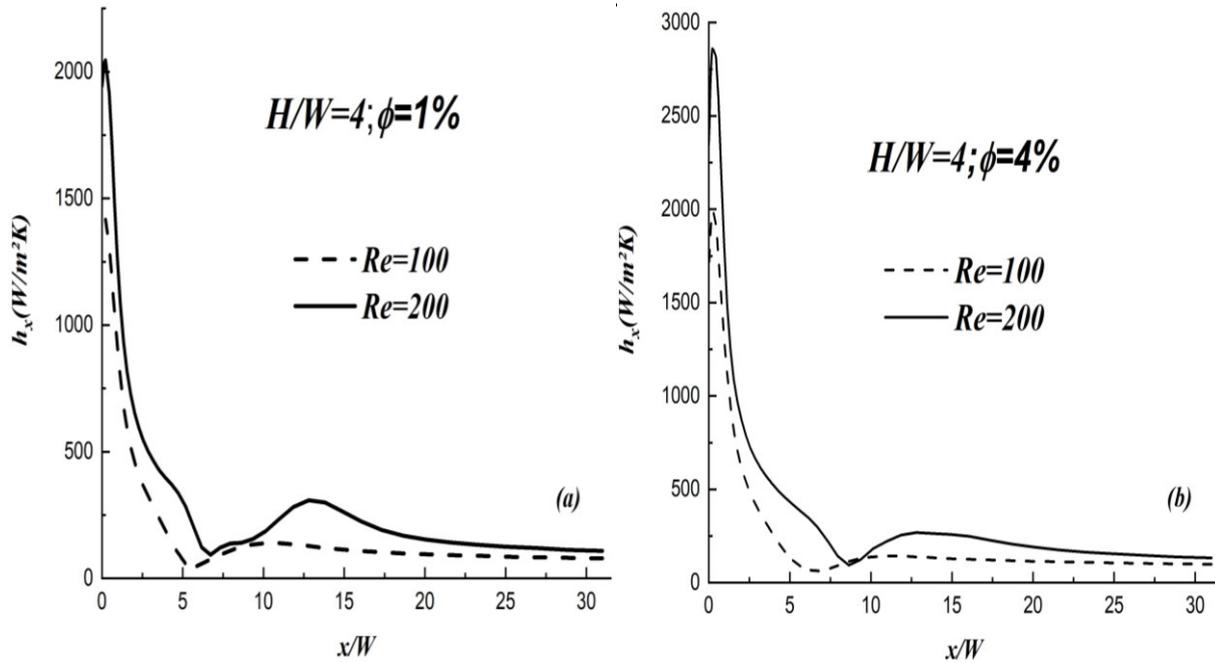
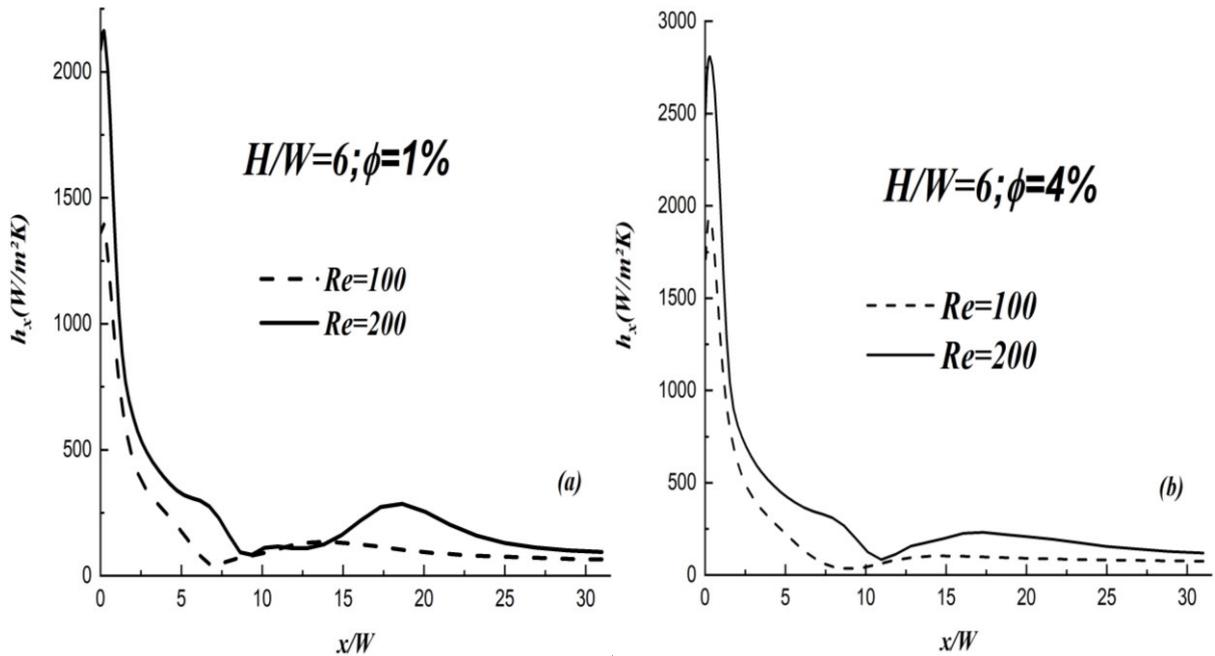


Figure (IV.2) : Profils de coefficient de transfert de chaleur par convection le long de x/W , $H/W=4$, $Re=100$ et 200, (a) $\phi = 1\%$; (b) $\phi = 4\%$.

