



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

N° :DP202307ME

Université 20 août 1955-Skikda

Faculté des Sciences

Département de Physique

Mémoire de Master

Filière : Physique

Spécialité : Physique Energétique et Energie renouvelables

Thème

Modélisation du transfert de chaleur dans un écoulement
périodiquement inversé

Présenté par :

KAOUANEFADIA

Soutenu le : 04 /07 /2023. devant le jury composé de :

K. Bourrich	M.A	Université de Skikda	Président
T. Chelirem	M.A	Université de Skikda	Rapporteur
M.LHamida	M.A	Université de Skikda	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Avant tout, je dois remercier Dieu le tout puissant qui m'a

Donné la force pour réaliser ce travail.

Le grand merci à mon encadreur Monsieur T. Chelireme

Pour son aide durant la résolution de ce mémoire.

Je tiens également à remercier les membres du jury

Pour l'honneur M L. Hamida et Madame K. Bourrich

Qu'ils m'ont accordé en acceptant de juger mon travail.

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants du département

De Physique, qui ont contribué à ma formation.

DEDICACE

Je dédie ce présent mémoire

A mes chers parents qui ont toujours veillés sur moi,

Mes sœurs, mes frères

Tous ceux qui me sont chers

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour

L'achèvement de ce modeste travail.

Résumé

Ce travail porte sur l'utilisation d'un mécanisme d'écoulement oscillatoire pour améliorer le transfert de chaleur. L'idée sous-jacente est d'induire une oscillation de la paroi d'extrémité de l'une des deux extrémités connectées d'un échangeur de chaleur qui induira efficacement une oscillation de la couche limite à l'intérieur du canal. Il existe de nombreuses applications pour cette recherche, telles que l'élimination de la chaleur des réacteurs chimiques, des appareils électriques, etc. De nombreux paramètres peuvent être modifiés pour maximiser le transfert de chaleur par convection. Ces paramètres comprennent l'amplitude et la fréquence d'oscillation, ainsi que le rayon et la longueur du conduit.

Dans ce mémoire, les résultats d'études dans le temps réalisées à l'aide de la dynamique des fluides sont présentés. Ces résultats simulent la diffusion et la convection de l'énergie dans un fluide. Le modèle se compose d'un canal, une paroi de piston oscillante sur l'une des extrémités le canal est chauffé par le bas à travers un solide. Plusieurs études de cas sont effectuées sur l'amélioration du transfert de chaleur en fonction du déplacement du piston par rapport au diamètre du canal. Contrairement aux études précédentes qui ont été entreprises à l'aide d'une analyse asymptotique, les modèles et résultats actuels intègrent des effets d'entrée complets.

Des calculs ont été réalisés pour analyser l'effet des oscillations sur le transfert de chaleur. Les simulations consistent à modifier la fréquence pour analyser leur effet sur le transfert de chaleur entre les deux extrémités. Les résultats suggèrent que le transfert de chaleur est amélioré en fonction de la fréquence et qu'il devrait y avoir un point optimal. Les résultats sont présentés sous forme de tracés de densité et de champs de température et de vitesse ainsi que des tracés des températures en fonction de la fréquence.

Abstract

This work focuses on the use of an oscillatory flow mechanism to enhance heat transfer. The idea behind it is to induce end wall oscillation of one of the two connected ends of a heat exchanger which will effectively induce boundary layer oscillation inside the channel. There are many applications for this research, such as heat removal from chemical reactors, electrical appliances and other environments, underground facilities, etc. Many parameters can be changed to maximize convective heat transfer. These parameters include the amplitude and frequency of oscillation, as well as the radius and length of the conduit.

In this thesis, the results of time studies carried out using fluid dynamics are presented. These results simulate the diffusion and convection of energy in a fluid. The model consists of a channel, an oscillating piston wall on one end the channel is heated from below through a solid. Several case studies are carried out on the improvement of heat transfer as a function of the displacement of the tide with respect to the diameter of the channel. Unlike previous studies that were undertaken using asymptotic analysis, the current models and results incorporate full entry effects.

Calculations were performed to analyze the effect of oscillations on heat transfer. The simulations consist of changing the frequency to analyze their effect on the heat transfer between the two ends. The results suggest that heat transfer is enhanced as a function of frequency and there should be an optimum point. The results are presented as density and vector plots of temperature and velocity fields as well as plots of temperature versus frequency.

المخلص

يركز هذا العمل على استخدام الية تدفق التذبذب لتعزيز نقل الحرارة . تكمن الفكرة في إحداث تذبذب في الجدار الطرفي لأحد الطرفين المتصلين لمبادل حراري ، مما يؤدي بشكل فعال إلى تذبذب الطبقة الحدودية داخل القناة . هناك العديد من التطبيقات لهذا البحث، مثل إزالة الحرارة من المفاعلات الكيميائية والاجهزة الكهربائية، وما إلى ذلك يمكن تغيير العديد من المعلمات لتعزيز نقل الحرارة بالحمل الحراري تتضمن هذه المعلمات سعة التذبذب وتردده بالإضافة إلى نصف قطر القناة وطولها.

في هذا البحث يتم عرض نتائج الدراسات التي اجريت بمرور الوقت باستخدام ديناميكيات الموائع. هذه النتائج تحاكي انتشارا وحملالطاقة في السائل. يتكون النموذج من قناة وجدار مكبس متذبذب على أحد طرفيه يتم تسخين القناة من الاسفل من خلال مادة صلبة. تم إجراء العديد من دراسات الحالة حول تحسين نقل الحرارة كدالة لإزاحة المكبس بالنسبة لقطر القناة على عكس الدراسات السابقة التي اجريت باستخدام التحليل المقارب.

تم إجراء الحسابات لتحليل تأثيرات التذبذبات على انتقال الحرارة . تتكون عملية المحاكاة من تغيير التردد لتحليل تأثيرها على انتقال الحرارة بين الطرفين تشير النتائج الى نقل الحرارة يتم تعزيزه كدالة للتردد ويجب أن تكون نقطة مثالية يتم تقديم النتائج على شكل مخططات للكثافة ودرجة الحرارة وحقول السرعة بالإضافة الى مخططات درجة الحرارة بدلالة التردد.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	II
DEDICACE.....	III
RÉSUMÉ.....	IV
TABLE DES MATIÈRES	VI
LISTE DES FIGURES.....	VIII
NOMENCLATURE.....	IX
CHAPITRE I.....	1
Introduction.....	1
CHAPITRE II.....	3
Contexte théorique.....	3
2.1 Contexte.....	3
2.2. Équations gouvernantes	5
2.2.1 Equation de conservation de masse	6
2.2.2 Equations de conservations de quantité de mouvement	6
2.2.3 Equation de conservation d'énergie.....	7
2.3. Condition aux limites.....	8
CHAPITRE III.....	9
Résultats et discussion.....	9
3.1. Variation de la température en fonction du temps.....	9
3.2. Variation de la température en fonction de (y)	10
3.3. Température en fonction de la fréquence.....	10
3.4. Courbes de densités.....	12

3.4.1. Température.....	12
3.4.2. Vitesse.....	14
3.5. Validation des résultats.....	17
3.6. Analyse des résultats.....	17
3.7. Distribution de vitesse.....	18
CHAPITRE IV	19
Conclusion.....	19
REFERENCES.....	20
ANNEXE.....	22

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : schéma éclaté d'un flux bouillant dans un dissipateur thermique multi-micro canaux pour le refroidissement de composants électroniques.....	2
Figure II.1 : Géométrie du problème considéré.....	6
Figure III.1 : Température en fonction du temps au point $\{0.5L,0\}$	9
Figure III.2 : variation de la température en fonction de (y)	10
Figure III.3 : Température en fonction de la fréquence.....	10
Figure III.3 : Courbes de densités de la Température.....	14
Figure III.4 : Courbes de densités de la Vitesse.....	14
Figure III.5 : Résultat donne par Comsol.....	17
Figure III.6 : résultat obtenu par mathematica.....	17
Figure III.7 : Comparaison entre la distribution de température pour différentes fréquence.....	17

NOMENCLATURE

L : longueur du canal (m)

d : profondeur du fluide (m)

e : profondeur du solide (m)

ℓ : longueur sans dimension (m)

ρ_f : masse volumique du fluide (Kg.m^{-3})

ρ_s : masse volumique du solide (Kg.m^{-3})

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

η : viscosité cinématique ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

k_s : conductivité du solide (W/m K)

k_f : conductivité du liquide (W/m K)

c_f : capacité calorifique du fluide (J/kg. K)

c_s : capacité calorifique du solide (J/kg. K)

c_p : capacité calorifique à pression constante (J/kg. K)

α_f : diffusivité thermique du fluide ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

α_s : diffusivité thermique du solide ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

u : vitesse d'écoulement (m.s^{-1})

q : flux de chaleur (W)

T : température de fluide (K)

t : temps dimensionnel (s)

p : la pression (Pa)

Pr : nombre de Prandtl

N_x : nombre d'éléments dans la direction x

N_{y_f} : nombre d'éléments dans la direction y dans le fluide

N_{y_s} : Nombre d'éléments dans la direction y dans le solide

H_y : dimension linéaire de l'élément dans le fluide

u : composante de la vitesse suivant la direction x (m.s^{-1})

v : composante de la vitesse suivant la direction y (m.s^{-1})

x, y : coordonnées d'espace dimensionnelles(m)

CHAPITRE I

Introduction

Ce travail porte sur l'utilisation d'un mécanisme d'écoulement oscillatoire pour améliorer le transfert de chaleur. L'idée sous-jacente est d'induire l'oscillation au niveau de la paroi d'extrémité de l'une des deux chambres connectées d'un échangeur de chaleur, ce qui induira efficacement une oscillation de la couche limite à l'intérieur du conduit de connexion. Il est proposé d'étudier une nouvelle méthode pour l'élimination améliorée de la chaleur d'un système fermé. Une meilleure évacuation de la chaleur est nécessaire lorsqu'une forte génération de chaleur se produit, comme dans les systèmes de production d'électricité, le fonctionnement des piles à combustible, les cycles électriques et même dans le traitement des matériaux.

