

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

Université Mohamed Boudiaf- M'sila
Faculté de Technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف . المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

Licence en Génie Mécanique

Option : Energétique

Thème :

Simulations numériques de l'échange thermique par convection naturelle

De nanofluides dans une enceinte à paroi ondulée

Proposé et dirigé par :
Bakhti F.Z

Présenté par :
HAMIDI YOUSSEF
R.ZEGHLACHE SAMIR

Année Universitaire : 2018 / 2019

N° d'ordre : GM/...../2019

Remerciements

Sommaire

Chapitre I

Généralité sur les nanofluides

I.1. Introduction :

Le transfert de chaleur est un processus d'une grande importance dans le domaine de l'industrie et des technologies. Bien qu'il se manifeste sous diverses formes rayonnement, conduction et convection, cette dernière est la plus visée dans certains domaines bien spécifiques tels que le refroidissement des processeurs, des composants électroniques, les radiateurs et les échangeurs de chaleurs, etc.

Dans la plupart de ces applications, le transfert de chaleur est réalisé par des dispositifs de transfert de chaleur; tel que des échangeurs de chaleur, des évaporateurs, des condenseurs, et des dissipateurs de chaleur. L'augmentation de l'efficacité du transfert de chaleur de ces dispositifs est souhaitable,. Il existe plusieurs méthodes pour améliorer l'efficacité de transfert de chaleur. L'utilisation de surfaces étendues (ailettes) ou des micro canaux sont parmi ces méthodes.

L'efficacité du transfert de chaleur peut également être améliorée en augmentant la conductivité thermique des fluides caloporteurs. À cet égard, diverses techniques ont été proposées pour modifier les propriétés thermo-physiques des fluides. Parmi ces techniques, on peut citer celle qui consiste à augmenter la conductivité thermique des fluides de base (tels que l'éthylène glycol, l'eau et les huiles) par mise en suspension de nanoparticules solides dans ces fluides. Ces techniques ont donné naissance à une nouvelle classe de fluides caloporteurs, appelés nanofluides.

Ce chapitre comporte une étude descriptive des trois modes de transmission de chaleur ainsi que, des généralités sur les nanofluides, leur composition, leurs méthodes de synthèse et leurs propriétés physiques et thermiques

I-2) Modes du transfert de la chaleur

Un transfert thermique, appelé plus communément chaleur est l'un des modes d'échange d'énergie thermique entre deux systèmes. C'est une notion fondamentale de la thermodynamique. Contrairement au travail, la chaleur est un transfert d'énergie microscopique désordonnée. On distingue trois types de transfert thermique, qui peuvent coexister :

- la conduction, due à la diffusion progressive de l'agitation thermique dans la matière ;
- la convection, transfert thermique qui accompagne les déplacements macroscopiques de la matière ;
- le rayonnement, qui correspond à la propagation de photons.

a) La conduction

La conduction est définie comme étant le mode de transmission de la chaleur au sein d'un milieu opaque (solide, liquide ou gazeux), sans déplacement de la matière, en présence d'un gradient de température. Elle s'effectue selon deux mécanismes différents: une transmission par vibration des molécules ou atomes et une transmission par les électrons libres. Ce mode se produit au sein d'une même phase au repos ou mobile, en présence d'un gradient de température. Dans ce cas, le transfert de chaleur résulte d'un transfert d'énergie cinétique d'une molécule à une autre molécule adjacente. Ce mode de transfert est le seul à exister dans un solide opaque (qui absorbe tous les rayons). Pour les solides transparents, une partie de l'énergie peut être transmise par rayonnement. Avec les fluides (gaz ou liquides), la convection et le rayonnement peuvent se superposer à la conduction.

b) La convection

La convection consiste essentiellement en la transmission de l'énergie par le mouvement ou le déplacement macroscopique d'une parcelle (grand nombre de molécules), généralement d'un fluide d'une région à autre. Ce mécanisme est accompagné toujours par le transfert d'énergie dû au mouvement moléculaire et qui représente le côté conductif de ce mode. On distingue deux types de convection ; la **convection naturelle (convection libre)** où le mouvement des particules est dû aux différences de température qui sont imposées au fluide. La différence de température implique une différence de masses volumiques (déplacement des particules, dilatation), exemple (chauffage de l'air pour une montgolfière, chauffage de l'eau dans un récipient). La convection forcée où le mouvement des particules résulte de la pression appliquée au fluide par l'intermédiaire des moyens mécaniques, (d'une pompe par exemple).

Le transfert de la chaleur par convection, se produit entre deux phases dont l'une est généralement au repos et l'autre en mouvement, en présence d'un gradient de température. Le mouvement du fluide peut résulter de la différence de masses volumiques due aux différences de températures.

c) Le rayonnement

Le rayonnement est le transfert d'énergie électromagnétique d'un milieu à haute température vers un autre milieu à basse température sans aucun support matériel (il peut s'effectuer dans le vide). En général, tout corps opaque ou partiellement opaque porté à une température supérieure à zéro Kelvin rayonne de l'énergie dans toutes les directions. Cette énergie est transportée sous forme d'une onde électromagnétique dont la propagation n'exige pas du support matériel. Ce type de transport de chaleur est analogue à la propagation de la lumière et il ne nécessite aucun support matériel, contrairement aux écoulements. Les gaz, les liquides et les solides sont capables d'émettre et d'absorber les

I.2.GENERALITES SUR LES NANOFUIDES :

I.2.1 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.2.2 Les nanoparticules et le fluide porteur :

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 appliqué sont très étudiées de nos jours. De nanométriques et des biologistes les utilisent comme marqueurs cellulaires.

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.

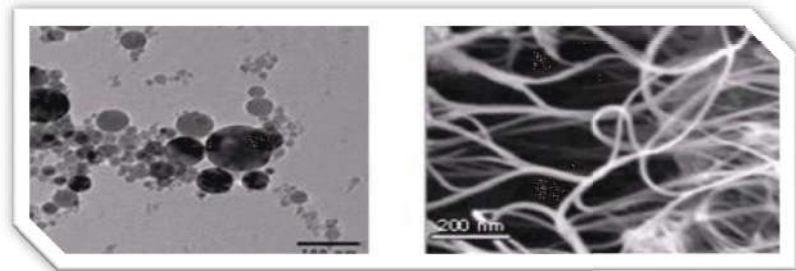
Les huiles

Le Toluène.

Les fluides de réfrigération ($R12.R22.....$)

nombreux physiciens et chimistes les synthétisent, d'autres physiciens les étudient afin de comprendre la physique de ces objets

Figure 1: nanoparticules sphériques et nanotubes



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

Les suspensions de nanoparticules dans un fluide, souvent appelées nanofluides, ont des caractéristiques thermiques intéressantes comparées aux fluides de base traditionnels (voir tableau 1.1) et des qualités indéniables d'amélioration du transfert thermique. La conductivité thermique des nanofluides peut être significativement plus élevée que celle des liquides purs.

Tableau 1.1 : les propriétés thermophysiques de différents matériaux

	Nanoparticule et fluide de base	K (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)	μ (Pa.s)
Métallique (solides)	Cu	400	8954	383	
	Fe	80,2	7870	447	
	Ni	90,7	8900	444	
	Au	317	19,300	129	
	Ag	429	10,500	235	
	C (diamant)	2300	3500	509	
Oxyde Métallique (solides)	SiO ₂	1,38	2220	745	
	TiO ₂	8,4	4157	710	
	Al ₂ O ₃	36	3970	765	
	CuO	69	6350	535	
	SiC	490	3160	675	
Liquides non métallique	L'eau	0,613	1000	4183	0,0008
	Ethylène-glycol(EG)	0,258	1132	2349	513 0,0157

I.2.3. Production des nanofluides et nanoparticules

Les procédés de fabrication de nanoparticules sont nombreux. Ils peuvent être classés en deux catégories :

Les procédés physiques, comme le broyage mécanique.

Les procédés chimiques, comme la pyrolyse ou la précipitation chimique.

I.2.3.1 Procédé en une étape (one-step method) :

Consiste à la dispersion des nanoparticules directement dans un fluide de base (synthèse direct dans un fluide de base) et de prévenir l'oxydation des particules de métal pur.

I.2.3.2 Procédé en deux étapes (two-step method) :

La première étape consiste à fabriquer les nanoparticules et dans la seconde étape les nanoparticules sont disperser dans un fluide de base.

I.2.4. Les applications des nanofluides :

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques (paliers magnétiques à ferrofluides, agents de contraste en imagerie médicale), pour leurs propriétés électriques (dépôt conducteur électromouillage 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 Systems [3] [4].

I.2.5. 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).

Chapitre I Recherche Bibliographique

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, piles à combustible, le chauffage solaire d'eau, forage, stockage thermique).

I.2.6. 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.

Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.

Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système.

Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications

I.2.7. 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.2.8. Propriétés thermo physiques des nanofluides :

Masses volumiques :

Nous revenons à la définition de la masse volumique de mélange.

$$\rho = (\rho_f v_f + \rho_s v_s) / (v_f + v_s)$$

Or la fraction volumique des nanoparticules, noté ϕ désigne le rapport du volume des nanoparticules sur le volume total (fluide + solide).

$$\phi = \text{Volume solide} / \text{Volume totale d'un nanofluide} = v_s / (v_s + v_f)$$

On en déduit alors la masse volumique du nanofluide pour une température donnée qui s'écrit :

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

Où :

ρ_{nf} : La masse volumique du nanofluide

ρ_f : La masse volumique de fluide de base

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules solides

-Conductivité thermique (K) :

La conductivité thermique généralement est une propriété importante, principalement dans notre étude parce qu'elle joue un rôle très importants dans le phénomène de transfert de chaleur, elle peut indiquer clairement l'efficacité du transfert de chaleur du fluide ou du solide, la conductivité dépend de la température. En plus de sa variation en fonction de la température, la conductivité thermique du nanofluide varie en fonction de la fraction volumique aussi, la conductivité thermique d'un nanofluide est calculée selon les deux modèles suivant :

-Modèle de Maxwell (1873)

Maxwell a été l'un des premiers qui a étudié analytiquement la conduction thermique d'un fluide contenant des particules sphériques en suspension en ignorant les effets d'interaction entre ces particules. L'équation qui en résulte est :

$$k_{nf}/k_f = \frac{k_s + 2k_f + 2\phi(k_s - k_f)}{k_s + 2k_f - \phi(k_s - k_f)}$$

Où k_{nf} , k_f et k_s désignent respectivement les conductivités thermiques du nanofluide, du fluide porteur et des particules solides et ϕ la fraction volumique des particules.

-Viscosité dynamique

Pour les suspensions constituées de nanoparticules sphériques, on dispose de différents modèles et de formules semi-empiriques variées décrivant l'évolution de la viscosité du nanofluide en fonction de la fraction volumique.

