



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
La République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur & la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة الميكانيكية
Département Génie Mécanique



N° d'ordre : M...104...../GM/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTERACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

**ETUDE NUMERIQUE DE LA PROPOGATION D'UN POLLUANT
DANS UN LOCAL SANS VENTILATION**

Présenté par :

- ❖ M^{elle} BELGHOUL Kheira
- ❖ M^{elle} HAMMOU Ammouria

❖ *Soutenu le 11/07 / 2021 devant le jury composé de :*

Président	Pr. HOUAT Samir	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. MEDJAHED Bendida	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Pr. RETIEL Nouredine	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2020 / 2021

Remerciements :

Nous saisisons cette occasion pour remercier DIEU le tout Puissant de nous avoir aidé à concrétiser ce mémoire au terme de Nos cinq années d'études.

Nous voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude au l'encadreur de ce mémoire, **M RETIEL NOUREDDINE** , pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

Nous remerciement s'adresse également à tous mes professeurs pour leurs grandes patiences .je tiens de remercier également monsieur **HOUAT Samir** et monsieur **MEDJAHED Bendida** qui me fait l'honneur de présider et examiner ce travail. Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères au corps professoral et administratif de l'université Mostaganem FST, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Un grand merci à nos mères et nos pères, pour leur amour, leurs conseils ainsi que leurs soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui nos permis de réaliser les études que je voulais et par conséquent ce mémoire.

Nous souhaitons également remercier tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicace :

Je dédie ce travail

A ma très chère mère qui m'a soutenu durant toute ma vie.

A mon père et qui m'a bien construit.

A mes frères et ma sœur.

A toute ma famille.

A tous mes amis sans exception.

Résumé :

Ce travail porte sur la simulation numérique du transfert de masse avec la convection massique naturelle dans une cavité rectangulaire avec une hauteur H et largeur L et deux parois horizontales imperméables et deux parois verticales partiellement imperméables. La cavité entièrement est remplie d'air avec une partie de la paroi verticale gauche est concentrée en monoxyde de carbone.

Alors nous avons fait une simulation avec un code de calcul sur la propagation de contaminant qui est le monoxyde de carbone pour voir sa concentration dans l'air et comment ça propage et comment sa positionné dans une cavité.

Notre étude est présentée sous deux étapes.

La première étape nous avons étudié l'effet du nombre de Rayleigh massique en régime permanent.

Ensuite deuxièmement nous nous intéressons à l'effet de la position pour un nombre de Rayleigh qui de 10^5 .

Finalement nous avons manipulé les champs de concentration et les lignes de courant, et nous avons utilisant la méthode SIMPLER sur le code fortran.

Abstract:

This work deals with the numerical simulation of mass transfer with natural mass convection in a rectangular cavity with height H and width L and two impermeable horizontal walls and two partially impermeable vertical walls. The entire cavity is filled with air with a part of the left vertical wall concentrated in carbon monoxide. So we made a simulation with a calculation code on the propagation of contaminant which is carbon monoxide to see its concentration in the air and how it propagates and how its position in a cavity. Our study is presented in two steps. The first step we studied the effect of the mass Rayleigh number in steady state. Then secondly we are interested in the effect of the position for a Rayleigh number of 10^5 .

Finally, we manipulated the concentration fields and the streamlines, and we used the SIMPLER method on the FORTRAN code.

ملخص:

يتعلق هذا العمل بالمحاكاة العددية لنقل الكتلة مع الحمل الحراري للكتلة الطبيعية في تجويف مستطيل بارتفاع H وعرض L وجدارين أفقيين غير منفذين واثنين من الجدران الرأسية غير منفذة جزئياً. يمتلئ التجويف بأكمله بالهواء مع تركيز جزء من الجدار العمودي الأيسر في أول أكسيد الكربون.

لذلك قمنا بمحاكاة باستخدام كود كمبيوتر حول انتشار الملوث وهو أول أكسيد الكربون لمعرفة تركيزه في الهواء وكيف ينتشر وكيف يتم وضعه في تجويف.

يتم تقديم دراستنا على مرحلتين:

الخطوة الأولى علينا دراسة تأثير كتلة عدد رايلي في الوضع الدائم.

ثانياً، نحن مهتمون بتأثير الموضع على عدد رايلي 10^5 .

أخيراً، تعاملنا مع مجالات التركيز والخطوط الحالية، واستخدمنا الطريقة المبسطة في كود `FORTTRAN`.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	02
1.1 Introduction	03
1.2 Objectif de l'étude	04
Chapitre 1 : GENERALITES	05
1.1 Pollution de l'air intérieur	06
1.2 Qualité de l'air intérieur	06
1.3 Ventilation	07
1.4 Confort thermique	08
1.5 Le facteur santé	09
1.6 Monoxyde de carbone (CO)	09
1.7 Dioxyde de carbone (CO ₂)	09
1.8 Dioxyde d'azote (NO ₂)	10
1.9 Dioxyde de soufre (SO ₂)	11
Chapitre 2 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	12
2.1. Introduction	13
2.2. Bibliographie	13
Chapitre 3. MODELISATION DE LA DIFFUSION MASSIQUE EN CAVITE RECTANGULAIRE	16
3.1. Introduction	17
3.2. Transfert de masse par diffusion moléculaire	17
3.3. Diffusion de masse	18
3.4. Equations de la diffusion de masse	18
3.5. Description du problème	20
3.6. Modèle mathématique dimensionnel	21
3.7. Modèle mathématique adimensionnel	22
Chapitre 4 : METHODE NUMERIQUE DE RESOLUTION	25
4.1. Introduction	26
4.2. Etude numérique de la propagation d'un polluant dans un local	26
4.2.1 Méthode numérique de résolution	27
4.2.2 - Algorithme SIMPLER	29
4.2.3 - Résolution des équations et convergence	30
4.2.4 - Le maillage	31
Chapitre 5 : RESULTATS OBTENUS	32
5.1. Les effets du nombre de Rayleigh sur la propagation du polluant	33
5.2. Les effets de la position de la source du polluant sur sa propagation	37
CONCLUSION GENERALE	43
Conclusion	44
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE	45
référence bibliographie	46

NOMENCLATURE

Lettres latines :

C : concentration.

ΔC : Ecart de concentration $\Delta C = C_1 - C_2$.

h: longueur d'entrée et de sortie de polluant.

H : Hauteur de l'enceinte.

L : largeur de l'enceinte.

m : longueur de partie gauche

u, v : Composantes de vitesse en coordonnées cartésiennes dimensionnelles (m).

U, V : Composantes de vitesse en coordonnées cartésiennes adimensionnelles.

x, y : Coordonnées cartésiennes dimensionnelles (m).

X, Y : Coordonnées adimensionnelles.

Lettres Grecques :

D: Diffusivité massique ($m^2.s^{-1}$)

β : Coefficient de dilatation massique a pression constantes (k^{-1}).

μ : Viscosité dynamique du fluide. ($Kg.m^{-1}.s^{-1}$).

ν : Viscosité cinématique du fluide. ($m^2.s^{-1}$).

ρ : Masse volumique du fluide. ($Kg.m^3$).