L'élimination de cette chaleur est importante pour un bon contrôle thermique de l'habitation humaine. Une telle technologie a également des utilisations dérivées dans les applications terrestres telles que la stabilité thermique des réacteurs chimiques, l'élimination de la chaleur des appareils électriques et d'autres environnements clos tels que les sous-marins, les installations souterraines, etc. L'élimination de la chaleur des cabines confinées et des habitats spatiaux est d'une immense importance pour de nombreuses applications afin d'assurer un contrôle thermique approprié. Actuellement, de nombreux sous-systèmes thermiques impliquent des processus de transfert de fluide et de chaleur à une seule phase ; mais la nécessité d'améliorer les rapports énergie-masse et la disponibilité de futurs engins spatiaux qui produiront de grandes quantités d'énergie et d'énergie perdue, comme ceux basés sur le nucléaire, poussent à passer à des opérations en deux phases.

Par conséquent, la conception de sous-systèmes thermiques importants pour les applications futures telles que les chaudières, les condenseurs, les évaporateurs, les échangeurs de chaleur, les séparateurs de phases, les unités de stockage de fluides normaux et cryogéniques, les piles à combustible, les radiateurs et les caloducs impliquera tous un écoulement de fluide multiphase complexe et une microgravité de transport questions. Il existe un besoin réel et immédiat de recherche fondamentale et de développement technique dans ce domaine.

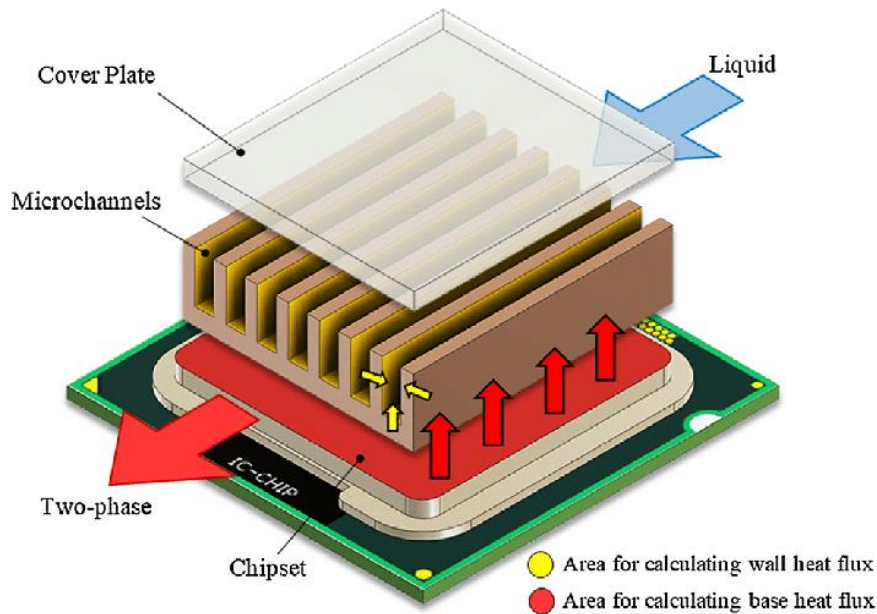


Figure II.1 : schéma éclaté d'un flux bouillant dans un dissipateur thermique multi-micro canaux pour le refroidissement de composants électroniques.

L'utilisation d'un modèle bidimensionnel de dynamique des fluides pour simuler un écoulement oscillatoire entraîné par le mouvement d'un piston est l'objectif principal de ce mémoire. Ce modèle simule un dispositif physique composé de deux chambres reliées par un conduit cylindrique.

Le code Mathematica a été utilisé pour toutes les modélisations. L'étude révèle une amélioration du transfert de chaleur sous mouvement oscillatoire, confirmant les résultats théoriquement prédits.

CHAPITRE II

Contexte théorique

2.1 Contexte

De nombreux chercheurs ont étudié le mécanisme d'écoulement oscillatoire en utilisant la méthode de transfert d'énergie. Une nouvelle technologie a été développée pour l'amélioration du transfert de chaleur par oscillation sinusoïdale d'un fluide par Kurzweg [1-3]. Cette technologie a montré qu'elle est fortement améliorée en imposant une oscillation sinusoïdale dans un tuyau reliant des réservoirs chauds et froids aux deux extrémités. De plus, l'utilisation de techniques d'écoulement oscillatoire peut améliorer le transfert de chaleur par convection forcée dans les tubes .[4-6]

De plus, l'évacuation de la chaleur de la machine à vapeur et de la turbine était le gros problème auquel les ingénieurs étaient confrontés. Par conséquent, de nombreuses études et conceptions expérimentales de caloducs ont commencé à se développer après avoir reconnu le caloduc comme un développement important dans la technologie de transfert de chaleur, comme ce que Kurzweg et Zhao ont développé en (1984).[1]

De plus, de nombreuses études différentes des recherches plus récentes de Chatwin [7], Kurtweg [8], Wastson [9] et Jaeger [10], ainsi que Taylor [11] ont montré qu'il y a dispersion des contaminants ou des constituants gazeux dans les écoulements laminaires visqueux stables et oscillatoires dans les tuyaux à des taux beaucoup plus élevés que ceux suggérés sur des bases de diffusion moléculaire pure. Il a été prouvé que l'interaction de la distribution de la vitesse visqueuse dépendante du flux transversal et de la distribution radialement dépendante pouvait produire une diffusion accrue dans les flux d'un côté où il y a une concentration élevée à un autre avec une faible concentration. D'après leurs études, Kurzweg et Jeager ont reconnu "qu'il devrait y avoir un processus de diffusion amélioré équivalent se produisant dans le domaine du transfert de chaleur en raison de la similitude entre les équations de diffusion et de conduction thermique" [8].

Dans ce mémoire, l'idée est d'améliorer le transfert de chaleur en utilisant un mécanisme d'écoulement oscillatoire. Contrairement aux études de séparation des espèces de dispersion axiale dans les écoulements stationnaires qui ont étudié le phénomène d'amélioration du transport des espèces, le transfert de chaleur dans notre cas se produit par le transfert

d'énergie. Le transfert de chaleur passe du réservoir chaud au réservoir froid soit par conduction normale s'il n'y a pas de force externe (piston), soit par convection forcée et conduction normale si une oscillation est appliquée.

Bien qu'il existe une différence entre le transfert de masse et le transfert d'énergie dans l'application, le principe de diffusion est toujours le même et seul il peut être décrit par l'équation d'énergie et l'équation de transfert de masse. L'idée derrière ce travail remonte aux études sur l'hyperventilation réalisées il y a plus de 40 ans et à la mise en œuvre de la technologie dans les environnements hospitaliers pour fournir une assistance vitale aux patients sous anesthésie.

Cependant, ce n'est que ces dernières années que la physique sous-jacente de l'écoulement oscillatoire appliquée au transfert de chaleur est en train d'être comprise. Cela a donné l'opportunité d'appliquer cette technique à de nouveaux moyens d'améliorer le transfert de chaleur jusqu'à 20 000 fois par rapport à la conduction moléculaire sans utiliser de métaux qui sont généralement assez lourds. Le phénomène d'amélioration du transport des contaminants a été initialement étudié par Taylor [11] et Aris [12] dans des études de dispersion axiale dans des écoulements stables. C'est à partir de ces résultats que nous apprenons que le transfert de chaleur peut être considérablement amélioré.

L'idée de la technologie proposée est basée sur a) notre expérience actuelle sur le transfert de masse amélioré à l'aide d'un flux oscillatoire et b) le travail théorique effectué par Kurzweg et ses collègues de l'Univ. De Floride. L'idée est d'améliorer le transport de chaleur bien au-delà de la conduction thermique. Imaginez un tuyau de raccordement entre les réservoirs gauche et droit contenant du liquide. Ce fluide est simplement un transporteur de chaleur des réservoirs de gauche à droite. S'il n'y avait pas de mouvement dans le fluide, alors la chaleur se transmettra par conduction moléculaire. Si le fluide a été délibérément mis en mouvement oscillatoire, une forte pointe dans le profil sera créée lorsque le fluide se déplace de gauche à droite. Le pic aigu du profil de vitesse génère plus de surface pour le transfert de chaleur et permet à la chaleur de se diffuser du noyau à la limite. Dans le cycle inverse, la chaleur des extrémités (qui sont généralement isolées de la chaleur) se diffuse vers le noyau plus frais et le processus se poursuit là où la chaleur se déplace en zigzag du réservoir source au réservoir évier. Cette méthode peut améliorer le transfert de chaleur jusqu'à 20 000 fois ou plus que la conduction moléculaire.