-Modèle d'Einstein (1906)

Einstein [11] a étudié la viscosité dynamique d'un nanofluide pour un mélange contenant des suspensions diluées de particule fine, sphérique. L'expression qui caractérise ce modèle est la suivante : $\mu_{nf} = \mu_f(1 + 2.5\phi)$

Avec μ_{nf} et μ_f désignent respectivement les viscosités dynamiques du nanofluide, du fluide de base et la fraction volumique des nanoparticules. Cette relation est valable que pour 0.03.

-Modèle de Brinkman (1952)

Pour le modèle de **Brinkman[12]** la viscosité dynamique est définie par l'expression suivante. $\mu_{nf} = \mu_f / (1 - \phi)^{2.5}$

On remarque que pour les faibles fractions volumiques, la relation de Brinkman conduit exactement à celle d'Einstein.

Ce n'est pas d'ailleurs les seules on trouve de nombreuses autres corrélations approximant de façon satisfaisante la viscosité du nanofluide dans certaines gammes de variation de la concentration volumique.

Pack et Cho [13] ont obtenu une corrélation spécifique pour le nanofluide (eau+Al₂O₃). $\mu_{nt} = \mu_f(1 + 39.11\phi + 533.9\phi^2)$

- Domaines d'application des nanofluides:

Les nanofluides peuvent être employés pour améliorer le transfert thermique de chaleur et l'efficacité énergétique dans plusieurs systèmes thermiques. Dans cette section quelques exemples d'application seront présentés tel que le transport la micro-électronique, la défense, le nucléaire, l'espace et la biomédicale.

- Refroidissement des systèmes électroniques
- Refroidissement des systèmes thermiques
- Refroidissement des systèmes militaires
- Refroidissement des systèmes spatiaux
- Refroidissement des systèmes nucléaires
- La biomédecine

Chapitre II

Formulation Mathématique

II.1.Introduction :

Les géométries complexes couvrent différents types de configurations géométriques, à savoir les cavités à parois ondulées, les cavités à parois courbées concaves et convexes. Parmi les travaux concernant les effets de courbure des parois des enceintes fermées sur le transfert de chaleur, la majorité ont été consacrés à la géométrie carrée et rectangulaire dont une ou deux parois sont ondulées. Le comportement dynamique complexe du fluide au niveau des parois ondulées a fortement motivé les chercheurs à investiguer dans ce domaine. ont mis en évidence l'effet de l'ondulation de la surface d'échange sur l'écoulement du fluide et sur le transfert de chaleur par convection naturelle dans une enceinte verticale a paroi ondulées. Dans ce travail nous avons étudié la convection naturelle des nanofluides dans une cavité carrée dont les parois gauche et droite sont respectivement froide et chaude et les parois haute et basse ondulée sont adiabatiques.

II.2.Géométries des Problèmes Considérés :

Le modèle physique considéré est schématisé sur la figure 2. On considère un cavités avec parois ondulées plan et vertical dans lequel s'écoule un nanofluide en écoulement laminaire. La paroi gauche du canal est soumise à une température constante (T_1) et la paroi droite est maintenue à une température constante ($T_2 > T_1$). L'écoulement est supposé ascendant entrant à une température $T_0 = T_1$. Le fluide de base utilisé est newtonien, l'écoulement est incompressible, bidimensionnel et stationnaire. La dissipation visqueuse est négligeable, les propriétés thermophysiques des nanofluides sont constantes, sauf pour la variation de la masse volumique qui est estimée par l'approximation de Boussinesq.

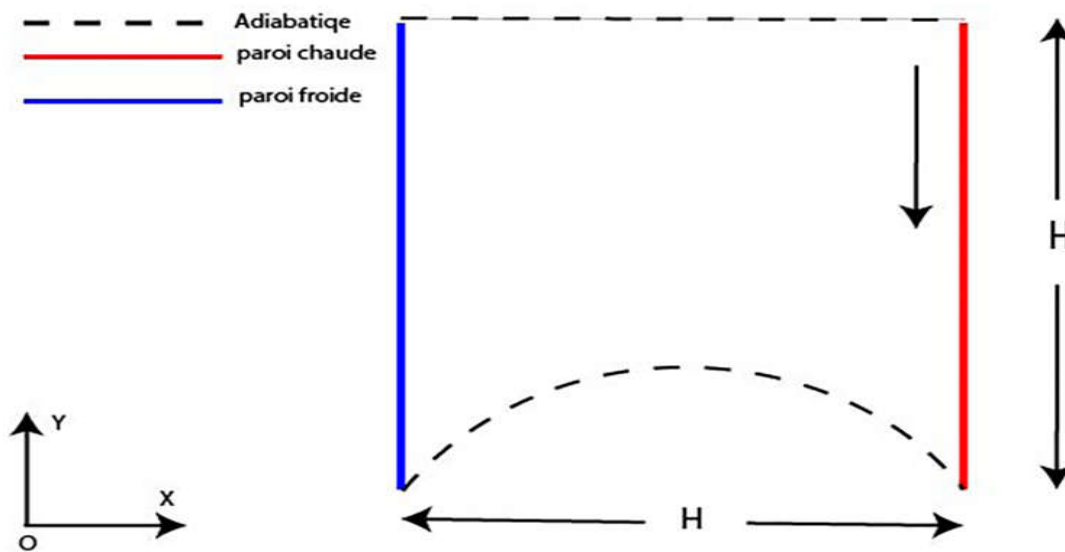


Figure 2: Schéma de la configuration étudiée et les conditions aux limites

II.3. Eléments mathématiques de base (équations gouvernantes) :

La formulation mathématique des phénomènes de convection repose sur les équations liant les différents paramètres à savoir : la vitesse, la pression et la température. Ces équations sont obtenues à partir des lois de conservation de masse, de conservation de la quantité de mouvement (équations de Navier - Stokes), et de conservation d'énergie.

II.3.1 Equation de continuité :

C'est l'équation qui exprime le principe de conservation de la masse. Elle s'exprime sous forme tensorielle comme suit (Bejan, 2004) :

$$-\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} * (\rho u_j) = 0 \quad (\text{II.1})$$

(j : indice de somme, = 1~3).

Pour un fluide Newtonien incompressible, l'équation (II.1) se réduit à :

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (\text{II.2})$$

II.3.2 Equations de la quantité de mouvement

Cette équation est déduite de la deuxième loi de la dynamique, qui stipule que la variation de la quantité de mouvement d'une particule fluide est égale à la somme des forces extérieures sur cette particule. Elle s'écrit sous forme tensorielle comme suit (Bejan, 2004) :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial (\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = F_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (\text{II.3})$$

Où :

$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i)$: Représente le taux de variation de la quantité de mouvement

$\frac{\partial (\rho u_j u_i)}{\partial x_j}$: Représente le taux net de transport de quantité de mouvement suivant la direction i, par mouvement du fluide.

F_i : Représente les forces de volume suivant la direction i.

$\frac{\partial P}{\partial x_i}$: Représente les forces dues à la pression.

$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right]$: Représente les forces nettes de viscosité

L'équation (II.3) représente la conservation de quantité de mouvement (équation de Navier Stokes) d'un fluide visqueux incompressible pour un régime transitoire.

(j : indice de somme, = 1~3).

(i : indice de direction, = 1~3).

II.3.3 L'équation de l'énergie :

Elle est obtenue par l'application du premier principe de la thermodynamique. Cette équation pour un fluide Newtonien incompressible, s'écrit sous la forme suivante :

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \left(\frac{\partial}{\partial x_j} \right) (u_j T) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + q + \mu \Phi \quad (\text{II.4})$$

Où

K : La conductivité thermique

Cp : La chaleur spécifique à pression constante.

ρ : La masse volumique.

q : La génération de chaleur par unité de volume (densité de chaleur volumétrique)

μ : Viscosité dynamique du fluide.

Φ : La dissipation visqueuse.

II.4.Hypothèses simplificatrices :

La simulation de la géométrie étudiée est basée sur les hypothèses simplificatrices suivantes :

1. L'écoulement du fluide et le transfert de chaleur sont permanents.
2. Le régime est laminaire
3. Le nanofluide utilisé est un fluide newtonien, incompressible
4. Les propriétés thermophysiques du nanofluide (k , μ , β et C_p) sont considérées constantes et prises à la température de référence à l'exception, de la masse volumique dans le terme de la poussée d'Archimède qui est supposée obéir à l'approximation de Boussinesq.
5. Milieu continu.
6. Ecoulement tridimensionnel (suivant les coordonnées x , y et z).
7. La dissipation visqueuse est négligeable ($\mu\Phi = 0$).

II.5.Equations dimensionnelles :

Après introduction des hypothèses données ci-dessus, on peut établir les différentes équations nécessaires à la résolution du problème considéré dans cette étude comme suit:

. *Equation de continuité :*

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} = 0 \quad (\text{II.5})$$

. *Equation de la conservation de la quantité de mouvement suivant x :*

$$\rho \left[\frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} \right] = \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\mu \partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\mu \partial u}{\partial y} \right] \right) \quad (\text{II.6})$$

. *Equation de la conservation de la quantité de mouvement suivant y :*

$$\rho \left[\frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} \right] = \frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\mu \partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\mu \partial v}{\partial y} \right] \right) - g\beta(T - T_0) \quad (\text{II.7})$$

. **Equation de l'énergie:**

- *Pour l'eau:*

$$\rho C_p \left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right] = \frac{\partial}{\partial x} \left[k \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k \frac{\partial T}{\partial y} \right] \quad (\text{II.8})$$

II.6.Conditions aux limites :

La résolution du système d'équations obtenu précédemment nécessite l'incorporation des conditions aux limites pour chaque variable dépendante.

Il existe quatre types de conditions aux limites dans notre étude : propriétés d'une paroi lisse.

Les conditions aux limites dans notre étude .

parois droit $T = 350 \text{ K}$ et $u=v=0$

parois gauche $T = 300 \text{ K}$ et $u=v=0$

les parois haute et basse ondulée adiabatique $dt/dy=0$

II.7.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les géométries étudiées ainsi que le modèle mathématique qui est constitué d'un système d'équations, complété par des conditions aux limites. Pour la résolution de ces équations, nous avons utilisé le code Fluent basé sur la méthode des volumes finis, ce code va être détaillé dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Procédures de Simulation Numérique

III.1.Introduction

Les équations du bilan régissant la convection sont des équations aux dérivées partielles non linéaires, de type elliptiques et couplés. En raison de leur complexité, ces équations sont résolues par l'utilisation des méthodes numériques.

Plusieurs méthodes numériques sont disponibles dans la littérature, dont on peut citer à titre d'exemples :

- La méthode des différences finies.
- La méthode des éléments finis.
- La méthode des volumes finis.

Pour résoudre le système d'équations présenté dans le chapitre précédent, nous avons choisi la méthode des volumes finis adoptée par le logiciel CFD Fluent 6.3.26. La création de la géométrie et le maillage ont été réalisés en utilisant le préprocesseur Gambit 2.2.30 pour les différentes configurations étudiées.