Ψ : Fonction de courant. ($m^2.s^{-1}$).

Indice :

i : indice d'un point de maillage suivant x

j: indice d'un point de maillage suivant y

Introduction générale

Introduction :

Jusqu'à présent, la plupart des études ont porté sur les problèmes de transfert de chaleur cela n'impliquait aucun transfert de masse. Cependant, de nombreux problèmes de transfert de chaleur rencontrés en pratique concernent également le transfert de masse. Il s'avère que le transfert de masse est analogue au transfert de chaleur dans à bien des égards, et il y a une similitude étroite entre le transfert de chaleur et transfert de masse rapports.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à la diffusion massique pure en absence du transfert de chaleur habituellement étudié dans plusieurs travaux vu son intérêt dans l'efficacité énergétique des bâtiments.

La diffusion massique d'un composant dans un milieu binaire en présence d'un gradient de concentration d'un composant est gérée par la loi de Fick et qui peut avoir beaucoup d'application dans la qualité de l'air en milieu confiné tel que le secteur du bâtiment. Cette diffusion massique dépend de la diffusivité massique du composant dans le milieu binaire et évidemment du gradient de concentration.

Le transfert de masse peut se produire en phase gazeuse ou en phase liquide, soit par diffusion moléculaire dans les fluides au repos (la diffusion solutale), ou par des courants à fluides en écoulement (convection solutale).

La pollution de l'air est un mélange de produits chimiques, de particules et d'autres éléments présents dans l'air en quantités susceptibles de nuire à l'environnement ou de nuire à la santé et au confort des humains, des animaux et des plantes.

La pollution de l'air aggrave les maladies pulmonaires et les problèmes cardiaques existants. Il a également été lié à certains types de cancer.

Dans nos vies quotidiennes, il y a beaucoup des gaz polluants que nous ne pouvons pas voir et qui peuvent entraîner la mort, parmi ces gaz se trouve le monoxyde de carbone.

L'intoxication au monoxyde de carbone est un véritable problème de santé publique qui touche de nombreuses personnes et présente de nombreux risques pour l'homme, les animaux et l'environnement.

L'objectif du travail :

Le but de notre étude est de simuler numériquement le comportement de la propagation du monoxyde de carbone pour voir sa concentration dans l'air et de quelle manière se propage dans la cavité.

Nous avons pris différents nombres de Rayleigh solutal pour le premier cas qui varie entre 10^3 jusqu'à 10^6 et pour le deuxième cas nous avons fixé un nombre de Rayleigh à 10^5 et pris différentes positions de l'infiltration du contaminant.

Nous avons choisi une cavité bidimensionnelle avec une longueur de 2.5 m et un largeur de 1.5 m avec une position d'infiltration du contaminant au niveau de la paroi verticale gauche et une position de perméable au polluant avec une concentration maintenue nulle (cas d'un extracteur naturelle). Toutes les parois restantes de la cavité sont supposées imperméables.

L'étude présentée dans ce travail a pour but donc l'analyse de la propagation d'un polluant dans un local en régime laminaire, dans une cavité rectangulaire avec deux parois horizontales imperméables et deux parois verticales partiellement imperméables. La cavité est entièrement remplie d'air avec une partie de la paroi verticale gauche est partiellement concentrée en monoxyde de carbone. Notre étude analyse dans un premier temps l'effet du nombre de Rayleigh solutal en régime permanent ensuite nous nous intéressons à l'effet de la position de la partie hautement concentré en polluant pour un nombre de Rayleigh solutal qui de 10^5 . Les résultats sont obtenus à l'aide d'un code source de calcul en langage Fortran.

Chapitre 1

Généralités

1.1 Pollution de l'air intérieur :

"L'air intérieur" est l'air des environnements intérieurs qui sont continuellement habités. Cela comprend :

- les habitations,
 - les entreprises et les écoles,
 - l'intérieur des véhicules, par exemple, les transports en commun.
- En effet, l'air des espaces intérieurs peut contenir un nombre élevé, parfois en quelques minutes, de composés contaminants ou nocifs, parfois en quantités importantes. Il s'agit de substances qui s'accumulent.

1.2 Qualité de l'air intérieur :

La qualité de l'air repose sur la présence de ses composants, mais c'est en fait l'utilisateur qui en est le plus grand évaluateur, pendant qu'il respire. En effet, l'homme étant sensible aux manifestations olfactives et aux effets désagréables de près d'un demi-million de composés chimiques, nos sens détectent parfaitement l'air que nous inhalons. Il est considéré comme d'excellente qualité si tous les autres habitants d'un bâtiment sont satisfaits de l'air qu'ils respirent ; dans le cas contraire, c'est que la qualité de l'air est faible. Cela, signifie-t-il que vous pouvez prévoir la perception de l'air ? Oui, mais seulement en partie. L'approche est adaptée aux situations industrielles dans lesquelles le produit chimique est fabriqué.

Cette approche est adaptée aux contextes industriels lorsque les produits Chimiques concernés sont connus et que les concentrations atmosphériques de ces composés sont mesurées et comparées à des limites d'exposition prédéfinies. Dans les bâtiments non-industriels, où des milliers de substances chimiques en suspension dans l'air peuvent être présentes, mais à des concentrations extrêmement faibles, la situation est parfois plusieurs milliers de fois inférieure aux limites fixées pour les situations industrielles. Dans la plupart des cas, nous ne pouvons pas prévoir la perception de l'air en tant qu'impact cumulé de ces milliers

de polluants, ainsi que la température et l'humidité ambiante, par les connaissances existantes concernant la composition chimique de l'air intérieur ; peut créer une atmosphère de mauvaise qualité qui est considérée comme gênante, impure ou viciée. De même, nous ne connaissons pas vraiment le contenu exact du repas, et nous ne saurons pas s'il est excellent ou terrible par une analyse chimique. En outre, un examen chimique complet de la composition de l'air à l'intérieur est rarement effectué lors de l'étude d'un système de ventilation.

1.3 Ventilation :

La ventilation permet de renouveler et d'assainir l'air intérieur d'un bâtiment afin d'assainir le bâtiment et de fournir à la personne l'air fraîche et hygiénique dont elles ont besoin. Cela se traduit par une ventilation naturelle ou mécanique. La ventilation naturelle fonctionne à différentes températures (par exemple, en aspirant l'air du haut vers le bas par convection naturelle de l'intérieur vers l'extérieur, plus froid). La ventilation mécanique consiste à établir un mouvement d'air dynamique à travers des conduits à l'aide d'un extracteur ou d'un ventilateur. L'installation de VMC aérienne (VMC = Ventilation Mécanique Contrôlée) est réalisée dans cette situation. Il existe de nombreuses formes de VMC : VMC simple, VMC double flux, VMC à commande autonome, humide. La ventilation a un impact sur notre consommation sanitaire, hygiénique et énergétique dans les installations résidentielles et commerciales. Les pertes dues à la ventilation en raison du renouvellement de l'air apparaissent dans le bilan énergétique avec des structures plus grandes et plus isolées. Le débit d'air hygiénique minimum, tel que prescrit par la loi, doit cependant être maintenu. Il est donc vital d'obtenir des labels de basse consommation pour l'utilisation de systèmes de ventilation à haut rendement énergétique avec un moteur à très basse consommation et un système de récupération d'énergie sur l'air extrait. Le manque de ventilation entraîne des risques pour la santé ainsi que pour l'hygiène (maux de tête, allergies aux maladies respiratoires, ...) et une modification du bâtiment (moisissures, ...), n'est en aucun cas un bon calcul économique à long terme.