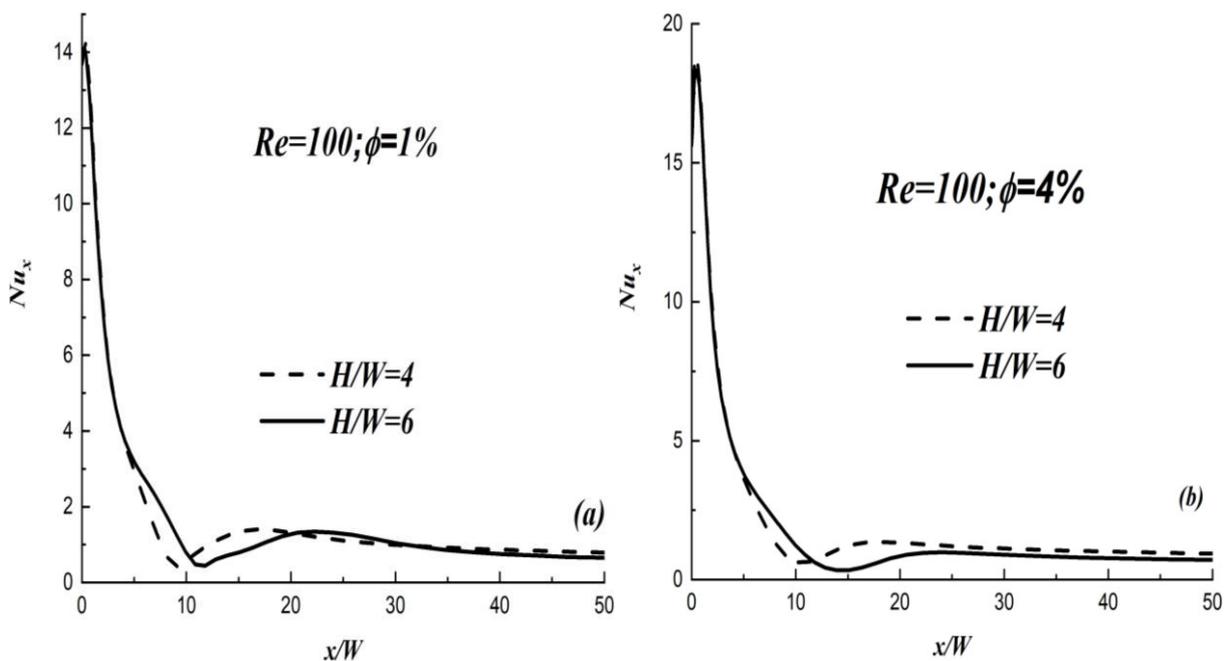


Figure(IV.3) : profils de coefficient de transfert de chaleur par convection le long de x/W , $H/W=6$, $Re=100$ et 200 (a) $\phi=1\%$;(b) $\phi=4\%$.

Figures (IV.2) et figure(IV.3) décrivent les distributions des coefficients de transfert de chaleur par convection le long de la surface cible à $Re = 100$ et 200, pour $\phi=1\%$ et 4%, pour $H/W=4$ et 6, respectivement. Il est démontré que les valeurs les plus élevées, détectées en correspondance avec le point de stagnation, augmentent à mesure que les valeurs du nombre

de Reynolds et les concentrations en volume augmentent. Les profils des coefficients de transfert de chaleur ont une valeur minimale, en fonction de Re , à $x/W=4$ et 6 pour $Re = 100$, et 200 , respectivement, et de très petites différences sont détectées en termes de position pour augmenter les fractions de volume de particules. Un autre maximum relatif est signalé à environ $x/W=12, 5$, et sa valeur augmente à mesure que Re et ϕ croissent. En fait, il est égal à 150 et $300 \text{ W / m}^2 \text{ K}$ pour $\phi=1\%$ et 200 et $350 \text{ W / m}^2 \text{ K}$ pour $\phi=4\%$ à $Re = 100$ et 200 . L'augmentation du rapport H / W entraîne une légère diminution des coefficients de transfert de chaleur, comme indiqué dans la figure(IV.3). De plus, les valeurs minimales sont évaluées à des valeurs x/W plus grandes et également les seconds maxima relatifs sont détectés vers la section de sortie.

IV.4.Effet du nombre de Reynolds Re , rapport d'impact H/W et de la fraction volumique ϕ sur le nombre locale Nu_x :