De plus, il n'y a pas d'écoulement net entre les réservoirs. Le dissipateur thermique peut être un caloduc ou des radiateurs externes. Cette technique pourrait donc être utilisée en liaison avec un caloduc ou, dans certains cas, devenir un remplacement des caloducs. L'énergie requise pour pomper le flux est calculée comme étant d'environ 10 à 5 fois la quantité nette transférée et ceci est pratiquement insignifiant compte tenu de l'avantage d'une évacuation rapide et importante de la chaleur. Avec une architecture d'ingénierie appropriée, le mécanisme d'oscillations peut être accroché à un volant d'inertie à partir de moteurs existants à bord, éliminant ainsi le besoin de masse supplémentaire. Les matériaux de construction du dispositif peuvent être constitués de composites légers et, selon les températures de travail, le fluide de travail peut être de l'eau ou des huiles de silicone. Pour les applications à haute température, d'autres fluides peuvent être utilisés.

2.2.Équations gouvernantes

On a un problème couplé de transfert de chaleur et d'écoulement de fluide. Un canal plan épais est chauffé avec un flux constant depuis le fond (à $y=-e$) avec un flux de chaleur constant q comme indiqué sur la figure ci-jointe. Le canal chauffé est soumis à un écoulement alternatif de vitesse $U(t) = u_{max} \sin(2\pi ft)$. La vitesse d'écoulement a une moyenne de 0, ce qui signifie que pour la première moitié du cycle, elle atteint u_{max} et dans la seconde moitié atteint $-u_{max}$. Dans l'expression de la vitesse, le terme f représente la fréquence du flux oscillant. Ainsi, la période de temps de l'écoulement est $\tau=1/f$. Cela indique que pour $0 < t < \tau/2$, la frontière à $x=0, 0 < y < d$ agit comme l'entrée, tandis que pour la seconde moitié, c'est-à-dire $\tau > t > \tau/2$ la frontière à $x=L, d > y > 0$ est l'entrée. Le plan supérieur ($y=d, 0 < x < L$), la face solide gauche ($x=0, 0 > y > -e$) et la face solide droite ($x=L, -e < y < 0$) sont tous isolés. Les domaines solide et fluide sont couplés par la continuité de la température et du flux à l'interface ($y=0$).

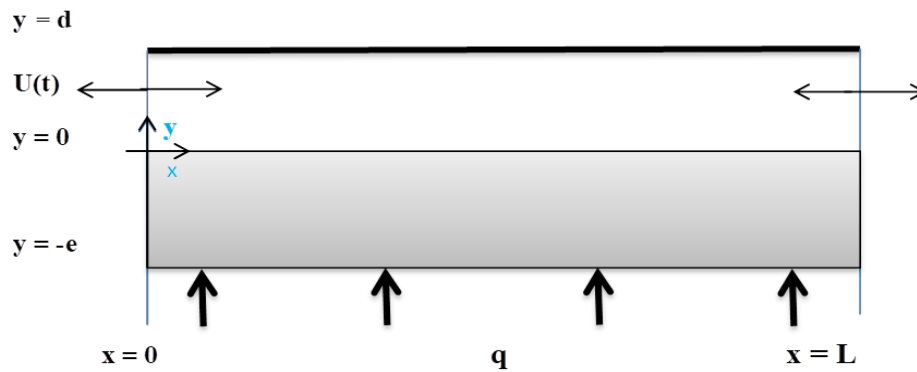


Figure II.2: Géométrie du problème considéré

***Fluide**

2.2.1. Equation de conservation de la masse

Cette équation traduit le principe de conservation de la masse et s'exprime mathématiquement sous la forme suivante [13]:

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

Pour un processus permanent et un fluide incompressible, l'équation (II .1) se traduit par :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.2})$$

Pour un écoulement bidimensionnel l'équation devient :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.3})$$

Où : u et v représente, respectivement, les composantes longitudinale et transversale de la vitesse.

2.2.2. Equation de conservations de quantité de mouvement

Les équations de la conservation de la quantité de mouvement sont données par les équations de Navier-Stokes [14]:

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u} \vec{\mathbf{U}}) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu(\nabla^2 \mathbf{u}) \quad (\text{II.4})$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{U}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu(\nabla^2 u) \quad (\text{II.5})$$

Suivant la direction longitudinale :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu(\nabla^2 u) \quad (\text{II.6})$$

Suivant la direction transversale :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu(\nabla^2 v) \quad (\text{II.7})$$

Pour un fluide incompressible, et dans le cas d'un régime permanent les équations

précédentes deviennent :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.8})$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu(\nabla^2 u) \quad (\text{II.9})$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu(\nabla^2 v) \quad (\text{II.10})$$

2.2.3. Equation de conservations d'énergie

En présence d'écoulements de fluides sans isothermes, il est nécessaire de poser les équations d'évolution locale de quantités telles que le champ de température ou bien l'énergie totale du fluide. La formulation en énergie totale est plus particulièrement utilisée dans le cadre des écoulements compressibles [15], alors que la formulation via l'équation de la chaleur pour la température est plus communément utilisée en thermo hydraulique pour les écoulements incompressibles. L'équation d'énergie s'écrit finalement sous la forme suivante [16] :

Liquide :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho c_p v \frac{\partial T}{\partial y} = k_f (\nabla^2 T) \quad (\text{II.11})$$

k_f : Conductivité thermique du liquide

Solide :

$$\rho_s c_{p_s} \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_s (\nabla^2 T_s) \quad (\text{II.12})$$

k_s : Conductivité thermique du solide

2.4. Condition aux limites

La résolution du système d'équations, obtenu précédemment, nécessite l'incorporation des conditions aux limites appropriées des champs dynamique et thermique. Elles s'écrivent comme suit :

A l'entrée du conduit gauche, $x = 0$, $0 < y < d$,

A l'entrée du conduit droite, $x = L$, $d > y > 0$.

Le plan supérieur ($y = d$, $0 < x < L$),

La face solide gauche ($x = 0$, $0 > y > -e$)

La face solide droite ($x = L$, $-e < y < 0$)

Le fluide a une température d'entrée $T = T_i$.

$$T(x=0) = T_i, \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = 0 \quad \text{pour } \tau/2 > t > 0$$

$$T(x=L) = T_i, \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad \text{pour } \tau/2 < 0 < \tau$$

Le flux $\mathbf{q} = \text{constant}$

A l'interface entre le solide et le fluide, voici ce qui couple le problème:

Continuité de la température

$$T(x, 0) = T_s(x, 0), \quad 0 < x < L$$

$$\text{Continuité du Flux: } -k_s \left. \frac{\partial T_s}{\partial y} \right|_y = 0, \quad -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_y = 0$$

L'objectif est de résoudre les champs de vitesse et de température dans le solide et le fluide

CHAPITRE III

Résultats et discussions

Les valeurs de paramètres considérés dans notre cas sont :

$L=0.025, d=0.002, e=0.002, kf=0.614, ks=390, q=5000, \rho=997, \rho_s=8960,$

$\mu=8.90 \cdot 10^{-4}, C_p=4178, C_{ps}=385.$ Ces paramètres représentent l'écoulement de l'eau sur le cuivre. Un profil de vitesse d'écoulement typique peut être $U = 0,3 * \sin(2 * \pi * f * t)$, qui est un flux de 1 Hz donnant $\tau = 1$.

Les résultats de calculs des champs de températures et des vitesses réalisés par Mathematica sont présentés sous formes de graphes et de courbes de densités.

3.1. variation de la température en fonction du temps

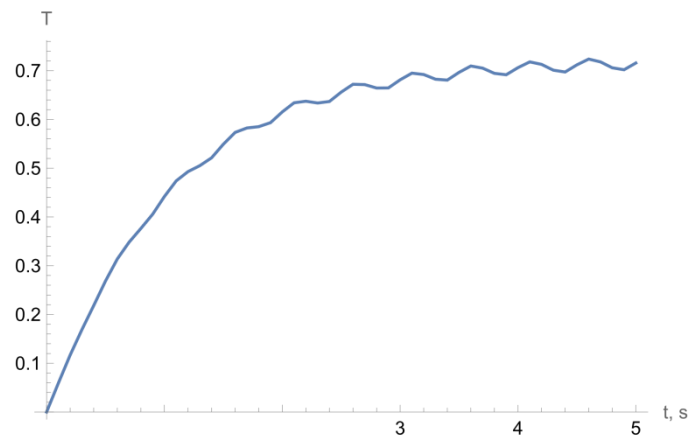
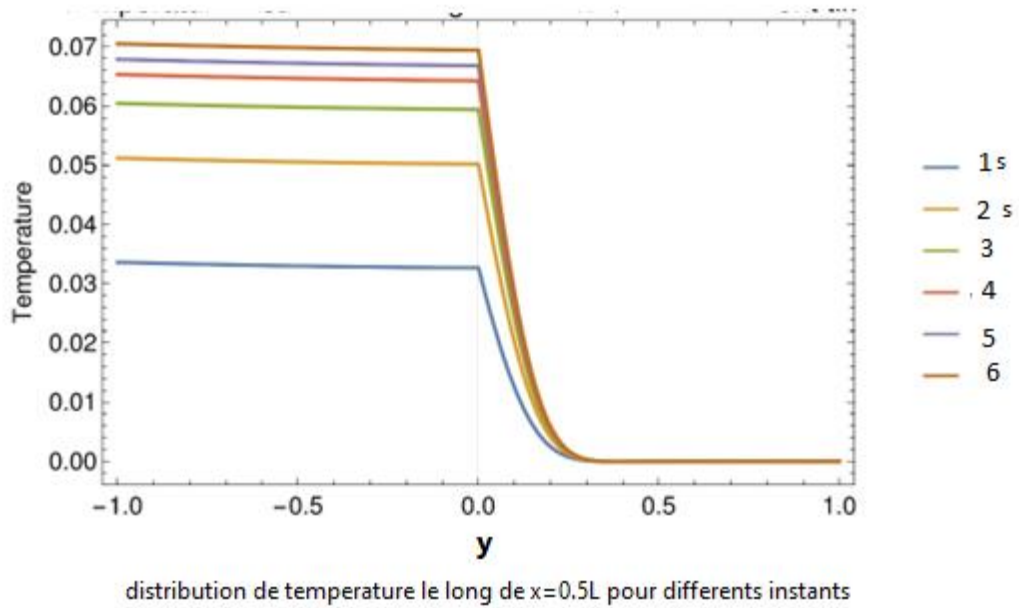