Dans ce chapitre, nous allons donner une idée sur les deux logiciels Fluent et Gambit, et présenter les phases de la conception des géométries étudiées et la génération du maillage utilisé pour la simulation numérique ainsi que les étapes de simulation sous Fluent.

III.2. Définition de la CFD « Computational Fluid Dynamics » :

La CFD "Computational Fluid Dynamics" « Dynamique des Fluides Numérique », est un ensemble de méthodes numériques permettant d'obtenir une solution approximative d'un problème de dynamique des fluides et/ou de transfert thermique.

Les équations qui interviennent sont celles de la mécanique des fluides (les équations d'Euler, les équations de Navier-Stokes) que l'on peut éventuellement coupler aux équations de transfert thermique ou de réaction chimique., résolues par des méthodes numériques.

III.3. Présentation des logiciels Gambit et Fluent:

III.3.1. Préprocesseur Gambit :

C'est un préprocesseur intégré pour l'analyse en CFD (computationalfluid Dynamics), il permet de générer un maillage structuré ou non structuré en coordonnées cartésiennes, polaires, cylindriques ou axisymétriques, Il peut réaliser des maillages complexes en deux ou trois dimensions avec des mailles de type rectangle ou triangle.

Les options de génération de maillage de Gambit offrent une flexibilité de choix. On peut décomposer la géométrie en plusieurs parties pour générer un maillage structuré. Sinon, Gambit génère automatiquement un maillage non structuré adapté au type de géométrie construite.

Le préprocesseur permet aussi de définir les conditions aux limites appropriées aux frontières du domaine de calcul.

Il existe deux méthodes possibles pour réaliser le maillage sur GAMBIT:

- Soit avoir un volume et le mailler régulièrement sans avoir maillé les arêtes,
- Soit mailler partie par partie, c'est-à-dire utiliser le maillage défini sur les lignes pour mailler les surfaces et par la suite les volumes.

C'est le deuxième type de maillage que nous avons choisi.

III.3.2. Code Fluent

Fluent est un logiciel de calculs numériques en dynamique des fluides CFD (ComputationalFluidDynamics) destiné à effectuer des simulations numériques des problèmes d'écoulements fluides. Le package Fluent s'appuie sur la méthode des volumes finis pour résoudre les équations régissant le mouvement d'un fluide en écoulement et comprend des modèles physiques différents tels que :

- ✓ Ecoulements 2D ou 3D ;

- ✓ Ecoulement stationnaire ou in stationnaire ;
- ✓ Ecoulements incompressibles ou compressibles (subsoniques, transsoniques, supersoniques ou hypersoniques) ;
- ✓ Ecoulements non visqueux, laminaires ou turbulents ;
- ✓ Fluide Newtonien ou non ;
- ✓ Transfert de chaleur par conduction, par convection ou les deux(Conjugué) ou radiatif
- ✓ Ecoulement avec changements de phases ;
- ✓ Ecoulements au milieu poreux.

L'ensemble géométrie et génération de maillage se fait à l'aide du logiciel Gambit qui constitue un préprocesseur livré avec Fluent .

III.3.3. Les avantages de fluent(CFD):

- Perspicacité et précision
- Prévoyance
- Efficacité et rapidité
- Facilité d'utilisation
- Puissante de visualisation

III.4. Etapes principales de simulation :

Ce sont des démarches qui constituent les pas essentiels pour se servir de la meilleure façon de Fluent et de son générateur de maille Gambit:

- Lancement de Gambit
- Construction du domaine physique
- Exportation du fichier à Fluent
- Lancement de Fluent
- Lecteur du fichier .mesh
- Imposition des conditions physiques et spatiales
- Contrôle de la convergence
- Affichage des résultats

III.5. La conception du domaine physique:

III.5.1 Création de la géométrie:

Le chemin d'application de gambit est le suivant :

C: /Fluent .Inc/ntbin/ntx86/Gambit.exe

Vous pouvez créer un raccourci dans la barre des tâches. S'il y a un problème d'exécution,

Supprimer tous les fichiers « .Lok » dans le répertoire

C: /Fluent.Ic/ntbin/ntx86 et relancer Gambit.exe.

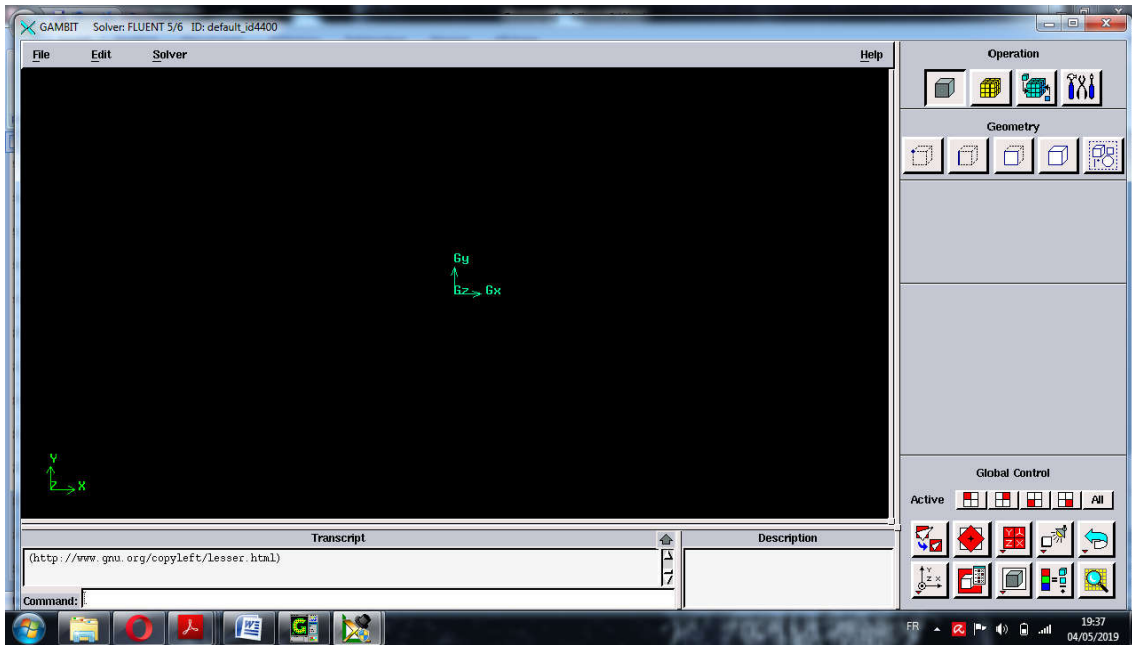
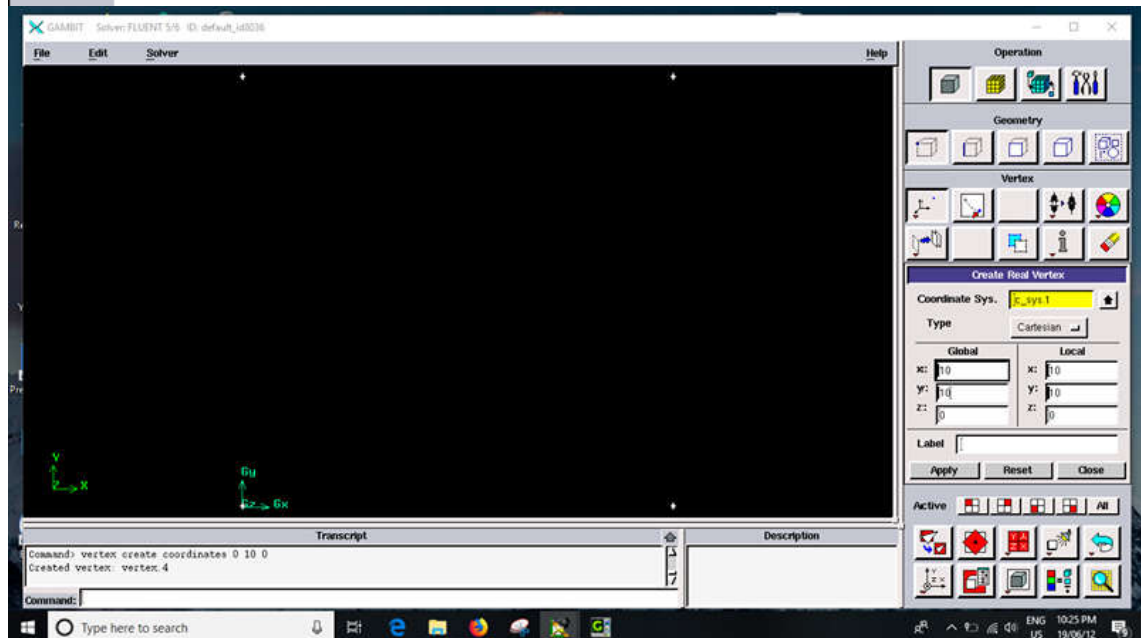
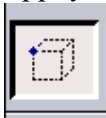


Fig. III.1: vue globale de Gambit.

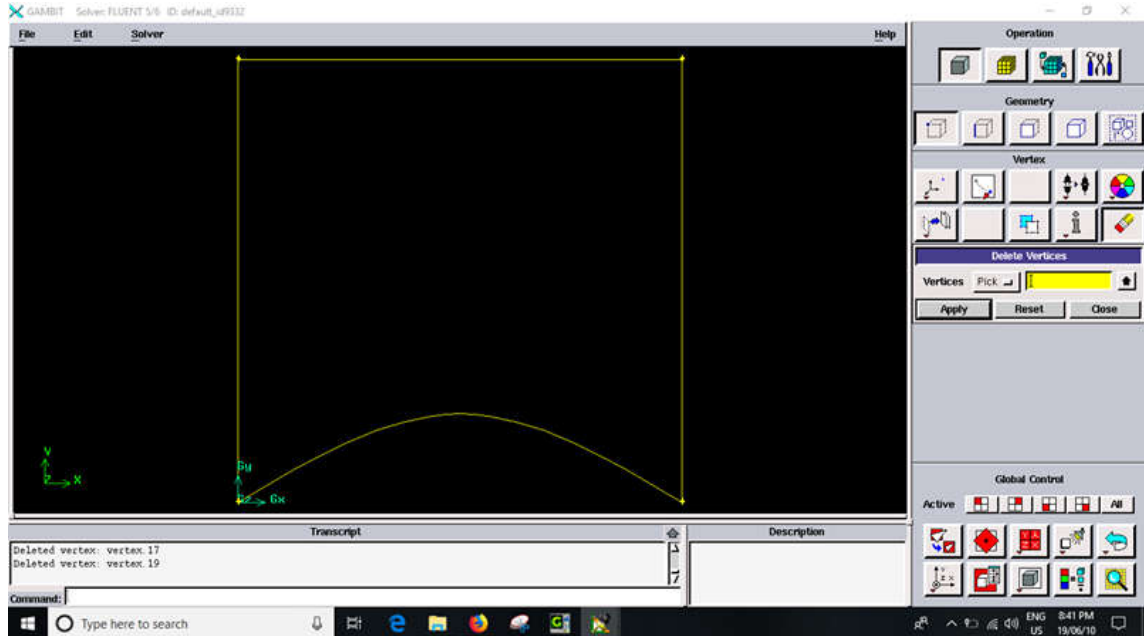
III.5.2. Création d'une point:

Appuyer sur les boutons suivant successivement pour créer une point :



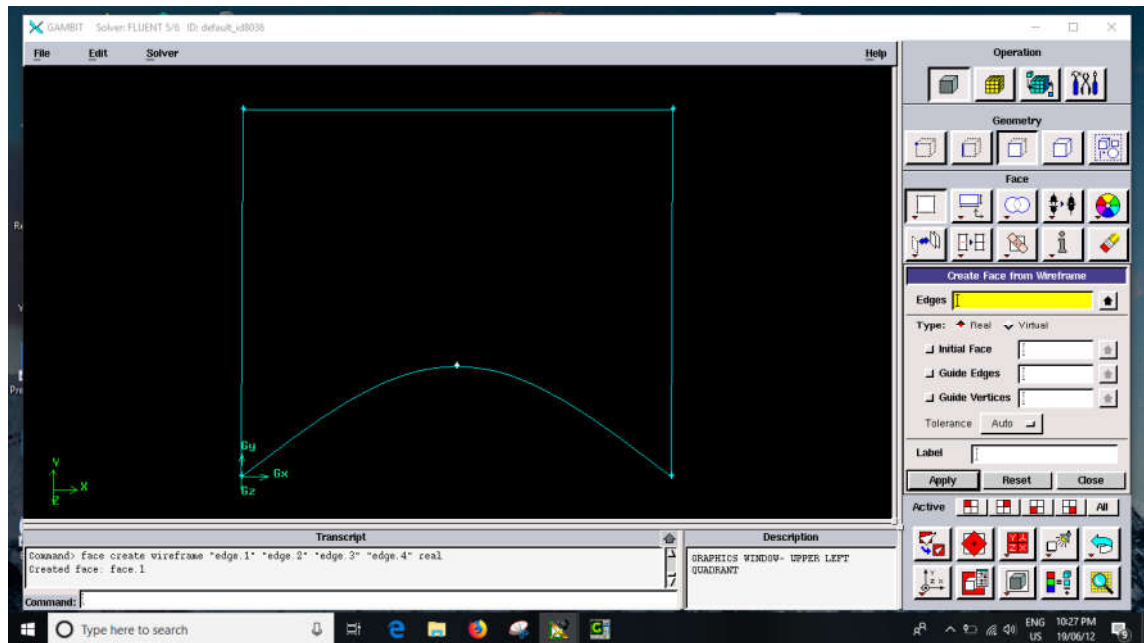
III.5.3. Création des lignes :

Appuyer sur les boutons suivant successivement pour créer une face circulaire :



III.5.4. Création surface :

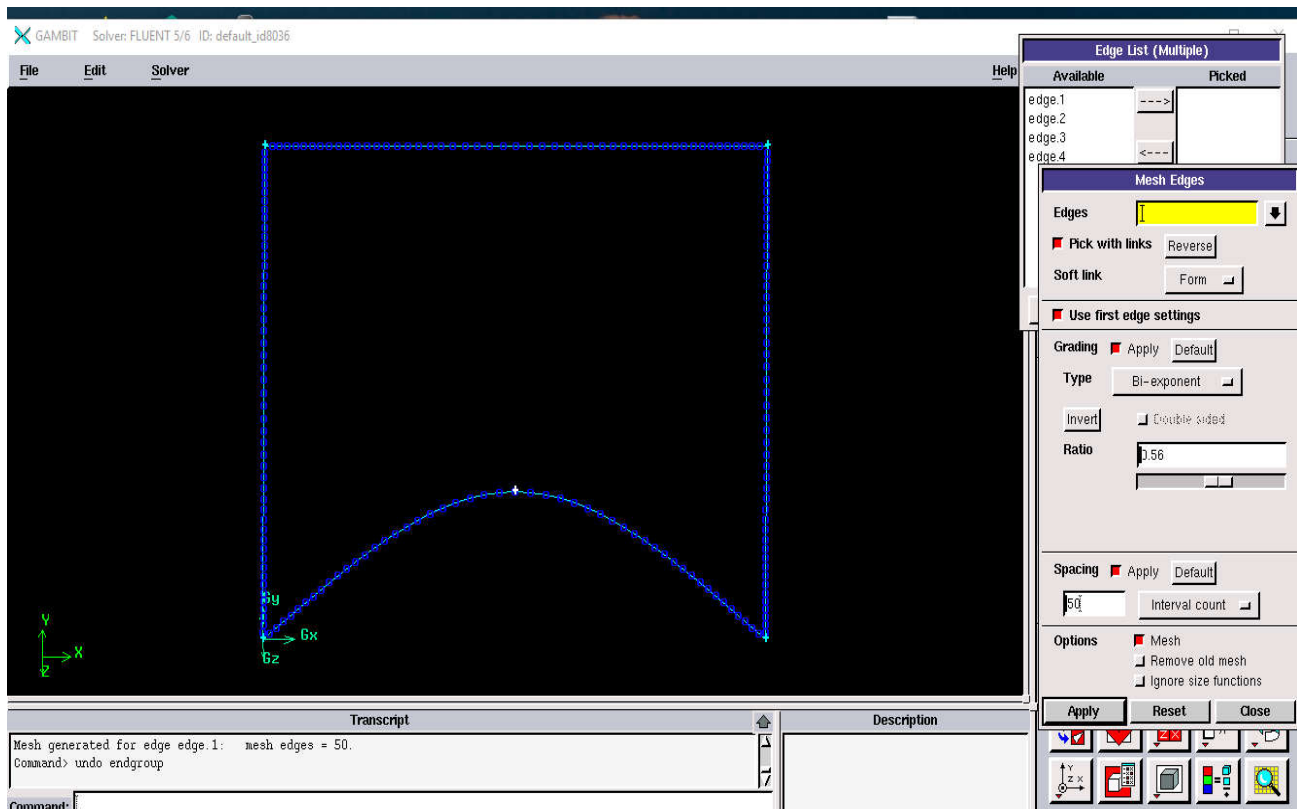
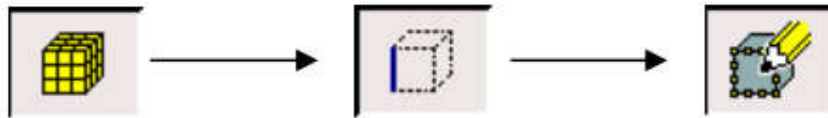
Appuyer sur les boutons ci-dessous successivement pour la création surface :



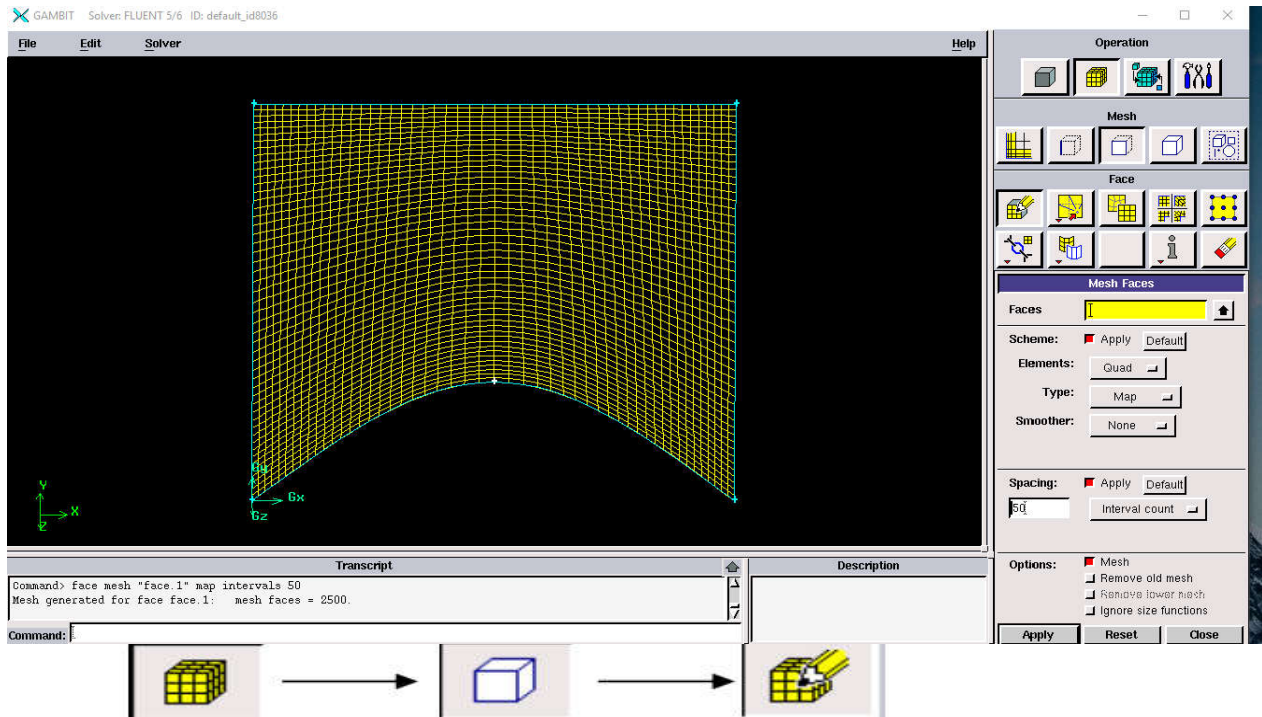
III.5.6. Le maillage du domaine physique:

C'est la subdivision du domaine d'étude en grilles longitudinales et transversales dont l'intersection représente un noeud, ou on trouve les composantes u , v et w du vecteur vitesse qui se trouve au milieu des segments reliant deux noeuds adjacents. La discrétisation du domaine est obtenue par un maillage constitué d'un réseau de points.