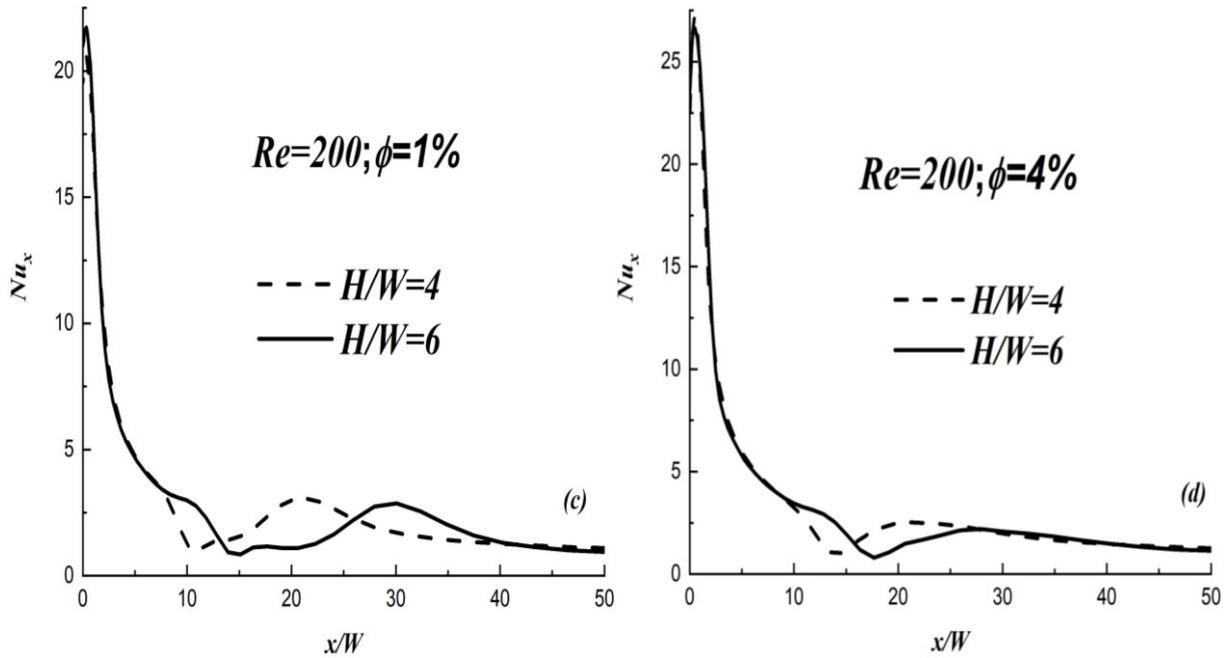
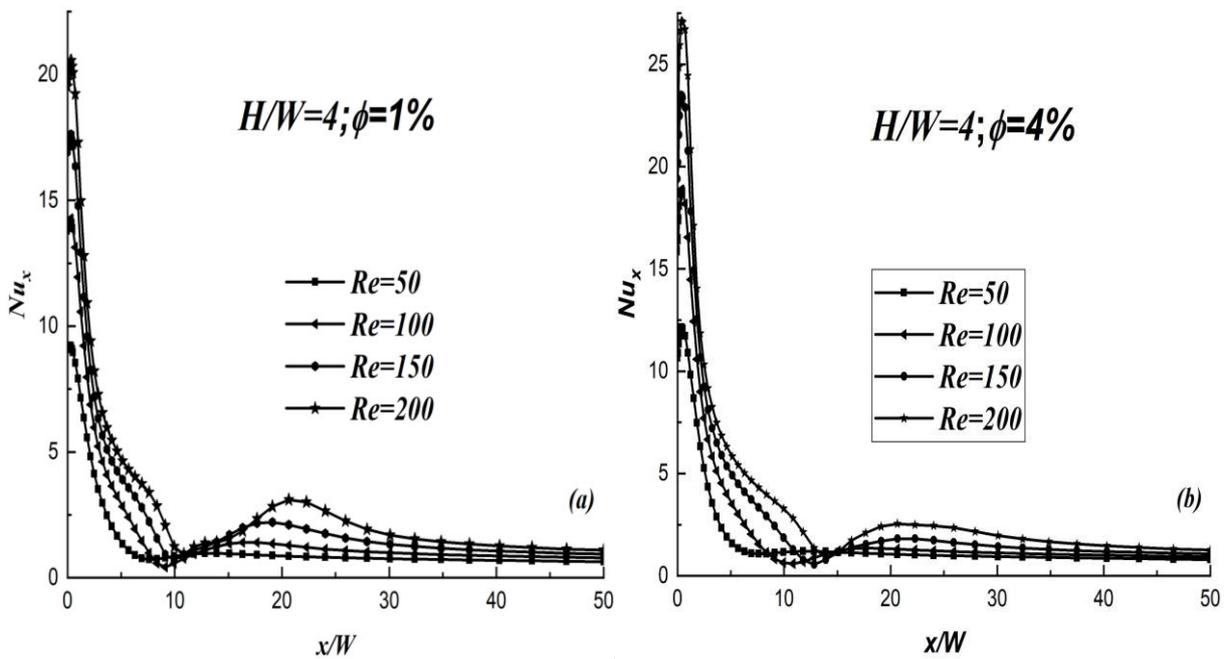


Figure (IV.4) : Profils de nombres Nusselt locaux le long de x/W Pour $H/W=4$ et $H/W=6$, $Re = 100$ et 200 .

Figure (IV.4) représente les profils de nombre de Nusselt locaux de cible surface pour $Re = 100$ et 200 pour $\phi=1\%$ et 4% respectivement, le jet froid se déplace plus longtemps distance jusqu'à ce qu'il rencontre la paroi chaude inférieure, en conséquence la température de fluide de l'impact la paroi inférieure diminue par conséquent Nu_x de se plisse avec l'augmentation du H/W . De plus, il peut être observé qu'à un rapport H/W donné, le nombre de Nusselt diminue en douceur le long de surface cible avec une amélioration notable.