1.4 Le confort thermique :



Figure 1 : confort thermique

1. Le métabolisme qui est la production de chaleur dans le corps humain est d'environ $36,7\text{ °C}$. Au métabolisme fondamental de l'organisme au repos, s'ajoute un métabolisme de travail lié à une activité particulière.
2. Les vêtements qui résistent aux échanges thermiques entre la surface de la peau et l'environnement.
3. La température ambiante de l'air T_a .
4. La température moyenne des parois T_p .
5. L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport en pourcentage entre la quantité d'air contenue dans l'eau à la température T_a et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
6. La vitesse de l'air, qui influe sur les échanges thermiques par convection. Dans le bâtiment, la vitesse de l'air ne dépasse généralement pas $0,2\text{ m/s}$.

1.5 Facteur santé :

Les polluants sont absorbés par notre peau et notre respiration. Comme nous passons la plupart de notre temps à l'intérieur, nous sommes exposés à ces

différents contaminants pratiquement en permanence. L'une des raisons de l'augmentation importante des allergies, en particulier chez les jeunes, est la présence dans l'air de la résidence. Par conséquent, le risque pour notre santé est vraiment élevé.

- Les effets à court terme sur la santé se manifestent surtout au niveau du système respiratoire (toux, asthme, infections respiratoires, etc.).

- Certains polluants peuvent entraîner des troubles de la peau, du nez, de la gorge, des yeux, une sensation de douleur, une lassitude, des nausées, une hypersensibilité aux odeurs, etc.

- D'autres maladies sont à l'origine d'eczéma, d'allergies, d'asthme, de problèmes d'équilibre, de problèmes du système digestif, de difficultés d'hépatite, etc.

1.6 Le monoxyde de carbone (CO) :

Le carbone (CO) est un gaz incolore et inodore hautement diffusible dans l'air. L'émission de monoxyde de carbone résulte d'une combustion incomplète du carbone.

Ce phénomène est le plus souvent associé à un entretien inadéquat ou à une utilisation excessive d'un appareil de chauffage ou d'un moteur. Une ventilation inadéquate favorise également le dégagement. Certains médicaments sont également présents lorsque la fumée est inhalée par le feu.

1.7 Dioxyde de carbone (CO₂) :

Le CO₂, principal gaz à effet de serre à l'état naturel et à la vapeur d'eau, est un gaz incolore, inerte et non-toxique. Sa durée de vie est d'environ 100 ans dans l'atmosphère. Il est créé en présence d'oxygène lors de la combustion de molécules de carbone.

Les sources naturelles sont multiples : éruptions volcaniques, végétales, animales et humaines, incendies de forêts dans tout le pays, décomposition par les plantes et les Animaux de matières organiques en décomposition Le taux de CO₂ dans l'atmosphère ne cesse d'augmenter sous l'effet de l'activité humaine et notamment

au cours des deux derniers siècles de 30 %. 70 à 90 % des émissions de dioxyde de carbone en France proviennent de la combustion de combustibles fossiles au cours des 20 dernières années. 12 % des émissions de dioxyde de carbone seraient dues à l'agriculture et à la sylviculture.

Le carbone est continuellement déplacé entre ces nombreux milieux. Cela entraîne la dissolution de quantités extraordinairement importantes de CO₂ dans les mers. Les plantes l'absorbent par photosynthèse et le transforment en molécules de carbone organique de l'atmosphère (sucres, cellulose...). À l'inverse, lors de la respiration et de la mort, elles libèrent peu de CO₂ dans l'air.

Le contenu organique de la plante est dégradé par les microbes et le CO₂ libère une partie du carbone de la plante dans l'environnement. Dans le sol, est stockée l'autre partie du CO₂.

1.8 Dioxyde d'azote (NO₂) :

Le dioxyde d'azote, comme l'oxyde d'azote, est un polluant gazeux de la famille des NO_x (NO). Il a une couleur brune rougeâtre, une odeur pétillante et un haut Degré de réactivité. En tant que contaminant atmosphérique important, l'Organisation mondiale de la santé réglemente et recommande le NO₂ (OMS). Les concentrations de NO₂ dans de nombreuses régions métropolitaines du monde sont néanmoins fréquemment supérieures à ces niveaux.

1.9 Dioxyde de soufre (SO₂) :

Lors de la combustion de combustibles fossiles (charbons, carburants, ...), le dioxyde de soufre résulte principalement de l'oxydation par l'oxygène de l'air des impuretés sulfuriques des combustibles en dioxyde de soufre SO₂. Ainsi, diverses sources mineures (chauffage intérieur, combustibles, ...) et de grandes sources ponctuelles produisent ces polluants gazeux (centrales de production d'électricité ou de vapeur, centrales de chauffage urbain, ...). Certaines industries créent également des effluents soufrés (production d'acide sulfurique, raffinage du pétrole, métallurgie des métaux non-ferreux, etc.)

La combustion du charbon représente environ 50 % des émissions annuelles mondiales et constitue la principale source de synthèse du dioxyde de soufre ; un autre 25-30% avec les comptes de combustion de pétrole. La source naturelle de dioxyde de soufre la plus répandue est le volcan.

Chapitre 2:

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Introduction :

L'Etude de la convection naturelle en enceinte fermée est devenue l'objet de nombreuses études théoriques et expérimentales. De nombreux travaux publiés impliquent la convection naturelle dans différentes formes d'enceintes (expérimentales ou numériques), en utilisant différentes méthodes de calcul et différentes données et conditions aux limites.

2.2 Bibliographies :

Jang et al [1] En utilisant le théorème de transposition de Prandtl pour étudier numériquement la convection naturelle de chaleur et de masse le long de la surface d'onde verticale, ils ont étudié l'influence des surfaces irrégulières sur les caractéristiques de la chaleur naturelle et de la convection de masse. Il a été constaté que lorsque le nombre de Schmidt augmente, le coefficient de frottement et le nombre de Nusselt local diminuent, mais le nombre de Sherwood local augmente.

Sarris et autres [2] qui ont effectué une étude numérique de la convection naturelle dans les réservoirs rectangulaires chauffés localement, au-dessous. Basés sur des prévisions numériques, les effets du Ra et la géométrie de la source de chauffage et du réservoir sur les structures d'écoulement et le transfert thermique ont été étudiés pour le nombre de Rayleigh dans la gamme 10^2 à 10^7 . Leur étude a indiqué que l'augmentation de l'intensité de circulation d'écoulement augmente avec une augmentation de longueur de la source de chauffage.

Benissad et al [3] La convection naturelle à double diffusion est traitée numériquement dans une chambre rectangulaire qui est affectée par des gradients horizontaux de température et de concentration. Le flux est entraîné par la chaleur et la force motrice du soluté. Les résultats obtenus montrent que la variation du nombre de Grashofsolutal permet d'obtenir plusieurs types d'écoulements et plusieurs bifurcations entre ces écoulements. La convection transitoire et non-périodique se produit dans l'intervalle Grashofsolutal entre 3×10^5 et 5×10^5 .