III.5.6.1. Maillage des lignes (edges):



III.5.6.2 Maillage des surfaces:



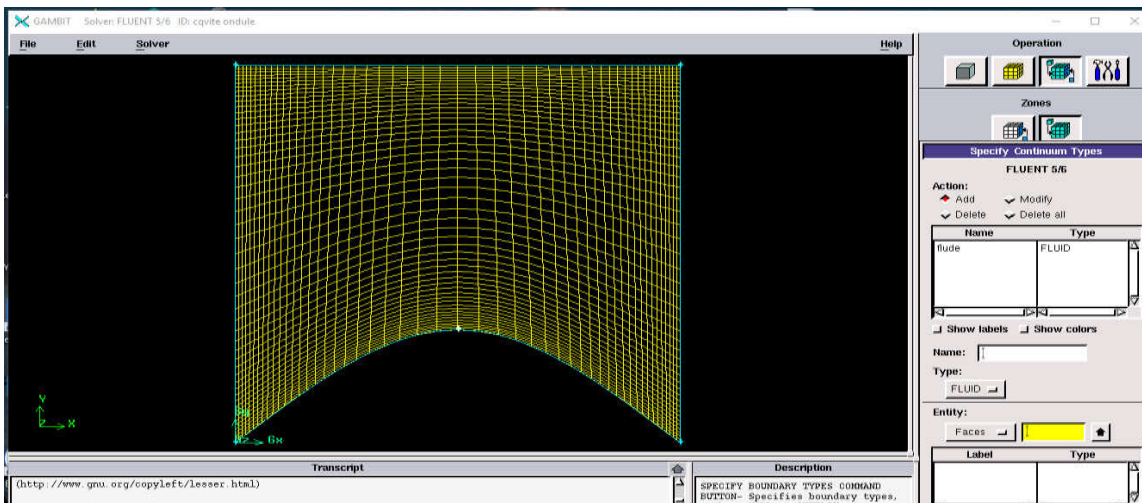
III.5.7. Condition aux limites:

Une fois que la géométrie et le maillage du domaine physique étudié sont définis, nous spécifierons les zones géométriques sur lesquelles nous allons appliquer les conditions aux limites.

Le logiciel GAMBIT propose différents types de condition aux limites. Nous en utilisons trois: vitesse d'entrée, condition de parois, condition à la sortie.

La première condition aux limites est de type "FLUIDE"

-Détermination la zones fluide et la zones solide :



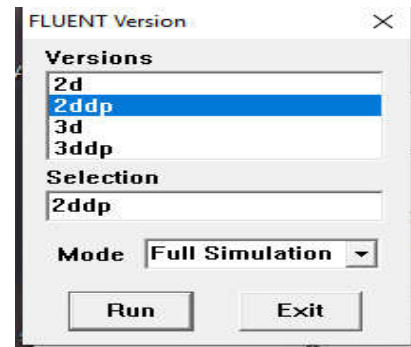
III. 6. La procédure de calcul

par Fluent:

III.6.1. Démarrage de Fluent:

La première chose à faire quand vous entrez sous fluent est de choisir le type de résolution que Fluent va avoir à faire : résolution 2D ou 3D,.

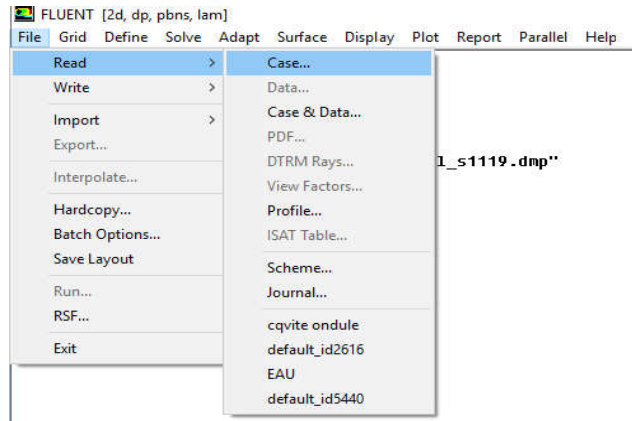
Les étapes de simulation sous Fluent sont les suivantes



III.6.2. Lire le fichier dissipateur.msh:

File > Read > Case

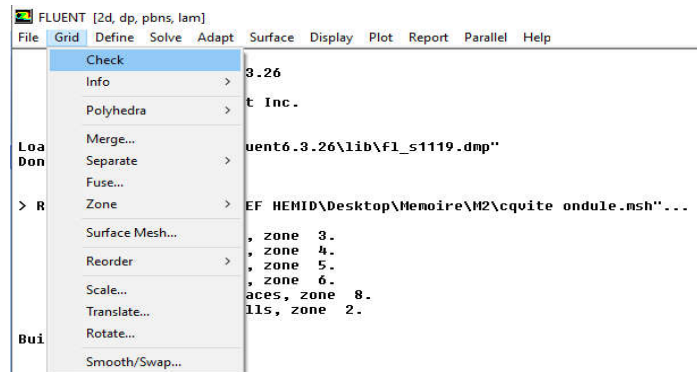
Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (.msh) généré sous Gambit.



III.6.3. Vérification du maillage:

Grid> Check

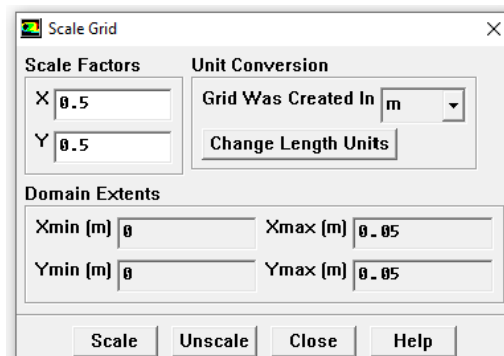
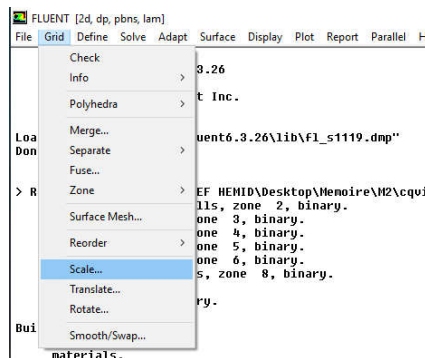
Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs ou de volumes négatifs.



III.6.4. Vérifier l'échelle:

Grid>Scale

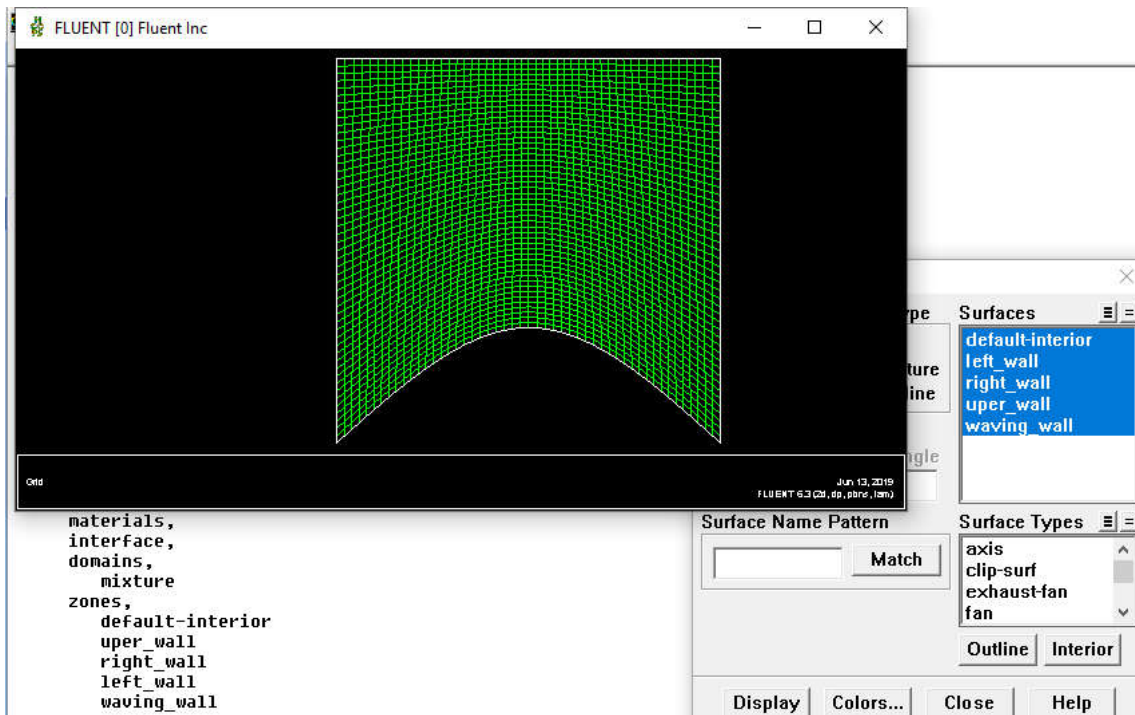
Il faut toujours vérifier que les dimensions affichées correspondent aux dimensions physiques du problème .



III.6.5. Présentation de la géométrie:

Display >Grid

Vous pouvez afficher le maillage et vérifier les conditions aux limites définies au préalable



dans Gambit.

III.6.6. Choix du solveur:

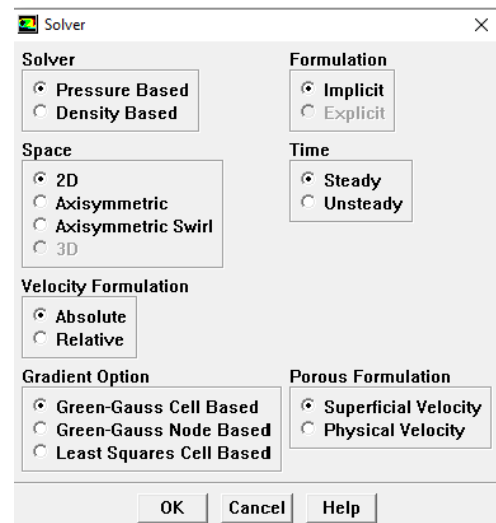
Define>Models>Solver

Sous "Fluent", on peut choisir entre plusieurs formulations du solveur:

- La formulation "Segregated", ou isolée (implicite) : Cette formulation résout les équations de continuité, de quantité de mouvement et quand c'est nécessaire celle de l'énergie séquentiellement, c'est-à-dire isolées les unes des autres (implicite par défaut).

Le solveur isolé est classiquement employé pour les écoulements incompressibles à modérément compressibles.

- La formulation "Coupled", ou couplée (implicite ou explicite) : cette option permet aux équations gouvernantes d'être résolues simultanément, c'est-à-dire couplées les unes avec les autres. Cependant, les autres scalaires, tels que les quantités de la turbulence, sont traités isolément. Initialement, ce mode a été conçu pour les écoulements compressibles à grandes vitesses.