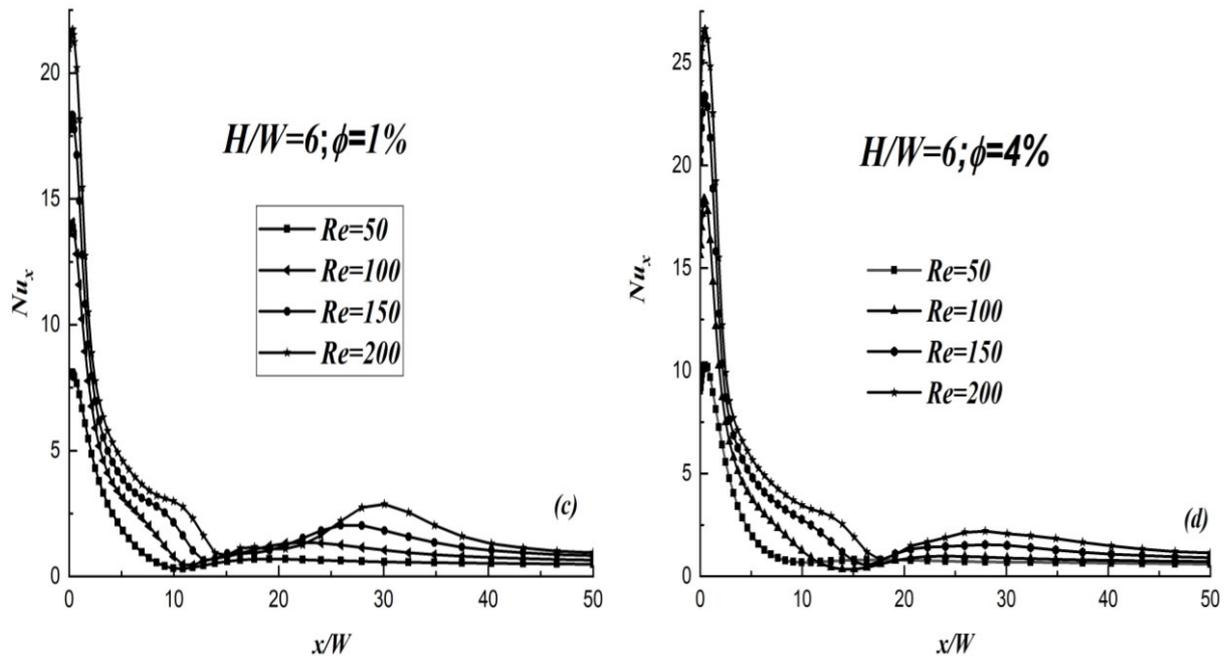


Figure (IV.5): Profils de nombre de Nusselt locaux selon x/W , $H/W = 4$ et 6 , $Re = 50, 100, 150$ et 200 : $\phi = 1\%$; $\phi = 4\%$.

La variation du nombre de Nusselt local le long de la plaque cible pour différentes valeurs de Re , $H/W = 4$ et 6 , $\phi = 1\%$ et 4% est illustré à la figure(IV.5). On observe que les valeurs les plus élevées de Nu_x sont observés au point de stagnation pour tous les cas considérés. À $\phi = 1\%$, sa valeur est de 9, 14, 17 et 20 pour $H/W = 4$ et 12, 18,5, 23 et 27,5 à $H/W = 6$, respectivement, pour $Re = 50, 100, 150$ et 200 , comme illustré sur la figure(IV.5). L'influence de la concentration de nanoparticules sur le transfert de chaleur est claire, renforcée par l'amélioration de la conductivité thermique. Par exemple, les valeurs les plus élevées sont égales à environ 12 et 27,5 pour $Re = 50$ et 200 dans le cas de $H/W = 4$ et 10,4 et 26,5 dans le cas de $H/W = 6$.