Sévéléder et al [4] Je m'intéresse à l'influence des conditions aux limites de température et de concentration sur la structure naturelle d'écoulement convectif à double diffusion dans une cavité carrée avec les paramètres suivants : $Pr = 2,2$, $Sc = 130$, $Ra_t = 5,5 \times 10^5$, $Ra_s = 1,3 \times 10^5$, correspondant au gaz liquéfié. Les résultats ont montré qu'en raison de la température et de la concentration uniforme sur la paroi verticale, une seule cellule est apparue, mais le changement linéaire de température et de concentration a donné quatre cellules. L'état stable de la convection thermos fusible dans une cavité carrée remplie d'air.

Costa et al [5] Etude numérique de la convection naturelle à double diffusion dans une cavité carrée à paroi horizontale diffusant chaleur et masse. L'objectif principal de ses recherches est de réaliser un modèle mathématique complet de tels problèmes et d'analyser les résultats pour montrer l'influence de la paroi horizontale sur le transfert de chaleur et de masse.

Rahimiet al [6] Analyse numérique du transfert de chaleur et de masse de l'air contenu dans une cavité rectangulaire à parois partiellement thermiquement actives.

K.Al-Farhany& al [7] Etude numérique des transferts de chaleur et de masse par convection naturelle bidimensionnelle et double diffusion dans des milieux poreux rectangulaires inclinés. Les deux parois opposées de la cavité maintiennent une température et une concentration fixes mais différentes ; les deux autres parois sont isolées. Le modèle généralisé approximatif de Boussinesq est utilisé pour résoudre les équations gouvernantes. En raison des changements de température et de concentration, l'écoulement est entraîné par l'effet combiné de la flottabilité. La méthode des volumes finis a été utilisée pour résoudre les équations de contrôle sans dimension, et le problème de couplage pression-vitesse a été résolu par l'algorithme SIMPLER. Les résultats sont exprimés en contours, isothermes, iso concentrations, contours de Nusselt et de Sherwood, qui sont utilisés pour différentes valeurs de paramètres physiques sans dimension. Un large

éventail de paramètres sans dimension sont utilisés, notamment le rapport de forme hauteur/largeur (2 à 5), l'angle d'inclinaison de la cavité ($0 \leq \varphi \leq 85$), le nombre de Lewis ($0,1 \text{ Le} \leq 10$) et le rapport de flottabilité ($- 5 \leq N \leq 5$).

Chapitre 3

MODELISATION DE LA CONVECTION MASSIQUE EN CAVITE RECTANGULAIRE

3.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous décrivons le modèle physique où nous donnons la formulation mathématique du problème, les hypothèses simplificatrices, les conditions aux limites appropriées ainsi que les résolutions de ces équations.

3.2 Transfert de masse par diffusion moléculaire :

La diffusion de substances, ou diffusion chimique, fait référence à la tendance naturelle d'un système à uniformiser le potentiel chimique de chaque espèce chimique qu'il contient. La diffusion chimique est un phénomène de transmission irréversible, qui tend à uniformiser la composition du milieu. Dans le cas d'un mélange binaire, en l'absence de gradients de température et de pression, la diffusion se produit d'une zone à forte concentration vers une zone à faible concentration. Dans le cas le plus général, la description précédente est généralement toujours valable, mais nous connaissons un contre-exemple où une espèce migre d'une zone de concentration plus faible vers une autre zone de concentration plus élevée (diffusion vers le haut).

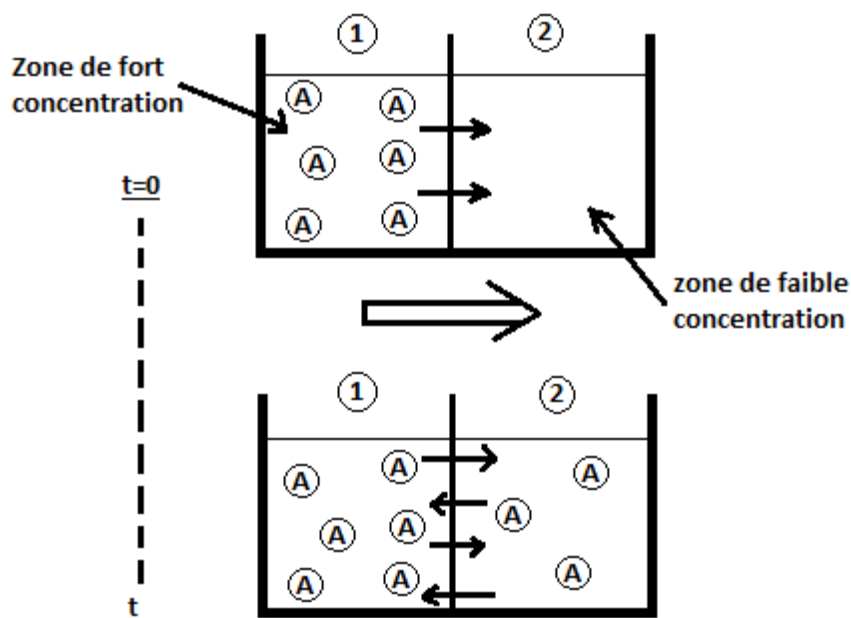


Figure 2 : transfert de masse par diffusion moléculaire

3.3 DIFFUSION DE MASSE :

La loi de diffusion de Fick a été introduite en 1855, énonçant une substance chimique à une certaine position dans un mélange gazeux (ou une solution liquide ou solide), Elle est proportionnelle au gradient de concentration de l'espèce à cet endroit.

Bien que plus la concentration d'une espèce est élevée, plus il y a de molécules pour les espèces par unité de volume.

3.4 Équation de diffusion de masse :

La loi de Fick et s'écrire :

$$\vec{m}_A = -D_{AB} \text{grad } C_A \quad (3.1)$$

Loi de concentration qui exprime par Kg par m³ :

$$C_e = \frac{m_e}{V_e} = \rho_e \quad (3.2)$$

Flux massique d'un élément e :

$$\vec{M}_e = \rho_e (\vec{V}_e - \vec{V}) \quad (3.3)$$

L'équation de conservation de la masse totale du mélange s'écrit :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.4)$$

Ou, encore en distinguant la contribution de chaque élément

Tous les éléments du mélange s'écrivent :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\sum \rho_e \vec{V}_e) = 0 \quad (3.5)$$

L'équation de conservation de la masse de chaque élément e dans le mélange

Le contrôle est :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho_e \vec{V}_e) = 0 \quad (3.6)$$

Considérant l'équation (3), l'équation (6) s'écrira :

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \nabla(\rho_e \vec{V}) = -\nabla \vec{M}_e \quad (3.7)$$

En substituant les expressions données par la loi de Fick (1) aux débits massiques M_e et en introduisant le concept de concentration défini par l'équation (2), on obtient l'équation de la diffusion de chaque composant e dans le mélange.

$$\frac{\partial C_e}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla C_e = D \Delta C_e \quad (3.8)$$

Dans nos recherches, le mélange ne contient qu'un seul élément, et dans tout ce qui suit, nous l'exposant e de la concentration est omis, nous écrivons donc l'équation (9) comme suit :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla C = D \Delta C \quad (3.9)$$

Lorsque le débit de fluide est suffisamment faible pour favoriser le transfert de masse, l'équation (10) s'écrit sous la forme simplifiée suivante :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \Delta C \quad (3.10)$$

Notez que le coefficient de diffusion du soluté D (exprimé en m^2/s), qui caractérise la vitesse de diffusion des composants dans un mélange donné, est similaire au coefficient de diffusion thermique, si l'on compare cette équation avec l'équation de l'énergie reflétant la conservation de l'enthalpie dans le volume de contrôle, où il s'écrit comme ceci :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T \quad (3.11)$$

Les diffusivités massiques sont en général évaluées expérimentalement. Le tableau 1 donne une sélection de valeurs de D pour les gaz et les liquides.