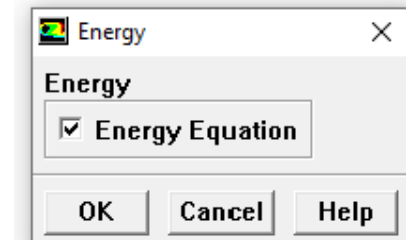


Ceci lui donne un avantage pour le traitement des écoulements hautement couplés (forte interdépendance entre la densité, l'énergie et les moments) avec des forces de volumes (ex. flottabilité et forces de rotation). Il faut signaler que le solveur couplé implicite requiert presque le double de la mémoire qu'utiliserait le solveur isolé, alors que le solveur couplé explicite vient au milieu, en terme de besoins en ressources, mais converge plus lentement que la formulation implicite et n'est conseillé que pour les écoulements instationnaires

III.6.7. Autorisation du transfert de chaleur:

Define>Models>Energy

Formulation de l'équation d'énergie

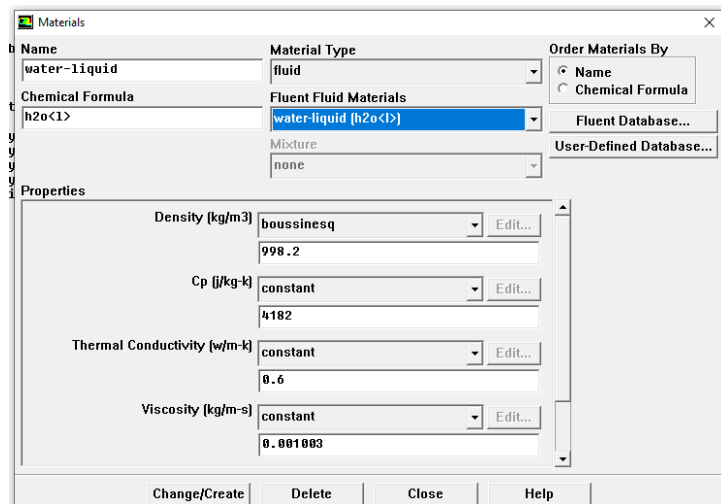


III.6.8. Définir les propriétés des matériaux :

Define>Materials...

C'est le choix du fluide ou solide utilisé avec l'introduction des données concernant les propriétés physiques. Les matériaux et le fluide utilisés pour notre étude sont choisis à partir de la banque de données dans Fluent.

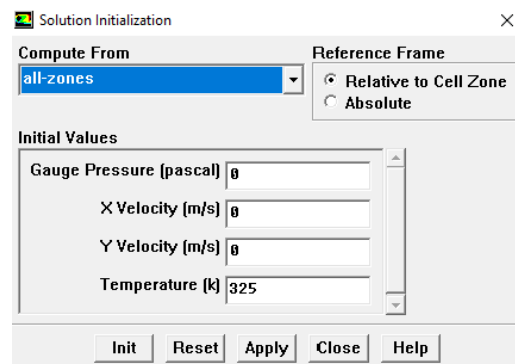
- Nous avons utilisé deux types de fluide l'eau et les nanofluides (eau+TiO₃ et eau+Cu).
- Les matériaux utilisés : pour le dissipateur de chaleur c'est l'aluminium et le silicium pour le composant électronique. L'aluminium existe par défaut dans la banque de données de Fluent, nous avons ajouté le silicium et ses propriétés physiques dans la base de données de Fluent.



III.6.9. Définir les conditions aux limites:

Define>Operating condition

Fluent prend par défaut la valeur de la pression atmosphérique comme opérating pressure, en défini la gravite suivant l'axe y.



Define>Boundary Conditions...

Les conditions aux limites pour chaque frontière seront définies avec la fenêtre Boundary condition, après avoir sélectionné chaque fois, la frontière concernée et faire rentrer les conditions aux limites de cette dernière ensuite valider.

Il faut fixer les conditions aux limites:

-Wall: est utilisé pour délimiter les régions solides des fluides, en générale on utilise les propriétés d'une paroi lisse.

paroi droit $T= 350 \text{ k}$ et $u=v=0$

paroi gauche $T= 300 \text{ k}$ et $u=v=0$

les parois haute et basse adiabatiques $dT/dy=0$

III.6.10. Les facteurs de sous- relaxation:

Le facteur de sous-relaxation α est utilisé pour stabiliser le processus itérative et éviter la divergence dû à la forte variation de valeurs entre deux itération successive, définis en générale par:

$$\Phi_{\text{new}} = \Phi_{\text{old}} + \alpha \Delta \Phi$$

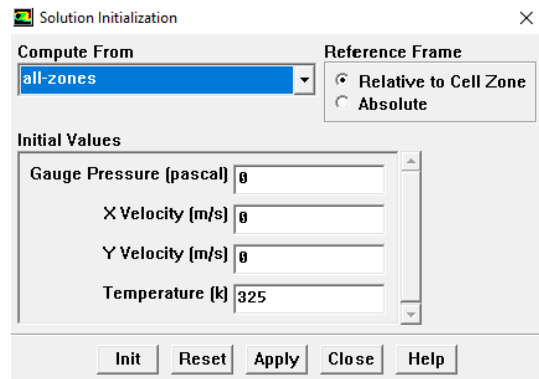
Les facteurs de sous relaxation sont compris entre 0 et 1.

Les valeurs de sous-relaxation sont données dans le tableau suivant:

III.6.11. Initialisation du calcul

Solve>Initialize>Initialize...

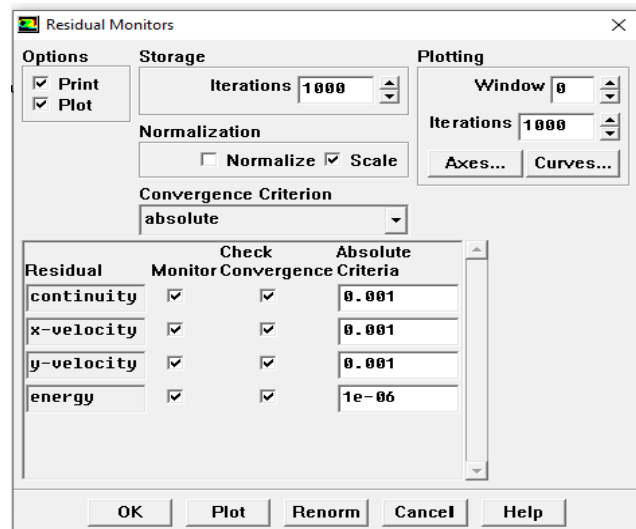
Initialiser le champ d'écoulement pour la valeur à l'entrée



III.6.12. Choix du résidu

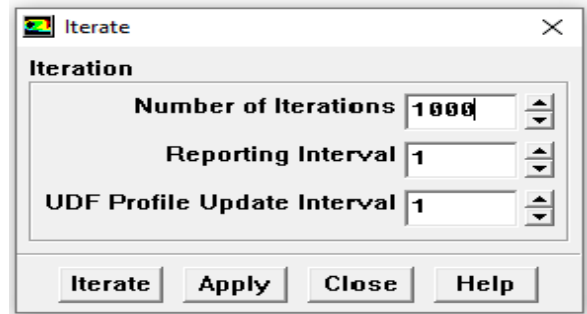
Solve> Monitors >Residual...

Pour activer le tracé des résidus et observer la convergence de notre solution on sélectionne print et plot. En général une décroissance en magnitude des résidus indique une convergence au moins qualitative.



III.6.13. Calcul: Solve > Iterate

On choisit un nombre d'iteration et clique sur « iterate ». Vous recliquez sur « iterate » tant que vous ne voyez pas de plateau sur le graphique des résidus affiché par Fluent.



III.6.14. Visualisation des résultants :

Display > Contours

Display > vecteur

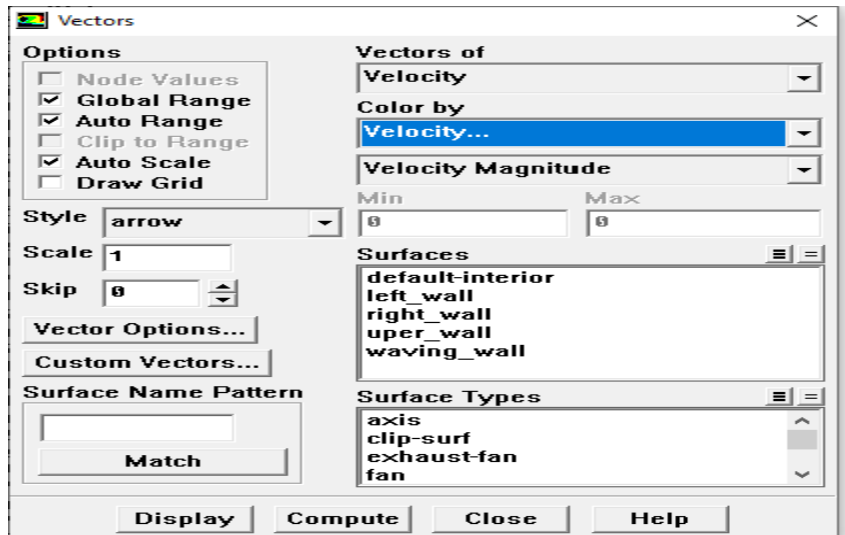
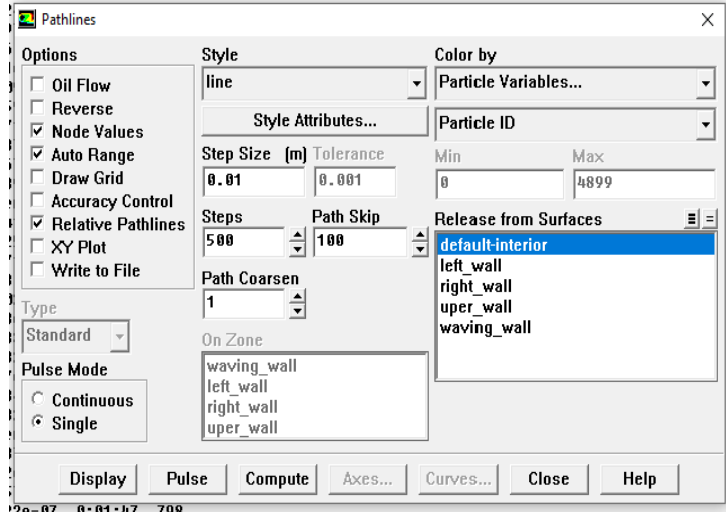
Display > pathlines

Ces options permettent de déterminer les vecteurs des variables, traçage des profils, ligne de courant.

Le logiciel Fluent fournit des outils intégrés de post-traitement. Toutefois, rien

n'interdit d'exporter les données dans divers formats afin de les traiter sous d'autres logiciels

tels que : TECPLOT pour la visualisation, ou Origin pour une analyse plus poussée.



III.6.15. Sauvegarde de fichier :

File > Write > Case & Dat

III.8. Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons présenté Gambit et le code calcul Fluent ainsi que les étapes de simulation en utilisant le preprocesseur Gambit pour créer la géométrie et maillage et le code Fluent pour la résolution des équations gouvernantes. Les résultats de ces simulations seront présentés dans le chapitre suivant

Chapitre IV

Résultats et Discussions

IV.1.Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats obtenus par la simulation numérique en utilisant le logiciel Fluent relatives à la convection laminaire dans les deux configurations étudiées : cavités à parois ondulées pour l'eau et les nanofluides (eau et eau +TiO₂ et eau+Cu eau+Al₂O₃).