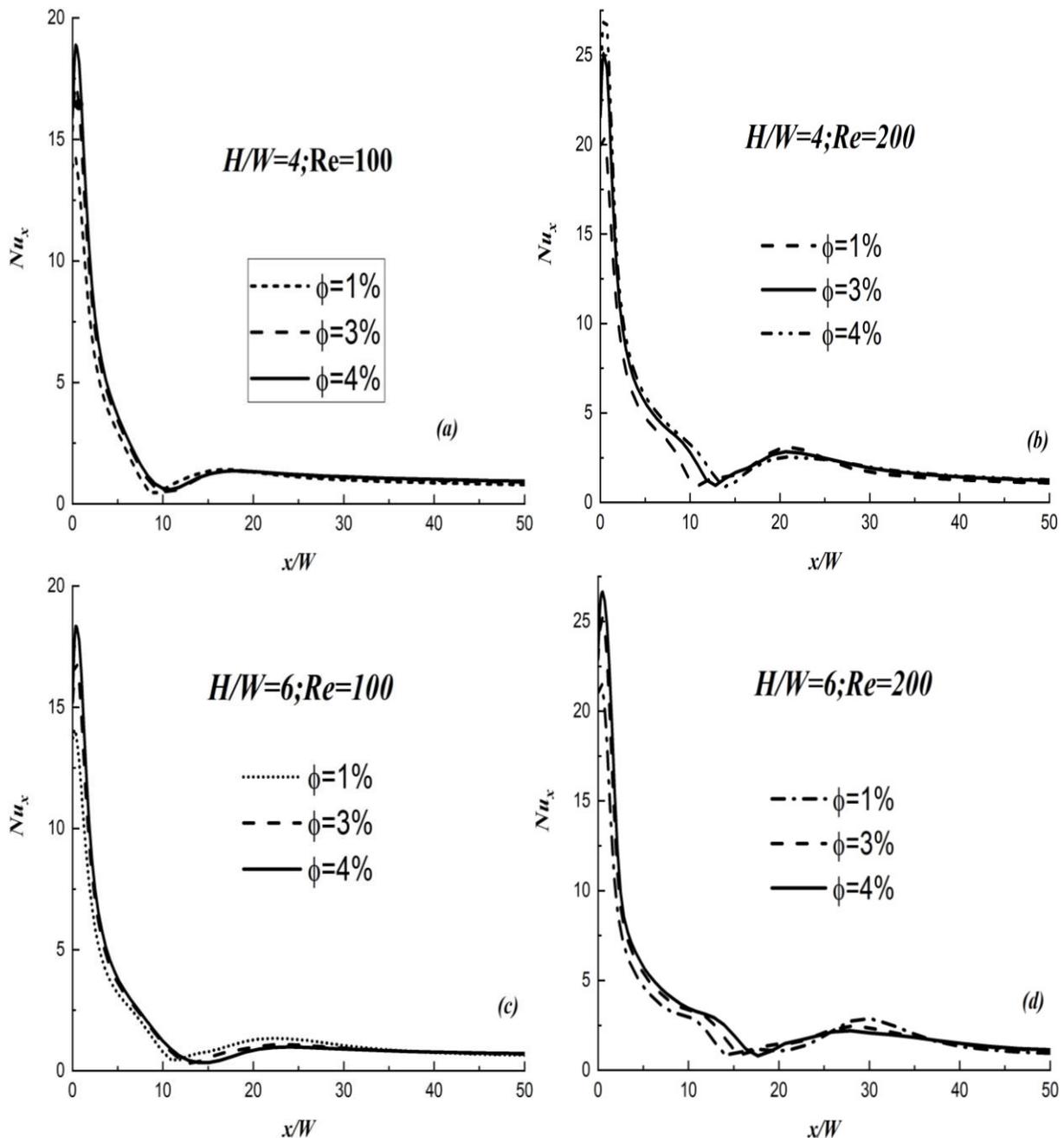


Figure (IV.6) : Profils de nombres de Nusselt locaux selon x / W : $H / W = 4$, $Re=100$; $Re=200$ et $H/W=6$, $\phi =1\%$; $\phi = 3\%$; $\phi = 4\%$

La figure (IV.6), représente les profils de nombre Nusselt locaux le long de cible surface pour nanofluide non-Newtonien pour $Re=100$ et 200 et $\phi=1\%$, 3% et 4% , comme prévu il est clairement observé que les valeurs les plus élevées sont situées près de l'axe de symétrie ; avec augmentation du nombre de Reynolds cela est dû à l'augmentation de la convection phénomènes avec numéro de Re . Les résultats affichant une amélioration notable h_x dans une grande partie du mur cible en tant que volume solide la fraction augmente ceci est dû à l'augmentation de la conductivité de nanofluide ϕ .

IV.5 Effet de nombre de Reynolds et concentration ϕ sur le coefficient de transfert de chaleur moyen h :