Gaz à 25° C, 1 atm (dans l'air)	Gaz à 25° C, 1 atm	Gaz à 25° C, 1 atm (dans l'eau)	Gaz à 25° C, 1 atm
Ammoniac	0,1	Oxygène	0,65
Vapeur d'eau	0,092	Ammoniac	0,63
Ethanol	0,043	Ethanol	0,35
Dioxyde de carbone	0,059	Dioxyde de carbone	0,64
Oxygène	0,074	Hydrogène	1,86
Hydrogène	0,15	Chlorure d'hydrogène	0,93
Benzène	0,032	Sucrose	0,17
		Chlorure de sodium	0,49
		Dioxyde de chlorure	1,22

Tableau 1 : Quelques valeurs typiques de la diffusivité massique

3.5 Description du problème :

Toutes les parois sont imperméables, avec l'intérieur de la cavité rempli d'air. Les parois verticales gauche et droite sont partiellement polluées en monoxyde de carbone (concentré respectivement à 0 et 100%).

Dans cette partie nous imposons les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Fluide incompressible $\rho = \text{cts}$
- Fluide Newtonien
- Régime permanent $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
- Écoulement bidimensionnel
- Écoulement laminaire
- L'approximation de Boussinesq est valable, elle considère que le changement de densité est négligeable au niveau de tous les termes de l'équation de la quantité de mouvement ($\rho = \rho_0$), sauf au niveau du terme gravitationnel. L'évolution de la densité en fonction de la concentration est donnée par :

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta (C - C_0)] \quad (3.12)$$

ρ_0 : La densité du fluide à la concentration de référence C_0 .

β : Coefficient de dilatation à pression constante.

- Le problème étudié n'a pas de source de chaleur interne et pas de réaction chimique.

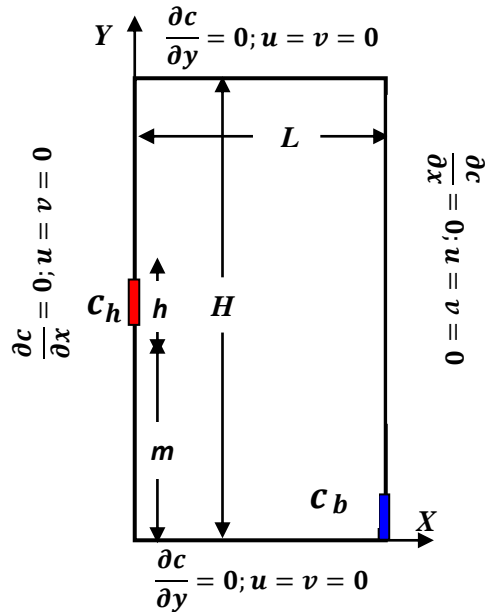


Figure3 : modèle physique

3.6 Modèle mathématique dimensionnel :

En considérant l'hypothèse du fluide incompressible, le principe de conservation de la masse conduit à l'équation de continuité. L'équation de continuité pour un écoulement bidimensionnel d'un fluide incompressible se réduit à :

Equation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.13)$$

Equation de conservation de quantité de mouvement :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3.14)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} g \quad (3.15)$$

Avec

$$\rho(C) = \rho_0[1 - \beta_c(C - C_0)] \Rightarrow \frac{\rho(C) - \rho_0}{\rho_0} = -\beta_c(C - C_0)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta_c(C - C_0)g \quad (3.16)$$

Equation de conservation de concentration :

$$u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad (3.17)$$

3.7 Modèle mathématique adimensionnel :

Grandeurs de référence :

$$u_0 = \frac{D}{L}; \quad p_0 = \rho \frac{D^2}{L^2}; \quad C = \frac{c - c_b}{c_h - c_b}$$

$$Y = \frac{y}{L} \quad X = \frac{x}{L}$$

$$U = \frac{uL}{D} \quad V = \frac{vL}{D}$$

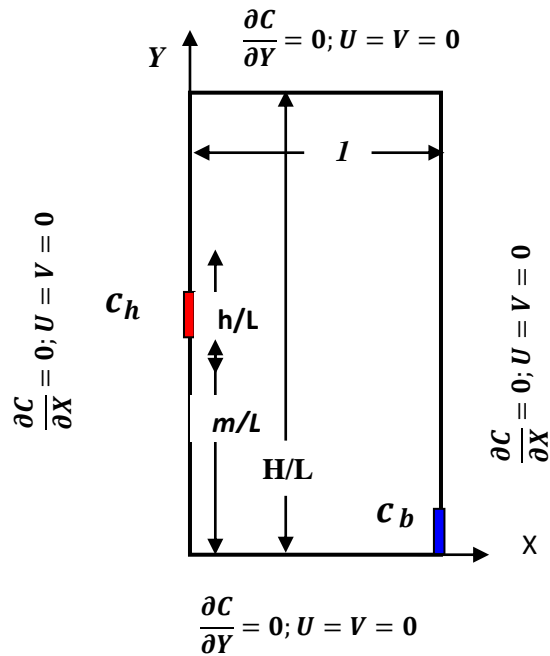


Figure 4 : modèle physique adimensionnel

Equation de continuité

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (3.18)$$

Equation de conservation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + Sc \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + Sc \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + (Ra_c Sc) C \quad (3.20)$$

Equation de conservation de concentration :

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + U \frac{\partial C}{\partial X} + V \frac{\partial C}{\partial Y} = \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} \quad (3.21)$$

Les nombres adimensionnels :

Nombre de Schmidt :

$$SC = \frac{\nu}{D}$$

Nombre de Rayleigh :

$$Ra_c = \frac{g\beta(C_h - C_l)L^3}{D\nu}$$

Conditions aux limites :

$$\begin{array}{lll}
 & 0 \leq Y \leq m, & U = V = 0, & \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \\
 X=0 & , & m < Y \leq h/L, & U = V = 0, & C = C_h \\
 & h/L < Y \leq H/L, & U = V = 0, & \frac{\partial C}{\partial x} = 0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 & 0 \leq Y \leq h/L, & U = V = 0, & C = C_b \\
 X=L & , & \frac{h}{L} < Y \leq H/L, & U = V = 0, & \frac{\partial C}{\partial x} = 0
 \end{array}$$

$$Y=0 \quad , 0 \leq X \leq 1, \quad U = V = 0 \quad , \quad \frac{\partial C}{\partial y} = 0$$

$$Y=H/L \quad , \quad 0 \leq X \leq 1, \quad U = V = 0 \quad , \quad \frac{\partial C}{\partial y} = 0$$