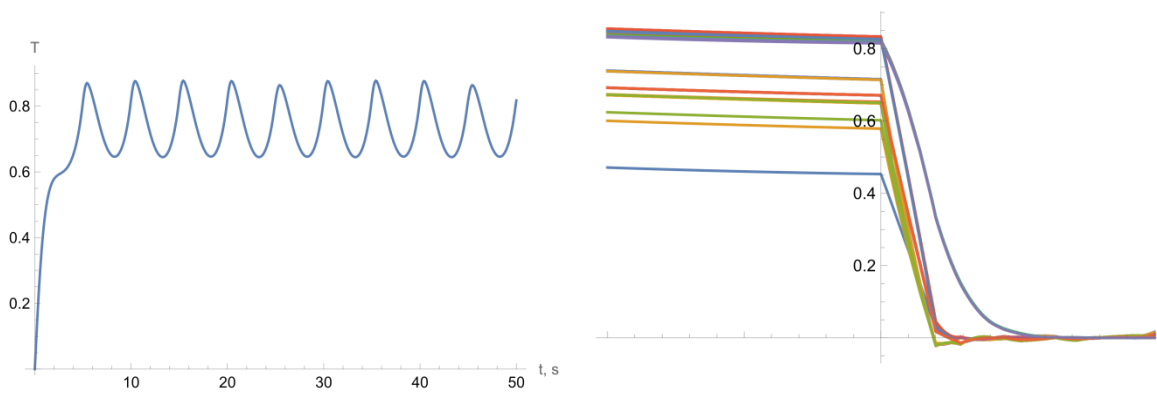
Figure 1. Temperature en fonction du temps au point $\{0.5L, 0\}$

3.2. Variation de la température en fonction de (y)

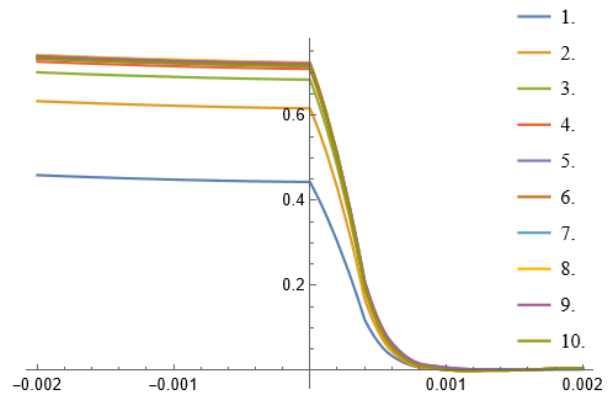
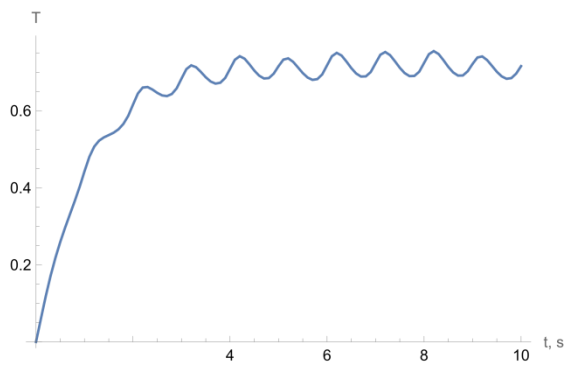


3.3. Température en fonction de la fréquence

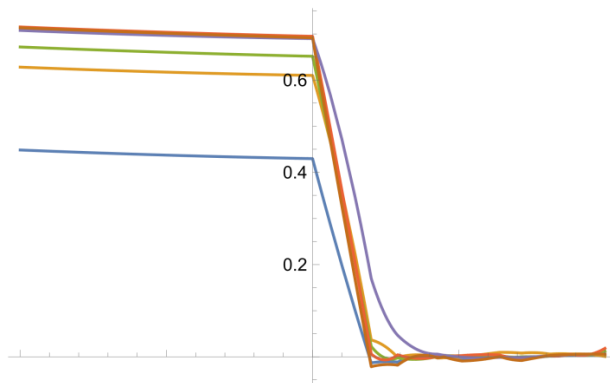
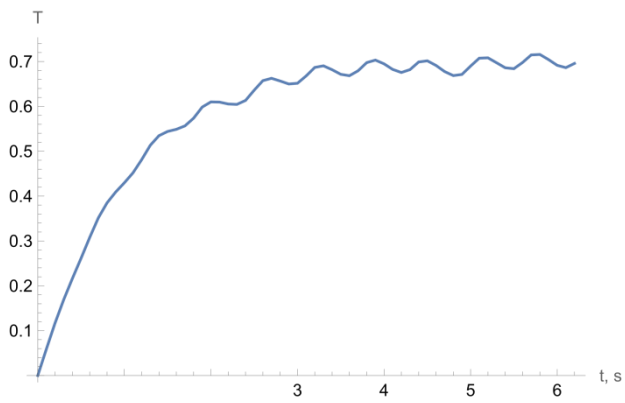
$f=0.1$