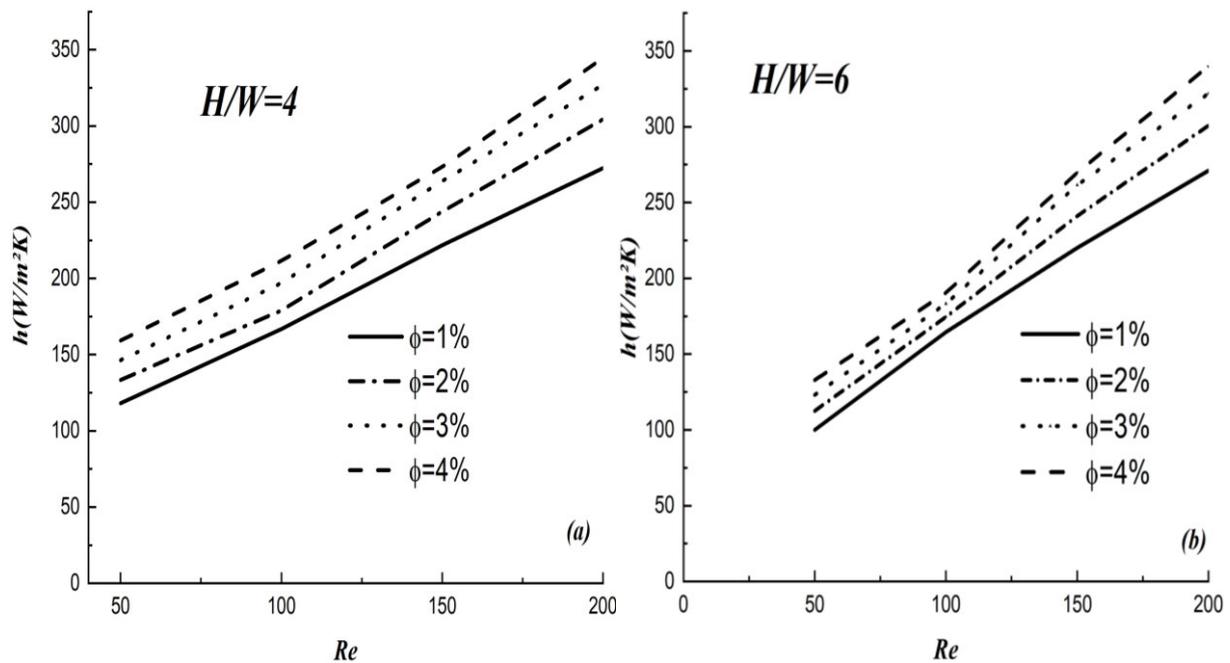
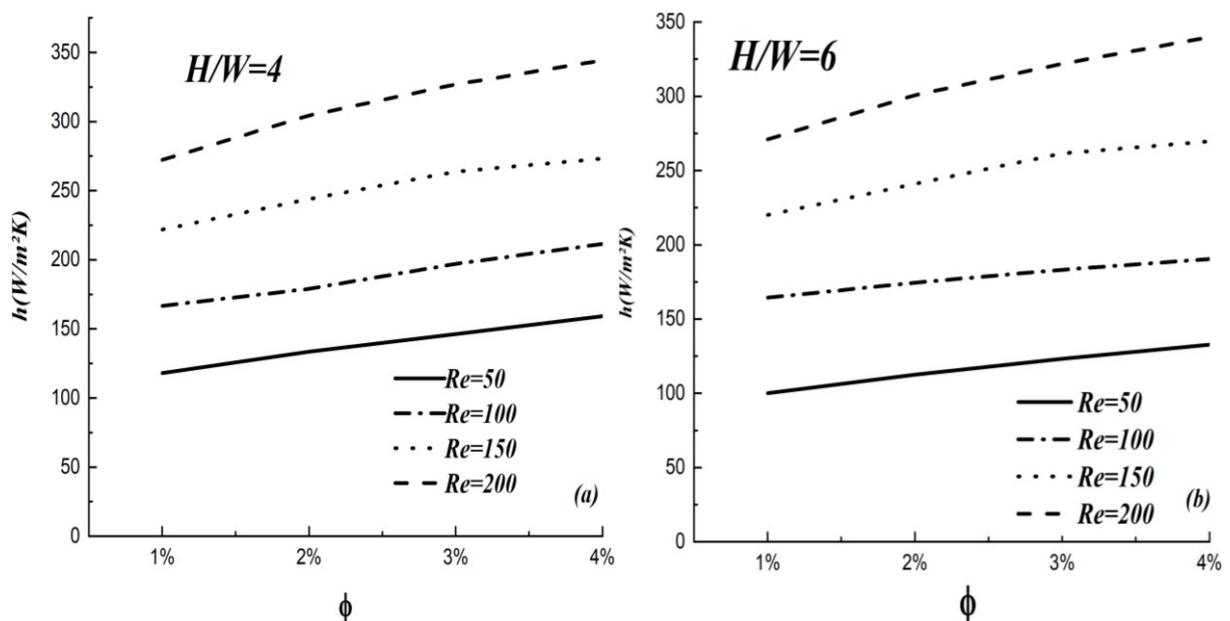


Figure (IV.7) : Profils des coefficients de transfert de chaleur par convection moyen en fonction de Re pour différentes concentrations $H/W = 4$ et 6 .



Figure(IV.8) : Profils des coefficients de transfert de chaleur par convection moyen fonction de concentrations ϕ pour différents nombre de Re , $H/W=4$ et 6 .

La figure (IV.7) représente le coefficient de transfert chaleur moyen en fonction Re pour valeurs de particule fraction $\phi=1\%$ à 4% pour un $H/W=4$ et 6 . On peut observer que important

de h_x augmente avec l'augmentation de nombre de Re . Certainement parce que le transfert chaleur augment. Les profils augmentent linéairement à mesure que Re augmente et des valeurs plus élevées sont détectées pour des fractions de volume de nanoparticules plus importantes. Par exemple, pour $H/W=4$, h_x est égal à environ 120 et 160 $W / m^2 K$ pour $\phi = 1\%$ alors qu'il est de 100 et 130 $W / m^2 K$ pour $\phi = 4\%$.

Les valeurs moyennes de coefficient de transfert chaleur en de fonction ϕ sont représenté sur la figure (IV.8) à $Re=50$ à 200 pour $H/W=4$ et 6. Les résultats montrent que h augment avec l'augmentation de Re et ϕ , parce que la convection avec numéro de référence et conductivité thermique du nanofluide avec ϕ augmente. Les profils augmentent linéairement à mesure que ϕ augmente.

Conclusion
générale

Conclusion générale

Une analyse numérique d'un model bidimensionnel sur un jet laminaire impact avec des nanofluides non-Newtonien a été réalisée afin d'évaluer les comportements thermique et dynamique. Une température uniforme est appliquée sur la surface cible et le nombre de Reynolds avec $50 \leq Re \leq 200$, et différentes concentrations volumiques de nanoparticules d' Al_2O_3 sont prises en compte en adoptant le model monophasé. Les effets de confinement sont pris en compte en adoptant H/W rapports égaux à 4 et 6. Les résultats sont présentés en termes de Nusselt local, coefficient de transfert chaleur en fonction du nombre de Reynolds, rapport d'aspect H/W et concentration. L'introduction de nanoparticule produit une augmentation de température de la masse du fluide en rais de conductivité thermique élevée des nanofluides.

- Le coefficient de transfert de chaleur moyenne et les valeurs du nombre de Nusselt sont les plus élevés au l'axe de symétrie et ils augmentant à mesure que les concentrations de particules et nombre de Reynolds augmentent.
- H/W augment le jet froid se déplace plus longtemps distance jusqu'à ce qu'il rencontre la paroi chaude inférieure. Pour un rapport H/W donné, le nombre de Nusselt diminue en douceur le long de surface cible.