Chapitre 4

Méthode numérique de résolution

4.1 Introduction :

Le problème analysé dans ce chapitre est modélisé par un système d'équations aux dérivées partielles non linéaires. Nous avons vu que sa solution analytique n'existe que dans quelques cas, et qu'il est inévitable de le résoudre par des méthodes numériques. Diverses méthodes numériques offrent la possibilité de résoudre le système différentiel cité au chapitre 3. En plus des différents logiciels disponibles sur le marché, ces méthodes incluent également la méthode des différences finies, la méthode des éléments finis et la méthode des volumes finis. Afin de réaliser notre simulation numérique, nous avons choisi un programme de calcul écrit en langage Fortran basé sur la méthode des volumes finies

4.2 Etude numérique de la propagation Du monoxyde de carbone dans un local:

A 20°C et P=1 atm

Diffusivité massique du monoxyde de carbone dans l'air $D_{\text{CO-air}}=2,08 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

<i>Gas</i>	Viscosité dynamique (10^{-5} Pa.s)	Masse volumique (kg/m^3)	Viscosité cinématique ($10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)
Air	20°C		
	1.82	1,198	1,5192
Carbon monoxyde	1.74	1,145	1,5196

Table 2 : propriété physique de l'air et Co.

Le nombre de Schmidt:

$$Sc = \frac{\nu}{D} = \frac{1,5192 \cdot 10^{-5}}{2,08 \cdot 10^{-5}} = 0,73$$

4.2.1 Méthode numérique de résolution

Le modèle numérique retenu pour résoudre le système d'équations (3.18)-(3.21), est fondé sur une méthode des volumes finis développée par Patankar [8].

Cette méthode s'appuie sur une discrétisation du domaine de calcul en différents noeuds, chacun d'entre eux étant entouré d'un volume élémentaire (Figure 5) sur lequel on intègre les équations aux dérivées partielles

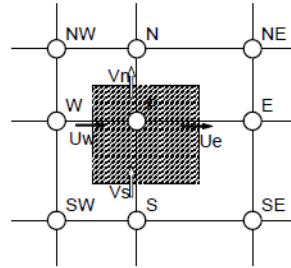


Figure 5. Volume de contrôle

Remarquons que ces équations peuvent toutes être mises sous la forme générale d'une

équation générale du type transport-diffusion :

$$\underbrace{\frac{\partial \Phi}{\partial \tau}}_I + \underbrace{\frac{\partial (U\Phi)}{\partial \tau}}_II + \underbrace{\frac{\partial (V\Phi)}{\partial \tau}}_III = \underbrace{\Gamma \nabla^2 \Phi}_IV + B_\Phi \quad (4.1)$$

où I représente le terme de variation temporelle.

II le terme de transport par l'écoulement.

III le terme de diffusion.

IV le terme de source volumique

En coordonnées cartésiennes, l'opérateur Laplacien s'écrit :

$$\nabla^2(\Phi) = \frac{\partial^2(\)}{\partial X^2} + \frac{\partial^2(\)}{\partial Y^2}$$

Pour retrouver l'expression propre à chacune des équations (3.18) à (3.21) il suffit de Remplacer Φ , et $B\Phi$ comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

	Φ	Γ	$B\Phi$
Equation de la conservation de la masse	1	0	0
Equation de la conservation de quantité de mouvement	U V	Sc Sc	$-\frac{\partial P}{\partial X}$ $-\frac{\partial P}{\partial Y} + (Ra_c Sc)C$
Equation de la conservation de concentration	C	1	0

Table 3 : table des équations de laplacien.

L'intégration de l'équation (4.1) sur le volume de contrôle représenté par la figure 4 mène à une relation algébrique entre les valeurs de la variable Φ au centre de la maille et sur les faces repérées, par convention, les situant par rapport aux points cardinaux E(Est), W(Ouest), S (Sud), N(Nord)

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + B_\Phi \quad (4.2)$$

Les coefficients a_E , a_W , a_N et a_S tiennent compte de la convection et de la diffusion à travers les quatre faces du volume de contrôle sont déterminés à partir d'un schéma hybride.

La méthode des volumes finis a pour avantage de garder les équations sous leur forme primitive contrairement aux méthodes fondées sur une formulation par fonction de courant vorticité.

Le problème du couplage pression vitesse est résolu en introduisant un champ de vitesses supposé connu permettant de déterminer le champ de pression à partir de l'équation de continuité. On utilise alors une procédure itérative de correction de pression et de vitesse de manière à ce que l'équation de continuité soit satisfaite. Nous avons utilisé pour cellule algorithmme SIMPLER dont les grandes lignes sont présentées ci-après.

Cet algorithmme nécessite que la discrétisation des champs de vitesse et de pression ne se fasse pas sur le même maillage. On doit ainsi définir :

- Un maillage principal pour calculer les variables P ainsi que C
- Un maillage décalé pour calculer U et V, dont les nœuds sont localisés à mi-distance de ceux du maillage principal, comme l'indique la figure 5.

Chaque composante U ou V du vecteur vitesse est décalée seulement suivant sa propre direction. Dans le maillage principal et décalé, les propriétés de conservation restent vérifiées.

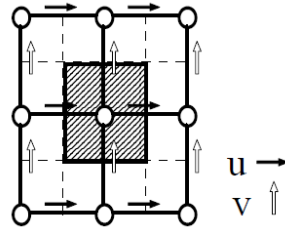


Figure 6 : Maillage utilisé dans l'algorithme SIMPLER

4.2.2 - Algorithme SIMPLER

L'algorithme SIMPLER est une amélioration de l'algorithme SIMPLE (Semi-Implicit Pressure Linked Equation) initialement développé par Patankar [20]. Il est basé sur l'utilisation d'un champ de vitesse estimé (U^*, V^*) qui permet une première évaluation du champ de pression P^* avec laquelle les équations de quantité de mouvement sont résolues pour obtenir les composantes U et V.

Les grandes lignes de l'algorithme SIMPLER dont une présentation plus détaillée est donnée, peuvent se résumer comme suit :

- 1- Donner un champ de vitesse initial.
- 2- Calculer les coefficients pour les équations de quantité de mouvement sans gradient de pression et déterminer les pseudo-vitesses U^* et V^* .
- 3- Calculer les coefficients de l'équation de pression déduite de l'équation de continuité et la résoudre pour obtenir un champ de pression.
- 4- Résoudre les équations de quantité de mouvement en U et V pour obtenir le champ de vitesse.
- 5- Résoudre l'équation en P' (erreur effectuée sur la pression)
- 6- Corriger le champ de vitesse sans corriger le champ de pression
- 7- Résoudre l'équation de température et de concentration

8- Vérifier les critères de convergence, sinon reprendre le calcul à partir de l'étape 3

9- Vérifier le temps final, sinon reprendre à partir de l'étape 2

4.2.3 - Résolution des équations et convergence

Il s'agit de résoudre aux différents stades du calcul des systèmes de la forme :

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + B_\Phi$$

La méthode de résolution classique consiste à résoudre ces équations en bloc sur une ligne (à X ou Y constant) qui se déplace de façon à balayer l'ensemble du domaine de calcul. Cette méthode est itérative et consiste à résoudre, à chaque itération, N systèmes tridiagonaux où N est le nombre de lignes dans la direction de balayage.