f=0.5



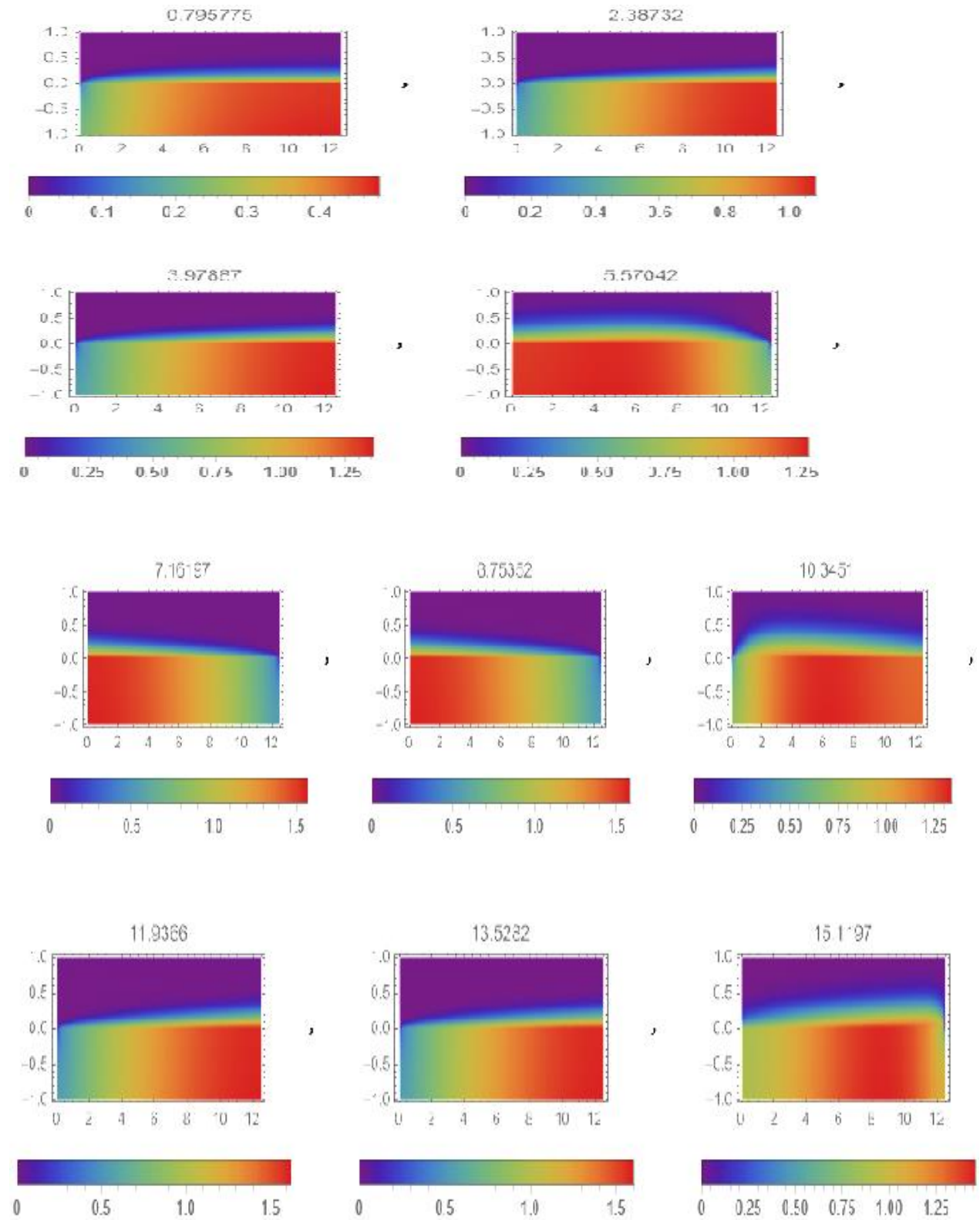
f=0.8

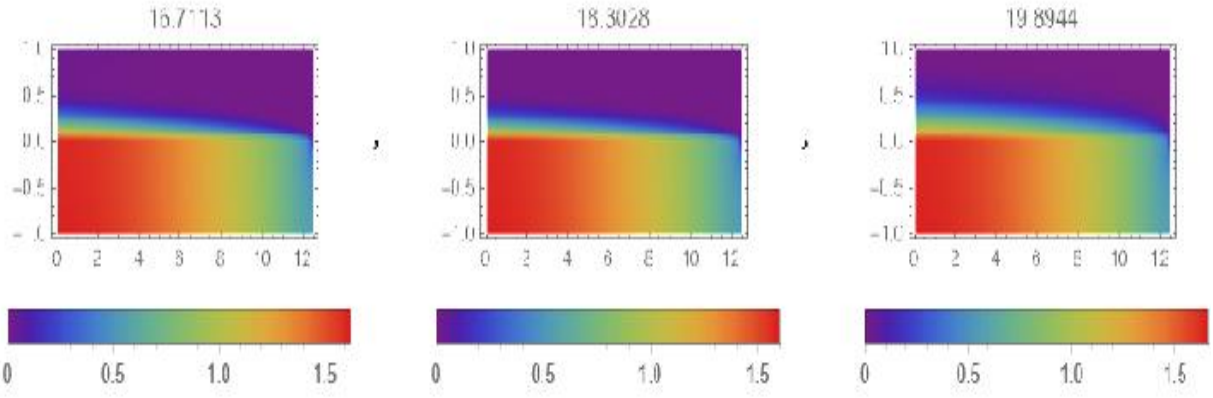


3.4. Courbes des densités

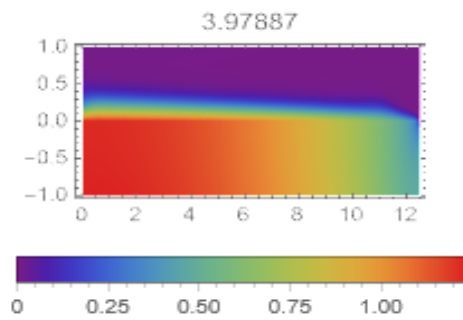
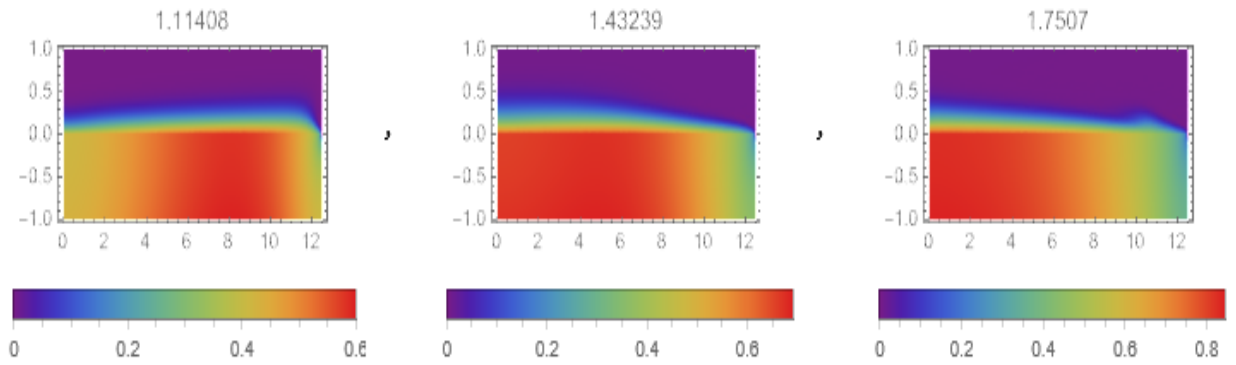
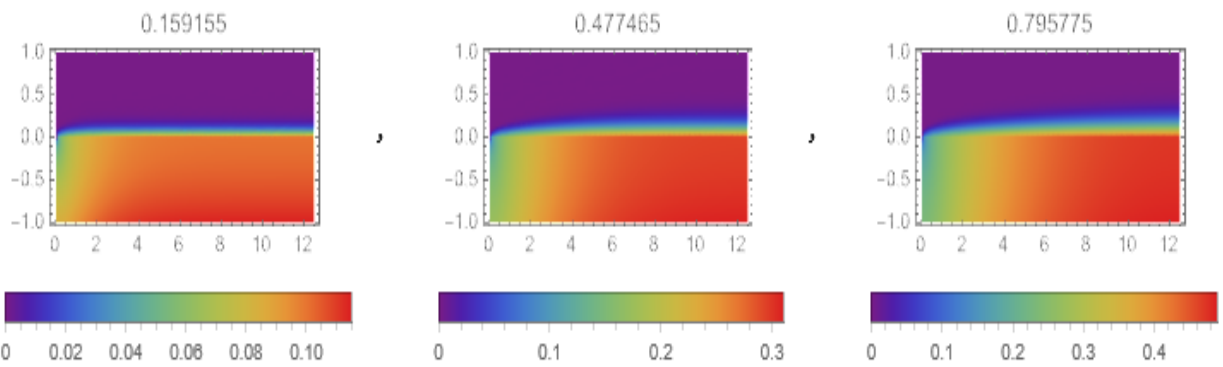
3.4.1. Températures