Références
bibliographique

Références bibliographiques

- [1] J. Ribeiro, J.Gruss. « Nanofluides pour les application thermiques .Techniques de l'ingénieur, 2009.
- [2] A. Mammeri. Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriel : Application aux serveurs informatiques, thèse doctorat, l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers -ENSAM, 2014, France.
- [3] S.U.S Choi, Z.G Zhang, W Yu, F.E lockwood, E.A Grulke. Anomalous thermal conductivity in nano tube suspension, *AppliedPhysicsLetters* 79 2252-2254., 2001.
- [4] S.K Das, N. Putta, P .Thiesen, W. Roetzel. Temperaturedependence of thermal conductivityenhancement for nanofluids, *ASME Trans.Heat Transfer* 125 567-574,2003.
- [5] C Tsai.Y, H.T, P.P Ding, B Chan, T, Y Luh,P.H Chen, Effet of structural charcter of gold nanoparticles in nanofluide on heat pipe thermal performans,*MaterielLetters* 58,pp.1461
- [6] S.C Tseng,C.WLind and K.D huang , heattransferenhancement of nanofluids in Rotary BladeCoupling of new correlations.*I.J.ofHeat and Mass transfer* 52.pp,4657-4682,2009.
- [7] B. C. Pak and Y. I. Cho, “Hydrodynamic and heattransferstudy of dispersedfluidswithsubmicronmetallicoxideparticles,” *ExperimentalHeat Transfer*, vol. 11, no. 2, pp. 151 –170, 1998.
- [8] Y. Xuan, W. Roetzel, Conceptions for heattransfer correlation of nanofluids. *Int. J. Heat Mass Transfer* 43, 3701–3707,2000.
- [9] C.T. Nguyen, F. Desgranges, N. Galanis, G. Roy, T. Maré, S. Boucher, H. AngueMintsa,Viscosity data for Al_2O_3 –water nanofluid-hysteresis : isheattransferenhancementusingnanofluidsreliable, *Int. J. Thermal Sciences* 47 ,103–111,2008.
- [10] A. Einstein, EineneueBestimmung der Molekuldimensionen. *Annalen der Physik*, 19 ,289-306,1906.

Références bibliographiques

- [11] D. Drew, S. Passman, Theory of Multicomponent Fluids. Springer Verlag, 1999.
- [12] J. Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism. Clarendon Press, Oxford, 1873.
- [13] R. Hamilton, O. Crosser, Thermal Conductivity of Heterogeneous Two Component Systems, Ind. Eng. Chem. Fund. 1, 187–191, 1962.
- [14] G. Roy, CT. Nguyen, PR. Lajoie, «Étude numérique de l'écoulement laminaire et du transfert de chaleur dans un système de refroidissement à écoulement radial avec l'utilisation de nanofluides», Superlattices and Microstructures, vol. 35, non. 3–6, p. 497 - 511, 2004.
- [15] SJ. Palm, G. Roy et, CT. Nguyen, «Amélioration du transfert de chaleur avec l'utilisation de nanofluides dans les systèmes de refroidissement à écoulement radial en tenant compte des propriétés dépendantes de la température», Applied Thermal Engineering, vol. 26, non. 17– 18, p. 2209 – 2218, 2006.
- [16] G. Roy, SJ. Palm, CT. Nguyen, «Transfert de chaleur et écoulement fluide de nanofluides dans les systèmes de refroidissement à flux radial laminaire», Journal of Thermal Science, vol. 14, non. 4, p. 362 - 367, 2005.
- [17] P. Vaziei, P. O. Abouali, «Étude numérique de l'écoulement des fluides et du transfert de chaleur pour le jet impactant les nanofluides à l'eau Al_2O_3 », dans Actes de la 7e Conférence internationale sur les nanocanaux, les microcanaux et les minicanaux (ICNMM '09), p. 977 - 984, Pohang, Corée, juin 2009.
- [18]. I. Gherasim, G. Roy, CT. Nguyen, D. Vo-Ngoc, «Amélioration du transfert de chaleur et puissance de pompage dans les flux radiaux confinés à l'aide de suspensions de nanoparticules (nanofluides)», International Journal of Thermal Sciences, vol. 50, pp. 369 -377, 2011.
- [19] TY. Yang, FH. Lai, «Étude numérique de l'amélioration du transfert de chaleur avec l'utilisation de nanofluides dans un système de refroidissement à écoulement radial», International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 53, non. 25-26, p. 5895- 5904, 2010.