Nous présentons pour chaque configuration, les contours de la température et les vecteurs vitesses ainsi que les lignes de courant en fonction de la fractions volumiques dans le cas des nanofluides.

Pour présenter les résultats de simulation, on a utilisé Fluent.

IV.2. Les paramètres utilisés :

Les propriétés physiques de fluide de base utilisée l'eau :

- Masse volumique : $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$.
- La capacité calorifique : $C_p = 4182 \text{ J/kg.K}$.
- Conductivité thermique $\lambda = 0.6 \text{ W/kg.K}$.
- Viscosité dynamique $\mu = 1.003 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$

Les propriétés physiques des nanofluides utilisés :

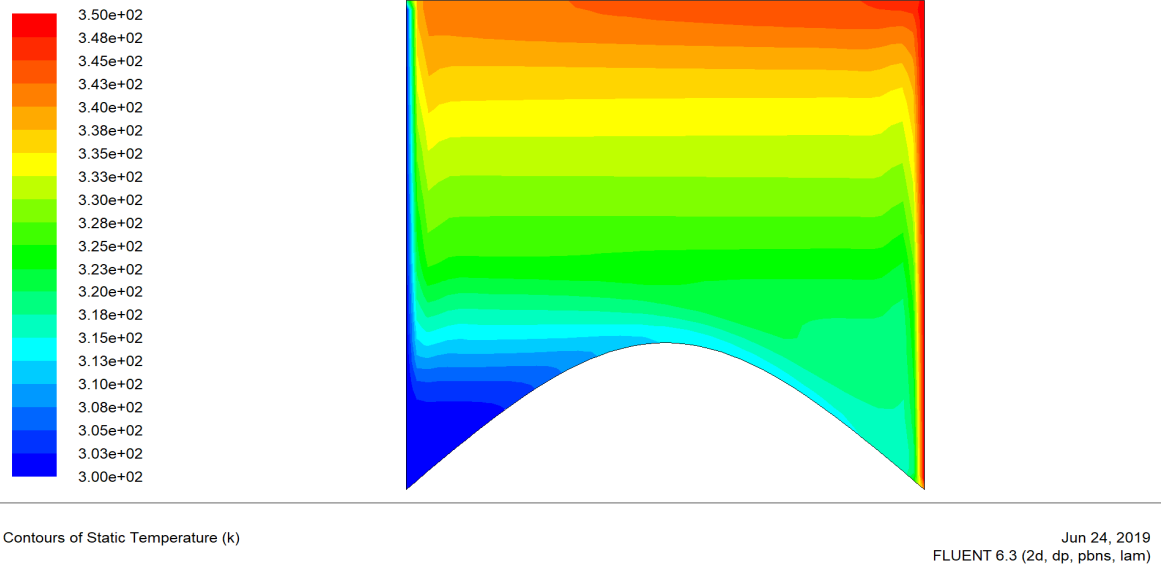
Les propriétés physiques du nanofluide (dioxyde de titane TiO₂ + eau , eau+Cuivre,Al₂O₃) avec différentes fractions volumiques :

	ρ	C_p	λ	μ	β
au+Tio3	1160.79	3542.04144	0.67722201	0.00114023	0.000019995
eau+cu	1394.94	2966.22724	0.69428954	0.00114023	0.000020785
eau+Al2o3	1146.79	3590.54516	0.69039001	0.00114023	0.000019988

IV.2. Countoure de temperature :

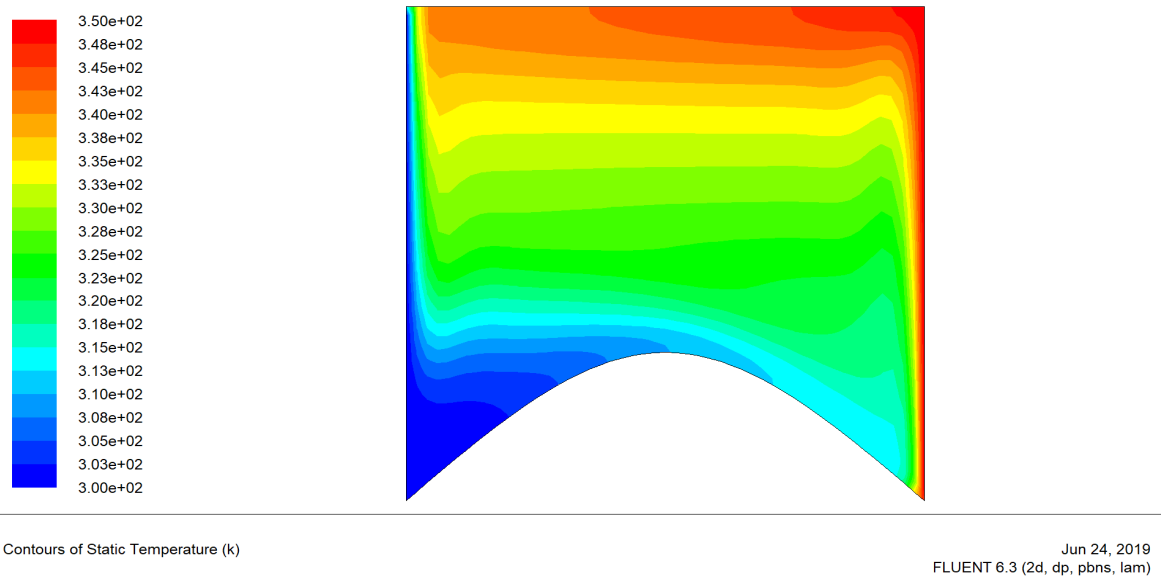
La figure (IV.Fig .3,4,5,6) présente les contours de température dans une cavités à parois ondulées. On remarque que les parois gauche et droite sont respectivement froide et chaude et les parois haute et basse ondulée sont adiabatiques..

eau



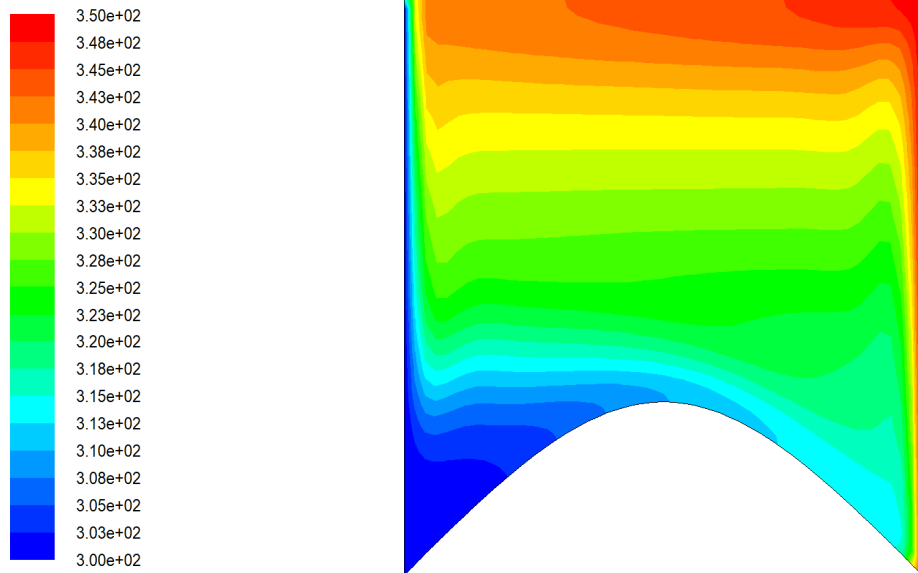
- IV .Fig.3 : Les contours de la température pour l'eau

Tio3+eau



IV .Fig.4 : Les contours de la température pour Tio3+eau

Cu+eau

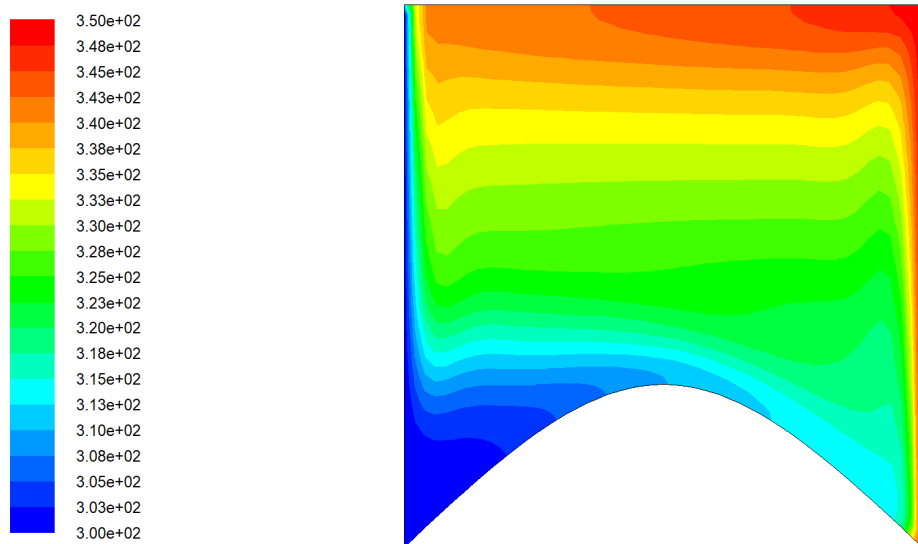


Contours of Static Temperature (k)

Jun 24, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.5 : *contours de la température pour Cu+eau*

Al2o3+eau



Contours of Static Temperature (k)

Jun 24, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

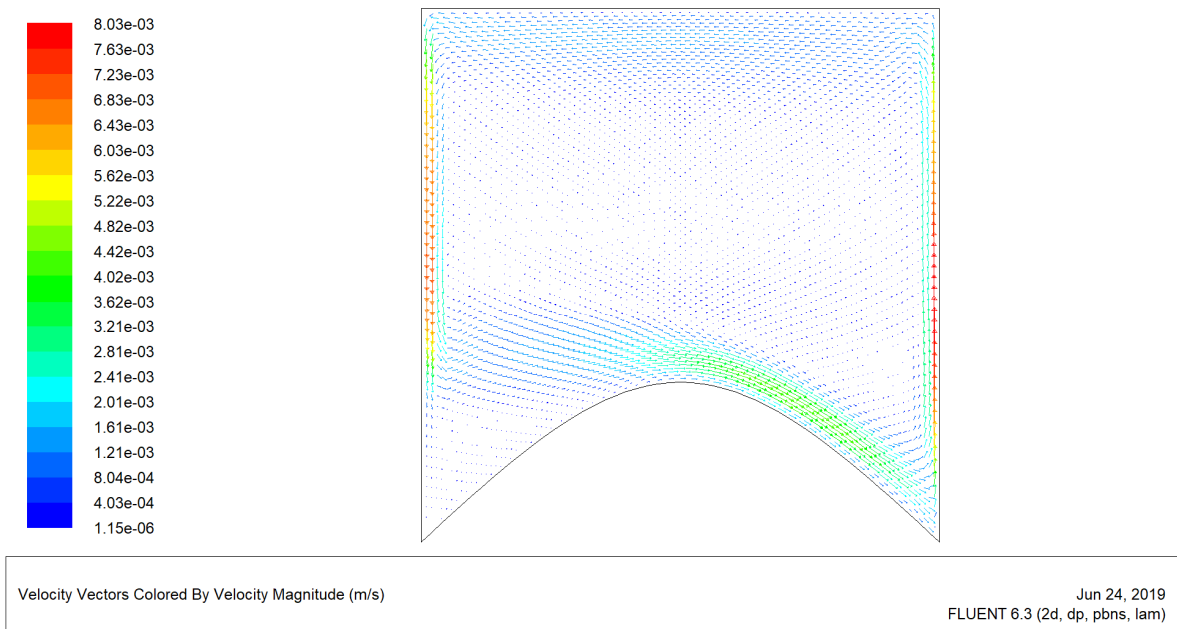
IV .Fig.6 : *contours de la température pour Al2o3+eau*