f=0.1

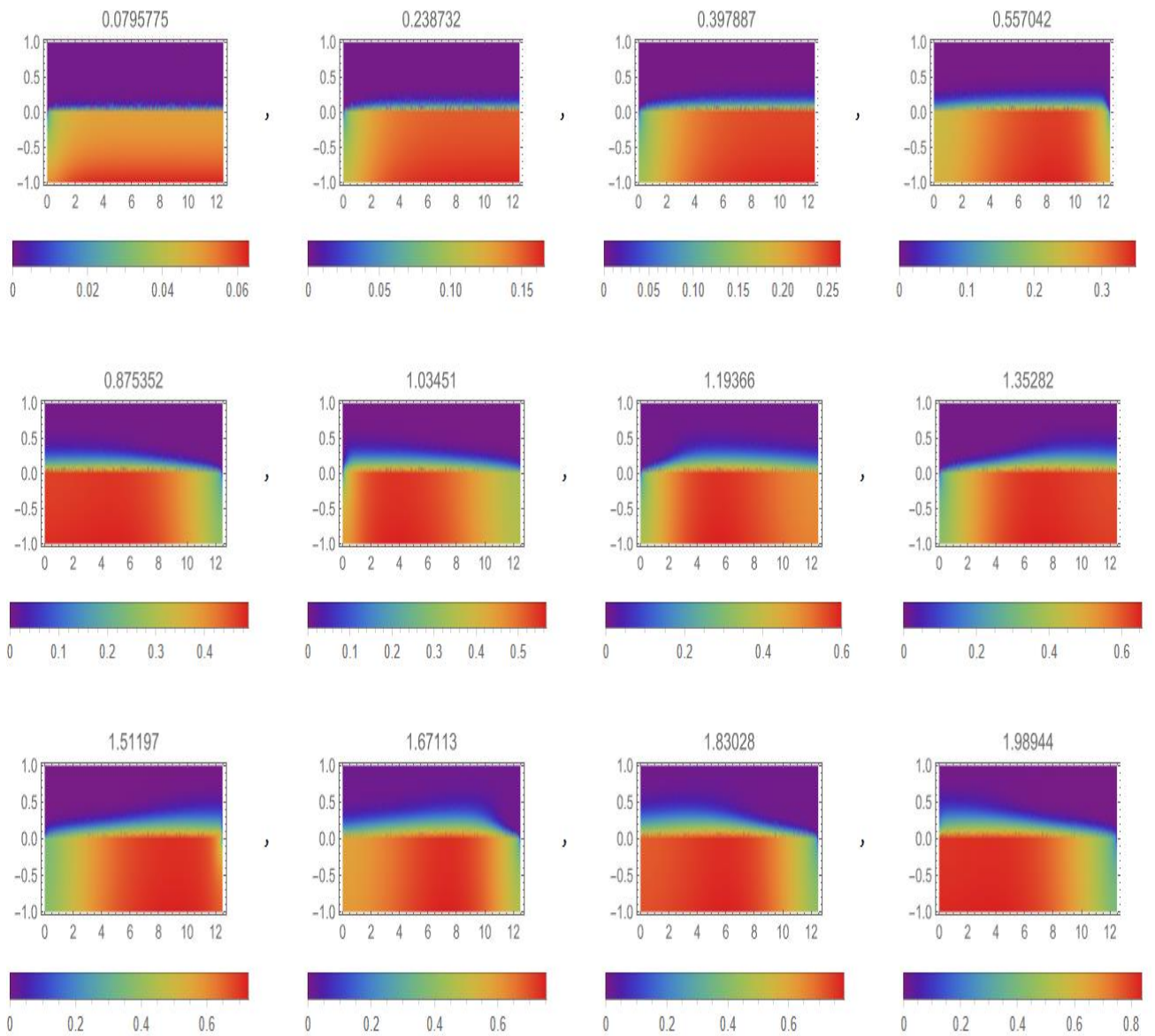




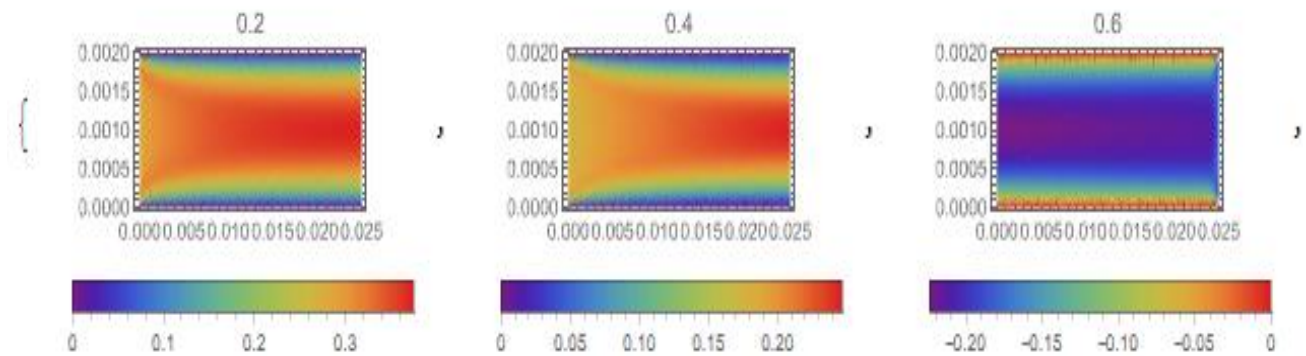
f=0.5

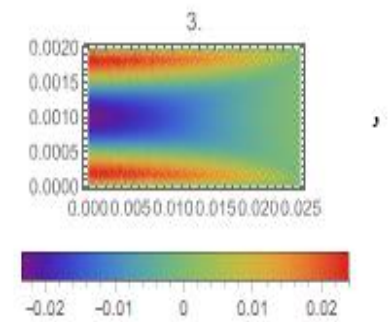
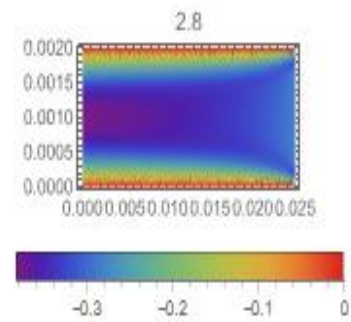
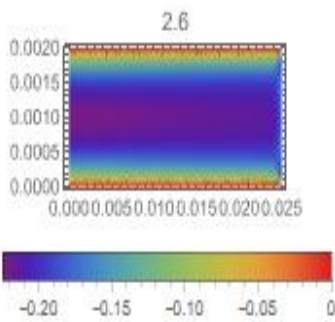
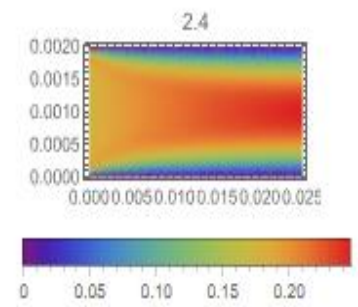
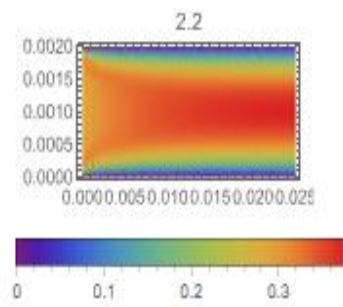
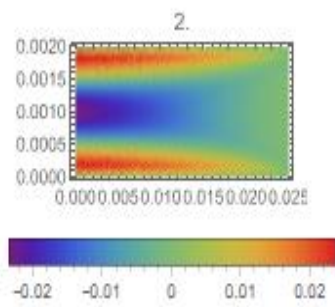
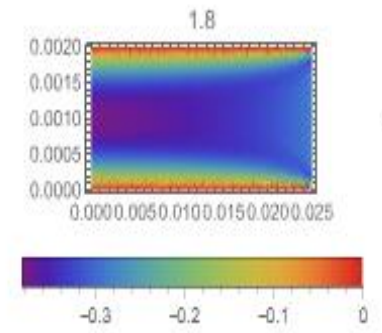
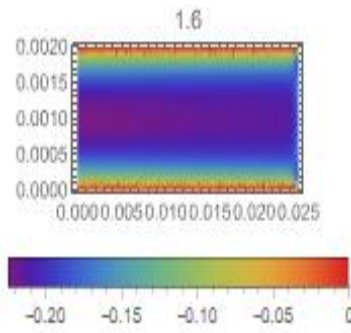
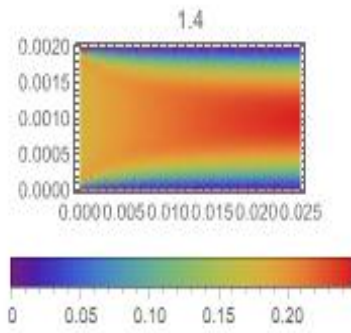
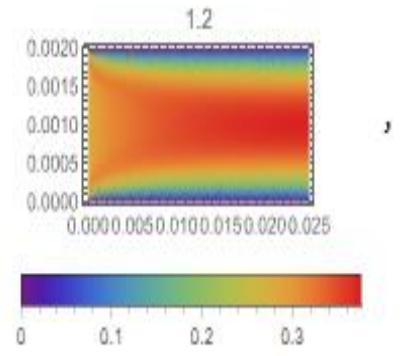
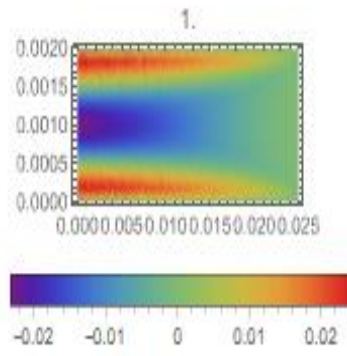
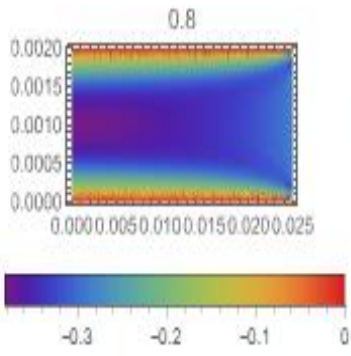