Références bibliographiques

- [20] YT.Yang, FH. Lai, «Investigation numérique des performances de refroidissement avec l'utilisation de nanofluides Al_2O_3 / eau dans un système à écoulement radial», International Journal of Thermal Sciences, vol. 50, non. 1, pp. 61 - 72, 2011.
- [21] O.Manca, P.Mesolella, S.Nardini, D.Ricci, «Étude numérique d'un jet percutant à fente confinée avec des nanofluides», Nanoscale Research Letters, vol. 6, non. 1, p.188, 2011.
- [22] B.GLADES « Contribution à l'étude de la convection naturelle dans les nanofluides en configuration de Rayleigh-Bénard », Thèse en vue d'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, 2010.
- [23] CT.Nguyen, N.Galanis, G .Polidori, S.Fohanno, CV. Popa, A.LeBehec, «Une étude expérimentale d'un transfert de chaleur par jet à impact confiné et immergé utilisant de l'eau Al_2O_3 nanofluide », International Journal of Thermal Sciences, vol. 48, non.2, pp 401 -411, 411,2009.
- [24] I.Gherasim,G. Roy,CT. Nguyen, D. Vo -Ngoc, «Investigation expérimentale des nanofluides dans les écoulements radiaux laminaires confinés», International Journal of Thermal Sciences, vol. 48, non. 8, p. 1486 - 1493, 2009.
- [25] S. ZeinaliHeris, S.Gh. Etemad, M. NasrEsfahany. Experimental investigation of oxidenanofluidslaminar flow convective heat Transfer, International Communications in Heat and Mass Transfer 33, 529–535,2006.
- [26] D. Wen, Y. Ding, Experimental investigation intoconvective heattransferof nanofluidsat the entrance regionunderlaminar flow conditions, International Journal Of Heat and Mass Transfer 47 (24) ,5181,2004.
- [27] Q. Li, Y. Xuan et F. Yu, Enquête expérimentale sur un impact à jet unique immergé utilisant un nanofluideCu-eau, Appl. Thermie. Eng. Vol. 36, p. 426 433, 2012.
- [28] O. Zeitoun et M. Ali, Nanofluidimpingement jet heattransfer, Nano scaleRes. Lett, Vol. 7, p. 139, 2012.

Références bibliographiques

- [29] MA Teamah, MM Khairat Dawood et A. Shehata, « Étude numérique et expérimentale de la structure d'écoulement et du comportement de l'impact des nanofluides sur une plaque plate horizontale », *Exp. Thermie. FluidSci.* Vol. 74, pp.235 - 246, 2016.
- [30] P.Li, Y.Xie D. Zhang, « Numerical investigation of confined single jet impinging on a dimpled target surface using Al_2O_3 -water nanofluids ». *HeatTransf. Res.*, 47, 157–176, 2016.
- [31] H. Maleki, MR.Safaei, AAAA. Alrashed, A. Kasaeian « Flux et transfert de chaleur dans des nanofluides non newtoniens sur des surface preuses ». *J.Therm. Anal. Calorim*, 2, 1–12., 2018.
- [32] H.Maleki, MR. Safaei, H. Togun , Dahari, M. Transfert de chaleur et écoulement de fluide de nanofluide pseudo -plastique sur une plaque perméable en mouvement avec dissipation visqueuse et absorption / génération de chaleur. *J. Therm. Anal. Calorim*, 1– 12, 2018.
- [33] H.Lamraoui, K. Mansouri, R.Saci. Numerical investigation on fluid dynamic and thermal behavior of a non-Newtonian Al_2O_3 -water nanofluid flow in a confined impinging slot jet. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 265, 11–27, 2019.
- [34] Y.Lafouraki, B. Ramiar, A. Mohsenian, S. Analyse de la génération d'entropie d'un jet impactant une fente confinée dans un canal convergent pour un nanofluide fluidifiant par cisaillement. *Appl. Thermie. Eng.* 105, 675–685, 2016.
- [35] A. Esmailnejad, H. Aminfar, M. S. Neistanak, Numerical investigation of forced convection heat transfer through micro channels with non-Newtonian nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences* 75 , 76-86, 2014.
- [36] M.K.Moraveji, S.M.H.Haddad et M.Darabi, « Modeling of forced convective heat transfer of non newtonian nanofluid in the horizontal tube under constant heat flux with computational fluid dynamics », *Int.Comm.Heat Mass Transfer*, vol, 39, pp.995-999, 2012.

Références bibliographiques

- [37] M. Hojjat, S. G. Etemad, R. Bagheri, J. Thibault, Thermal conductivity of non-Newtonian fluids : Experimental data and modeling using neural network. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54, 1017–1023, 2011.
- [38] Rama Subba Reddy Gorla. Jet mural laminaire d'un fluide non newtonien sur une surface courbe. *J. Appl. Mech.*, 440-443, 1984.
- [39] HJ. Poh, K. Kumar, HS. Chiang, AS. Mujumdar, Transfert de chaleur d'un impact laminaire : Jet d'un fluide de loi de puissance. *Int. Commun. Heat Mass*, 31, 241–249, 2004.
- [40] Y. Qiang^{1, 2}, L. Jiang Wei¹, X. Luo, H. Jian, Wenan Wang, and F. Li¹, Heat Transfer and Flow Structures of Laminar Confined Slot Impingement Jet with Power-Law Non-Newtonian Fluid. *Entropy*, 20, 800, 2018.
- [41] AS Cavada, F.T. Pinho, JBLM Campos. Jet laminaire non newtonien confiné par des parois planes inclinées. *Journal Of non –Newtonian .Fluid Mechanics*. Vol.169-170, p 1-14, 2012.
- [42] R Gharraei, R ; Vejdani, A ; Baheri, S. Étude numérique sur l'écoulement de fluide et le transfert de chaleur de jets multiples non newtoniens. *Int. J. Therm. Sci.* 104, 257–265, 2016.
- [43] C.S, Srisamran, Simulation numérique de l'écoulement et du comportement de mélange des courants d'impact de fluides fluidifiants par cisaillement. *Chem. Eng. Sci.* 61, 4884–4892, 2006.
- [44] A.K. Santra, S. Sen, N. Chakraborty, study of heat transfer due to laminar flow of copper water nanofluid through two isothermally heated parallel plates, *Int. J. Therm. Sci.* 48, 391-400, 2009.