IV.2.3.VECTOUR DE VITESE :

Pour avoir des détails importants sur les structures de l'écoulement, les champs des vitesses sont présenté dans les figures suivants :

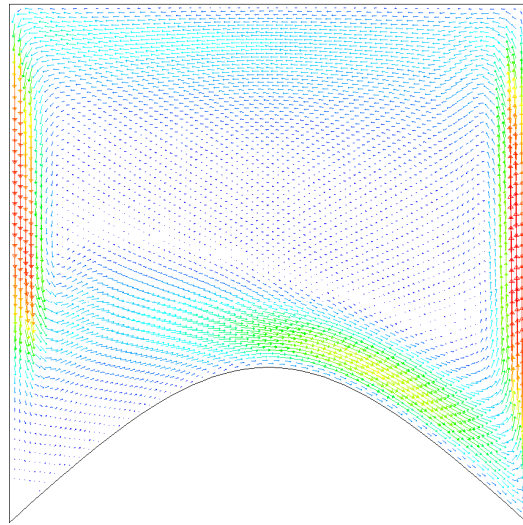
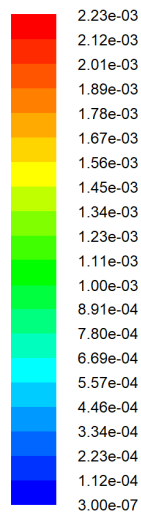
Les figures (IV.Fig .7,8,9,10) . On remarque que la vitesse augmente en paroi droite augmente et elle diminue à les autres parois pour tout les nanofluides et le nanofluides (eau+Al₂O₃) plus grand que les autres tandis elle devient donc quand la chaleur augmente la vitesse du tout nanofluides augmente et le nanofluides (Al₂O₃) plus grand que les autres quand la masse volumique et faible

Eau



IV .Fig.7 : Vue isométrique des contours de vitesse pour l'eau

Tio3+eau

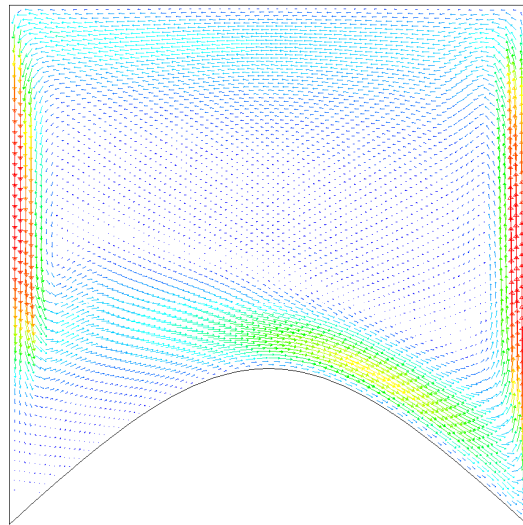
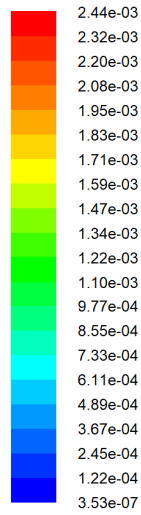


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Jun 24, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.8 : Vue isométrique des contours de vitesse pour Tio3+eau

Cu+eau

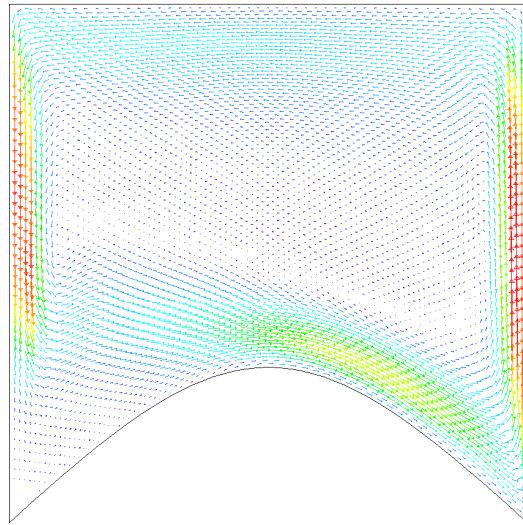
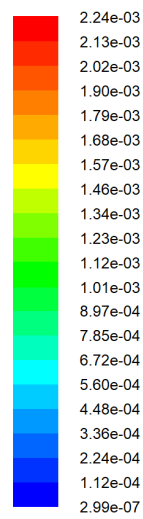


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Jun 24, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.9 : Vue isométrique des contours de vitesse pour Cu+eau

Al₂O₃+eau



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

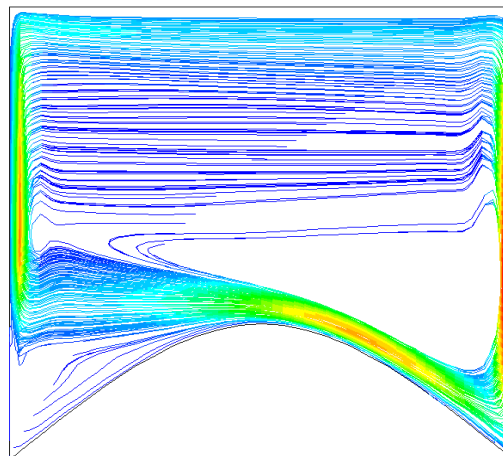
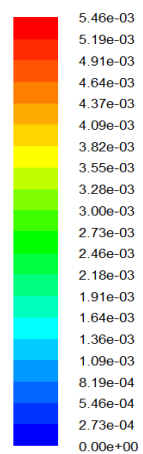
Jun 24, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.10 : Vue isométrique des contours de vitesse pour Al₂O₃+eau

IV.2.4.LINE DE COURANT :

Pour avoir des détails importants sur les structures de l'écoulement, les lignes du courant sont présentés dans les figures suivantes :

Les figure (IV.Fig .11,12,13,14) représente les lignes de courants à cause des faibles vitesses d'écoulement, les fluides restent attachés au cavité et il n'y a pas de d'écoulement. L'écoulement est presque symétrique pour chaque paroi de cavité par rapport à les parois basse le même forme du cavitéEau

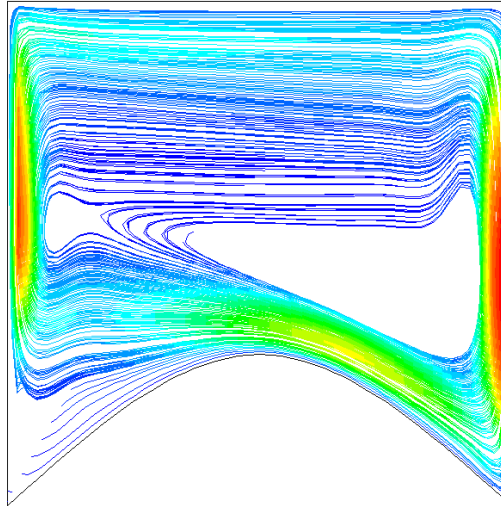
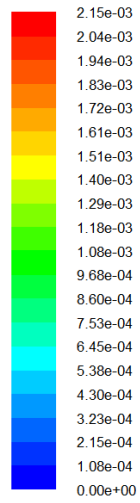


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s)

Jun 23, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.11 : Vue isométrique des contours de lignes de courant pour l'eau

Tio3+eau

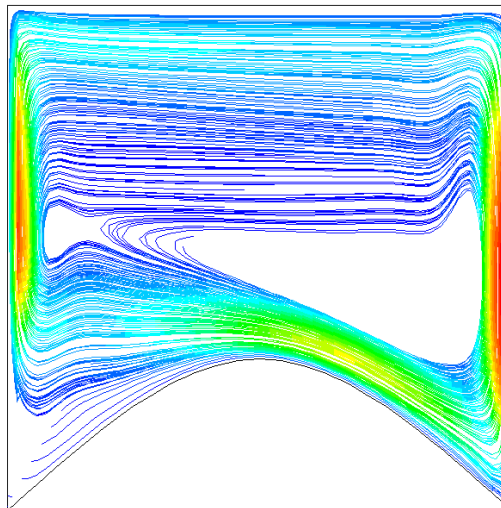
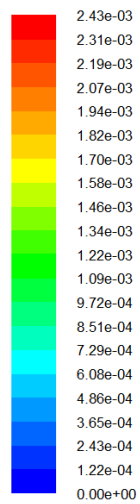


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s)

Jun 23, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.12: Vue isométrique des contours de lignes de courant pour Tio3+eau

Cu+eau

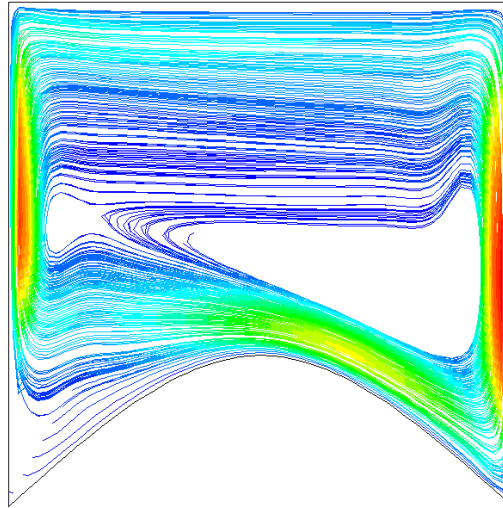
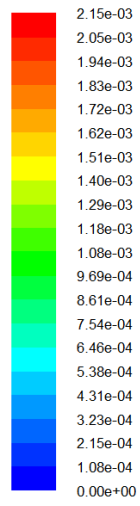


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s)

Jun 23, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.13 : Vue isométrique des contours de lignes de courant pour Cu+eau

Al2o3+eau



Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s)

Jun 23, 2019
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, lam)

IV .Fig.14 : Vue isométrique des contours de lignes de courant pour Al2o3+eau