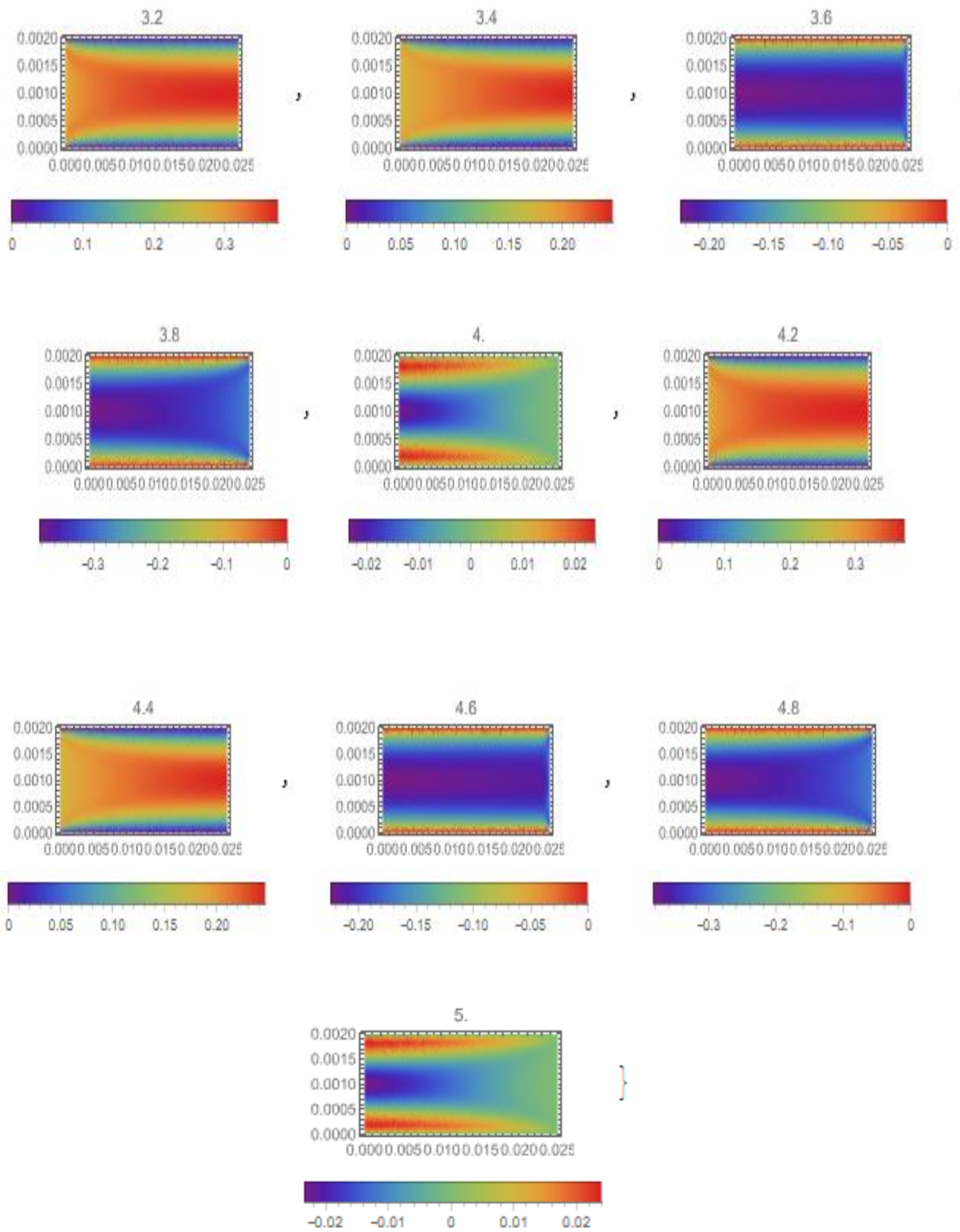
f=1



3.4.2. Vitesse

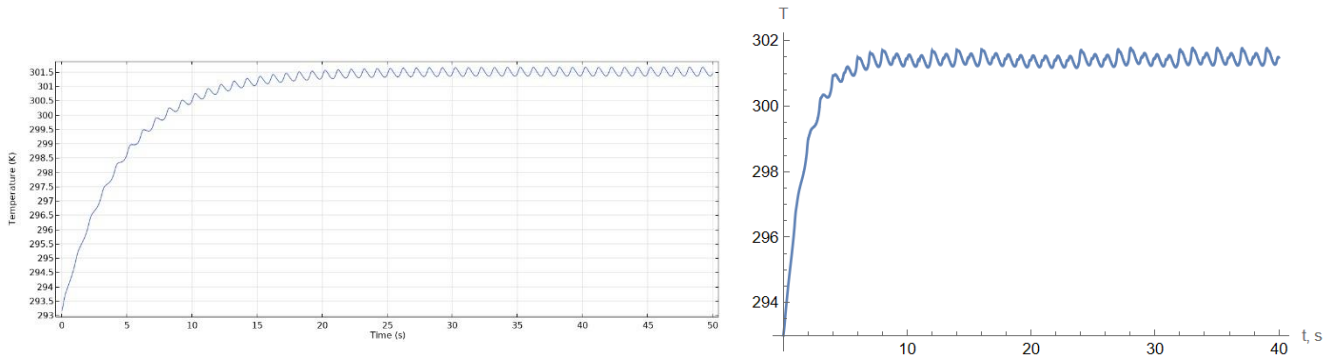






3.5. Validation des résultats

Les résultats de la première figure ont été comparés par celles obtenus par **Comsol** pour les mêmes paramètres.

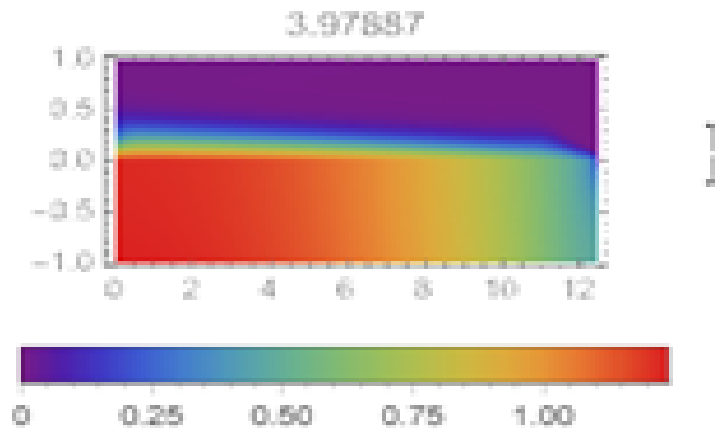


Résultat donne par Comsol résultat obtenu par mathematica

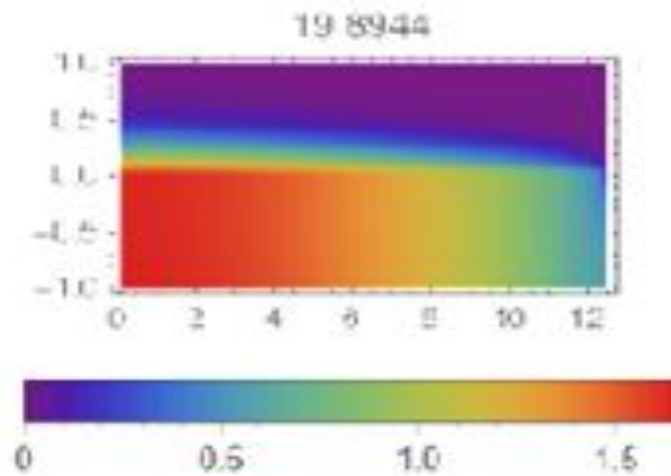
3.6. Analyse des résultats

1-Comparaison entre la distribution de température pour différentes fréquences

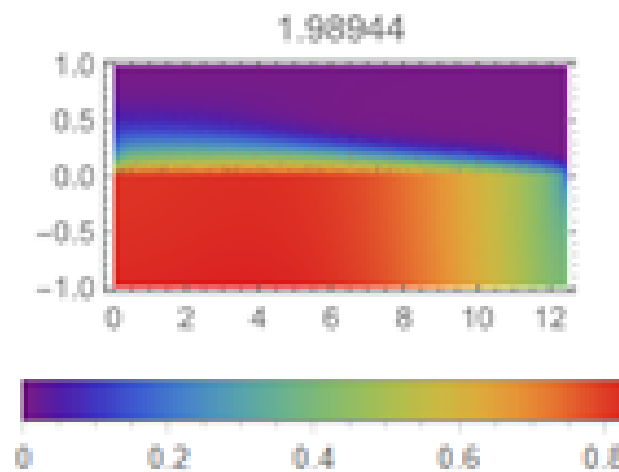
$f=0.1$



f = 0.5



f = 1



On remarque ici que la distribution de température change avec la fréquence et que pour le cas $f=0.5$ le transfert de chaleur est le plus important.

3.7. Distribution de vitesse

On remarque que la vitesse est oscillatoire mais son profil diffère d'un profil de poiseuille (Courbes 1,3 de la distribution de vitesse). la vitesse au niveau des parois du canal n'est pas nul, ceci a pour effet sur la couche limite en y introduisant une oscillation induite qui aura de l'influence sur le transfert thermiques entre les parois et le fluide.

CHAPITRE IV

CONCLUSION

Un modèle de transfert couple de chaleur et de masse dans le temps a été développé pour étudier un échangeur de chaleur à paroi oscillante. Le modèle se compose d'un canal plan épais traversé par un écoulement de fluide oscillant est chauffé avec un flux constant depuis le fond qui représente un solide.

Plusieurs cas sont effectués en tenant compte de l'amélioration du transfert de chaleur en fonction de la fréquence.

Des calculs ont été réalisés pour analyser l'effet des oscillations sur le transfert de chaleur entre les deux extrémités (suivant x), ainsi entre les deux bords du haut et du bas (suivant y) du canal.

Les résultats suggèrent que le transfert de chaleur est amélioré en fonction de la fréquence et qu'il devrait y avoir un point optimal. Les résultats sont présentés sous forme de courbes de niveau et de tracés vectoriels des champs de température et de vitesse ainsi que tracés des températures de sortie de l'échangeur de chaleur en fonction de la fréquence.

Les résultats de cette étude serviront de guide pour la conception et la miniaturisation d'un dispositif oscillant pour un meilleur transfert de chaleur dans d'autres projets de recherche.

References

1. Kurzweg, U. H., and Zhao, L. D., 1984, "Heat Transfer by High Frequency Oscillations: A New Hydrodynamic Technique for Achieving Large Effective Thermal Conductivities," *Phys. Fluids*, 27, pp. 2624–2627.
2. Kurzweg, U. H., 1985, "Enhanced Heat Conduction in Fluids Subjected to Sinusoidal Oscillations," *J. Heat Transfer*, 107, pp. 459–462.
3. Kurzweg, U. H., 1986, "Temporal and Spatial Distribution of Heat Flux in Oscillating Flow Subjected to an Axial Temperature Gradient," *Int. J. Heat Mass Transfer*, 29, pp. 1969–1977.
4. Walsh, T. E., Yang, K. T., Nee, V. W., and Liao, Q. D., 1993, "Forced Convection Cooling in
5. Liao, Q. D., Yang, K. T., and Nee, V. W., 1995, "Enhanced Microprocessor Chip Cooling by Channeled Zero-Mean Oscillatory Air Flow," *Advances in Electronic Packaging*, Vol. 2, pp. 789–794.
6. Fusegi, T., 1996, "Mixed Convection in Periodic Open Cavities with Oscillatory Through flow," *Numer. Heat Transfer, Part A*, 29, pp. 33–47.
7. P. C Chatwin, *J. Fluid Mech.* 71, 513 (1975)
8. U.H. Kurzweg, M.J. Jaeger, Tuning effect in enhanced gas dispersion under oscillatory conditions, *Physics of Fluids*, 29 (4) (1986) 1324-1325.
9. E.J. Watson, Diffusion in oscillatory pipe flow, *Journal of Fluid Mechanics*, 133 (1983) 233-244.
10. M. J Jaeger and U.H Kurzweg, *Phys. Fluid* 26, 1380 (1983)
11. .G. I Taylor, *Proc. R. Soc. London Ser. A*22, 446 (1954)
12. R. Aris, "On the dispersion of Solute in a Fluid flowing through a Tube," *Proc. R. Soc. London, Ser. A* 235, 1956, pp 67
13. Chabane Hakima ,Haddad Mohamed Said ; Simulation numérique des échanges thermiques par convection mixte dans un canal cavité ;Mémoire de Fin d'Études . Université de Tizi-Ouzou,2014.

14. SASSANE Nadjette ;Modélisation du transfert de chaleur lors de l'écoulement d'un fluide à l'intérieur d'une paroi poreuse ;Mémoire de Magister.Université 20 Août 55, Skikda,2008.
15. HIEU, H. *Physique et Modélisation de la turbulence en écoulements de fluides*. IMFT,1991.
- 16.Alexandre Chatelain. Simulation des Grandes Echelles d'écoulements turbulents avec transferts de chaleur. Dynamique des Fluides [physics.flu-dyn]. Institut National Polytechnique de Grenoble -INPG, 2004. Français. <https://theses.hal.science/tel-00006845v2>.

Annexe

Prog1: programme pour calculer la température, la vitesse et trace les densités

```
{f=0.5;L=0.025,d=0.002,e=0.002,kf=0.614,ks=390,q=5000,rho=997,rhos=8960,mu=8.90*10^-4,cp=4.178*10^3 (*J/kg/°K*),cps=385};Pr=mu/rho/(kf/(cp rho));Pr0=Pr;a=ks/kf;ts=d^2/(kf/(cp rho));as=tsks/(cp rho)/d^2;rs=cps rhos/(cp rho);u0=.25 ts/d;om=2 Pi f ts;t0=1/om/10;nn=Round[4 Pi/(t0 om)];qn=q ts/(cp rho)/d;Needs["NDSolve`FEM`"]
```

```
reg1=ImplicitRegion[0<=x<=L/d&&0<=y<=1,{x,y}];reg2=ImplicitRegion[0<=x<=L/d&&-e/d<=y<=1,{x,y}];UX[0][x_,y_]:=0;VY[0][x_,y_]:=0;P[0][x_,y_]:=0;Tfs[0][x_,y_]:=0;appro=With[{k=2. 10^4},ArcTan[k #]/Pi+1/2&];ade[y_]:= (as+(1-as) UnitStep[y]/. UnitStep->appro);rde[y_]:= (rs+(1-rs) UnitStep[y]/. UnitStep->appro);
```

```
Do[{UX[i],VY[i],P[i]}=NDSolveValue[{{Inactive[Div][({{-mu,0},{0,-mu}}.Inactive[Grad][u[x,y],{x,y}]),{x,y}]+D[p[x,y],x]+UX[i-1][x,y]*D[u[x,y],x]+VY[i-1][x,y]*D[u[x,y],y]+(u[x,y]-UX[i-1][x,y])/t0,Inactive[Div][({{-mu,0},{0,-mu}}.Inactive[Grad][v[x,y],{x,y}]),{x,y}]+D[p[x,y],y]+UX[i-1][x,y]*D[v[x,y],x]+VY[i-1][x,y]*D[v[x,y],y]+(v[x,y]-VY[i-1][x,y])/t0,D[u[x,y],x]+D[v[x,y],y]}=={0,0,0}/.mu->Pr0,{DirichletCondition[{u[x,y]==u0*Sin[om*i*t0]*y*(1-y),v[x,y]==0},x==0],DirichletCondition[{u[x,y]==0,v[x,y]==0},y==0||y==1]},DirichletCondition[p[x,y]==0,x==L/d]}, {u,v,p},{x,y}\[Element]reg1,Method->{"FiniteElement","InterpolationOrder"->{u->2,v->2,p->1},"MeshOptions"->{"MaxCellMeasure"->0.01}}];ux=If[y<=0,0,UX[i][x,y]];vy=If[y<=0,0,VY[i][x,y]];Tfs[i]=NDSolveValue[{rde[y]((ux*D[T[x,y],x]+vy*D[T[x,y],y])+(T[x,y]-Tfs[i-1][x,y])/t0)-Inactive[Div][ade[y]*Inactive[Grad][T[x,y],{x,y}]),{x,y}]==NeumannValue[qn,y==e/d],DirichletCondition[{T[x,y]==0},x==0+L/d(1-Sign[Sin[om*i*t0])]/2&&0<=y<=1]},T,{x,y}\[Element]reg2,Method->{"FiniteElement","InterpolationOrder"->{T->2},"MeshOptions"->{"MaxCellMeasure"->0.01}}]//Quiet;,{i,1,nn}]]//AbsoluteTiming
```

(Visualization de la température)

```
Table[DensityPlot[Tfs[i][x,y],{x,y}\[Element]mesh,ColorFunction-
->"Rainbow",PlotLegends->Automatic,AspectRatio->1/2,PlotLabel-
->i ts t0,PlotRange->All,PlotPoints->50],{i,5,nn,10}]
```

```
ListLinePlot[Table[{i t0,Tfs[i][L/4,0]},{i,0,nn}],AxesLabel-
->{"t, s","T"}]
```

```
Plot[Evaluate[Table[Tfs[i][x,0],{i,10,nn,10}]],{x,0,L},PlotLege
nds->Table[i t0,{i,10,nn,10}]]
```

Prog2 (☹) comparaison avec comsol)

```
Needs["NDSolve`FEM`"]
```

```
{f=.5,L=0.025,d=0.001,e=0.004,kf=0.614,ks=390,rho=997, rhos=8960
,mu=8.90*10^-4,cp=4.178*10^3
(*J/kg/°K*),cps=385};u0=0.22875;nu=mu/rho;om=2 Pi
f;t0=.1;nn=Round[4Pi/(om t0)];Ti=288;q=120000/Ti;
```

```
reg1=ImplicitRegion[0<=x<=L&&0<=y<=d,{x,y}];reg2=ImplicitRegion
[0<=x<=L&&-e<=y<=d,{x,y}];
UX[0][x_,y_]:=0;
VY[0][x_,y_]:=0;
P[0][x_,y_]:=0;
Tfs[0][x_,y_]:=293/Ti;appro=With[{k=2. 10^6},ArcTan[k
#]/Pi+1/2&];
ade[y_]:= (ks+(kf-ks) UnitStep[y]/. UnitStep->appro);
rde[y_]:= (cps rhos+(cp rho-cps rhos) UnitStep[y]/. UnitStep-
->appro);
```

```
Do[{UX[i],VY[i],P[i]}=NDSolveValue[{{Inactive[Div][({{-
mu,0},{0,-
mu}).Inactive[Grad][u[x,y],{x,y}]),{x,y}]+D[p[x,y],x]+UX[i-
1][x,y]*D[u[x,y],x]+VY[i-1][x,y]*D[u[x,y],y]+(u[x,y]-UX[i-
1][x,y])/t0,Inactive[Div][({{-mu,0},{0,-
mu}).Inactive[Grad][v[x,y],{x,y}]),{x,y}]+D[p[x,y],y]+UX[i-
1][x,y]*D[v[x,y],x]+VY[i-1][x,y]*D[v[x,y],y]+(v[x,y]-VY[i-
1][x,y])/t0,D[u[x,y],x]+D[v[x,y],y]}=={0,0,0}/. mu-
>nu,{DirichletCondition[{u[x,y]==u0*Sin[om*i*t0],v[x,y]==0},x==
L (1-
Sign[Sin[om*i*t0]])/2&&0<y<d},DirichletCondition[{u[x,y]==0,v[x
,y]==0},y==0|y==d]},DirichletCondition[p[x,y]==0,x==L
(1+Sign[Sin[om*i*t0]])/2&&0<y<d}],{u,v,p},{x,y}\[Element]reg1,M
```

```

ethod->{"FiniteElement","InterpolationOrder"->{u->2,v->2,p-
>1},"MeshOptions"->{"MaxCellMeasure"->0.001}}];
ux=If[y<=0,0,UX[i][x,y]];vy=If[y<=0,0,VY[i][x,y]];
Tfs[i]=NDSolveValue[{rde[y]
((ux*D[T[x,y],x]+vy*D[T[x,y],y]))+(T[x,y]-Tfs[i-1][x,y])/t0)-
Inactive[Div][ade[y]*Inactive[Grad][T[x,y],{x,y}],{x,y}]==Neuma
nnValue[q,y==-e],DirichletCondition[{T[x,y]==1},x==L      (1-
Sign[Sin[om*i*t0]])/2&&0<=y<=d]],T,{x,y}\[Element]reg2,Method-
->{"FiniteElement","InterpolationOrder"->{T->2},"MeshOptions"-
->{"MaxCellMeasure"->0.001}}]//Quiet;,{i,1,nn}];
Table[DensityPlot[Tfs[i][x,y],{x,y}\[Element]mesh,ColorFunction
->"Rainbow",PlotLegends->Automatic,AspectRatio->1/2,PlotLabel-
->i ts t0,PlotRange->All,PlotPoints->50],{i,5,nn,10}]

```

(*Average temperature*)

```

(*ff=Interpolation[Table[{i                                t0,Ti/L
NIntegrate[Tfs[i][x,0],{x,0,L},AccuracyGoal->4,PrecisionGoal-
>4}],{i,0,nn}],InterpolationOrder->2]

```

```

Plot[ff[t],{t,0,40},AxesLabel->{"t, s","T"},PlotRange->All]
*)

```