Dans notre cas, le balayage est vertical, c'est-à-dire que la résolution en bloc concerne les lignes horizontales ce qui permet de propager instantanément sur la largeur de la cavité les conditions imposées sur les parois actives.

Le test d'arrêt de processus itératif est fondé sur l'observation des résidus des équations de quantité de mouvement, de la masse, de la température et de la concentration. Ces résidus peuvent être définis localement pour chaque variable Φ :

$$R_\Phi = \sum_M a_M \Phi_M + B_\Phi - a_P \Phi_P \quad (4.3)$$

Le critère d'arrêt des itérations est :

$$\left| \sum_{i,j} R_{\Phi_{i,j}} \right| < \varepsilon$$

ε étant un infiniment petit fixé en fonction de la précision de convergence voulue.

4.2.4 Le maillage :

La méthode de discrétisation des équations aux dérivées partielles décrite nécessite la sélection de grilles géométriques.

Si nous prenons n'importe quelle fonction et utilisons le développement en série de Taylor et utilisons la méthode des différences finies au voisinage du point P (i, j) dans le graphique illustré.

Nous utilisons cette technique pour convertir un système d'équations aux Dérivées partielles en un système d'équations algébriques (discrétisation), qui sera résolu par une méthode appropriée.

Nous utilisons un maillage irrégulier serré près aux parois horizontales avec un nombre de maillage qui égale à (151X61)

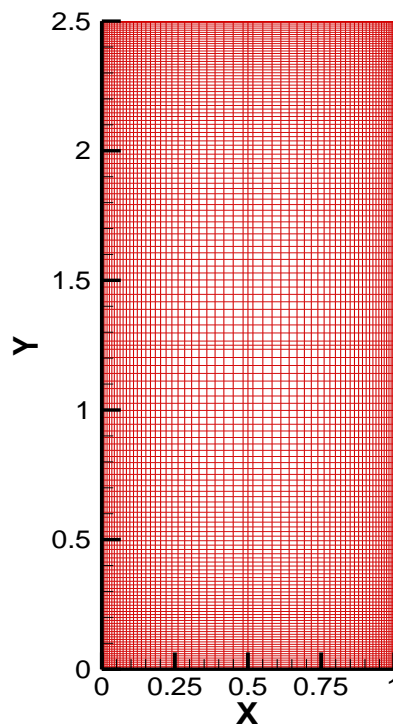


Figure7. Maillage irrégulier pour une cavité rectangulaire pour un maillage (151X61)

Chapitre 5:

Résultats et discussions

5.1 Les effets du nombre de Rayleigh sur la propagation du polluant

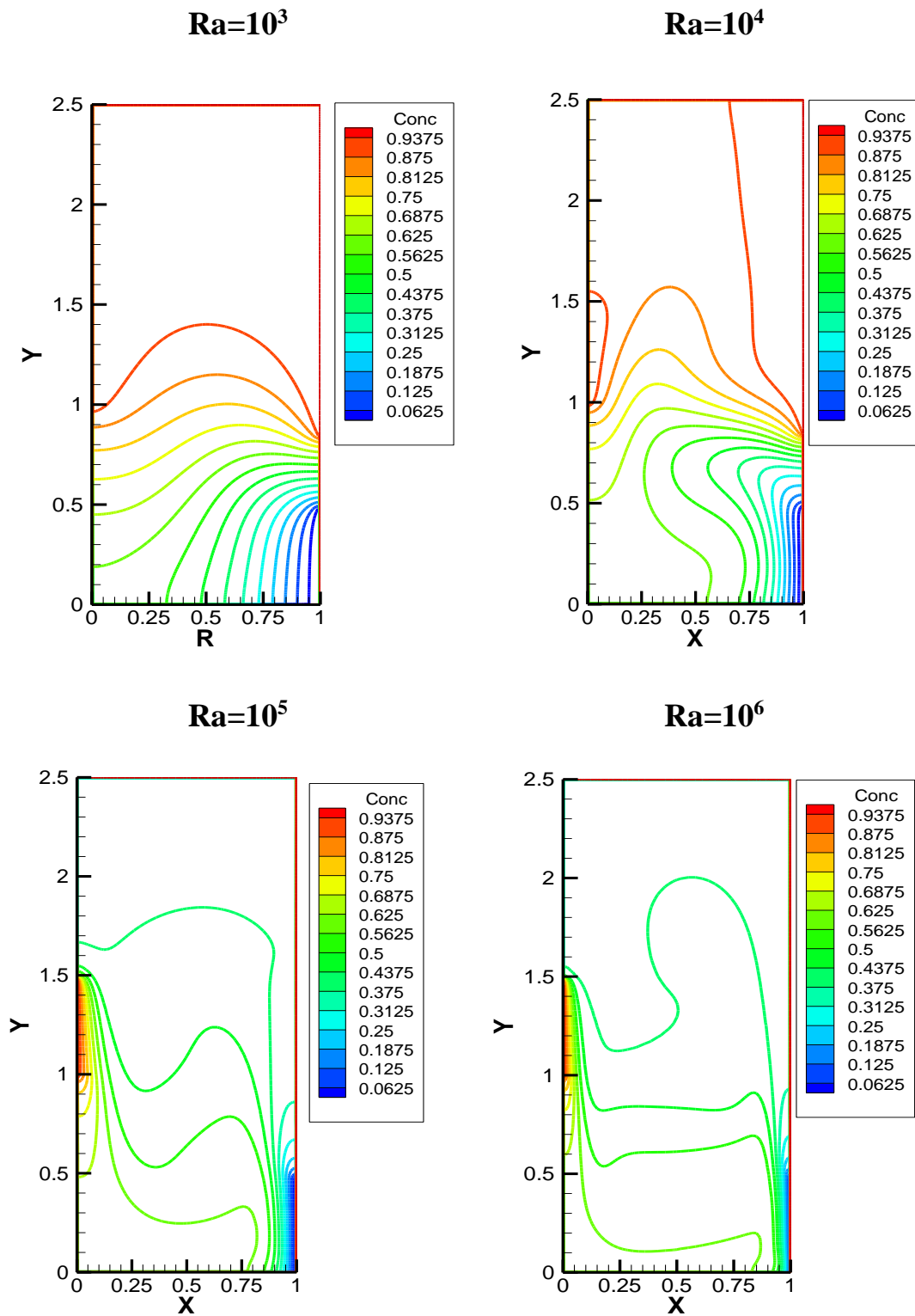


Figure 8 : la distribution de concentration pour différents nombres de Rayleigh

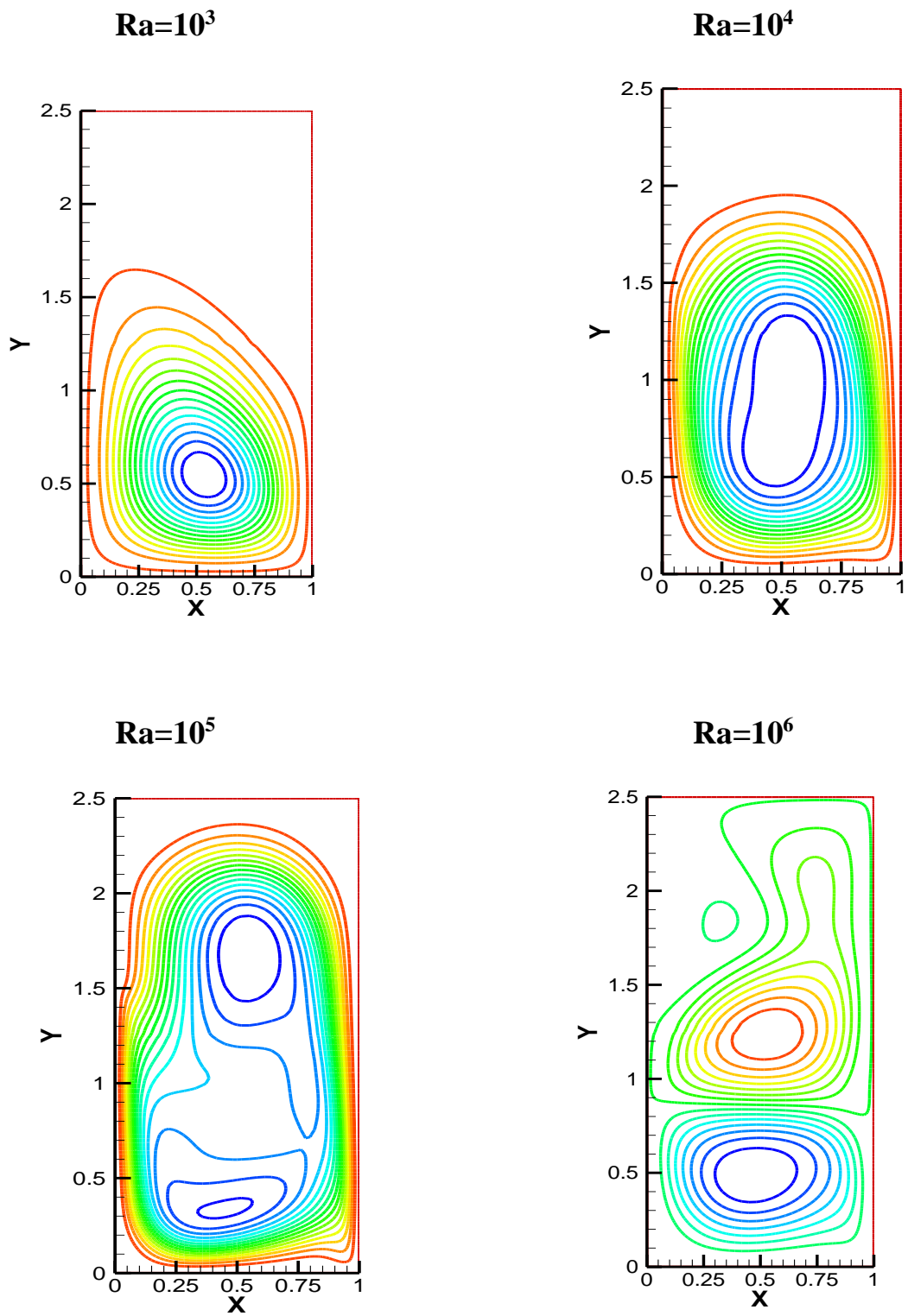


Figure 9 : les lignes de courant pour différents nombres de Rayleigh

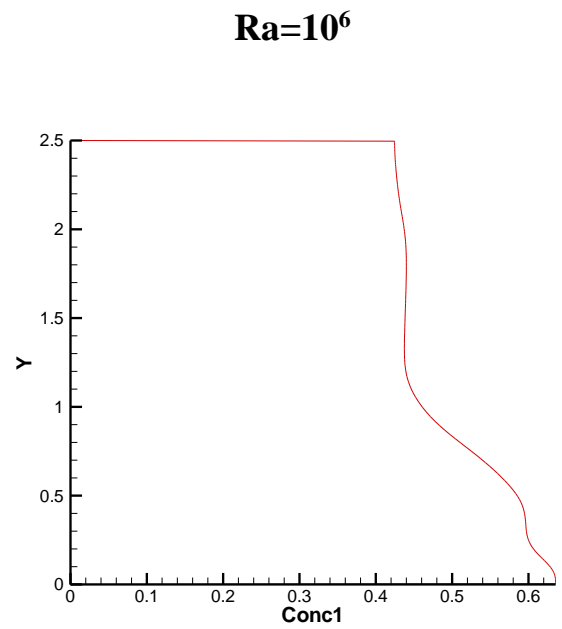
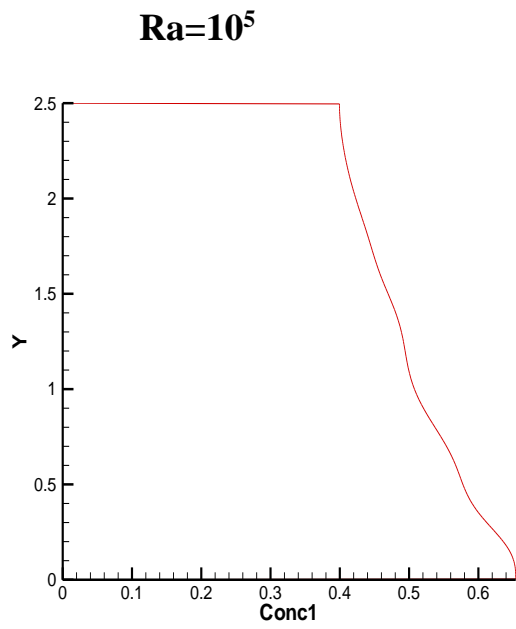
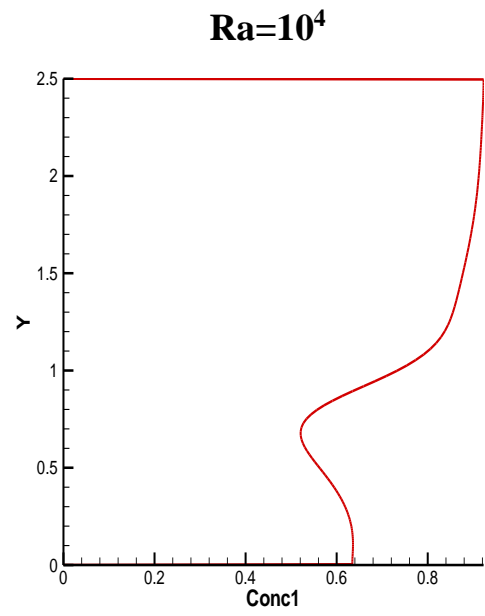
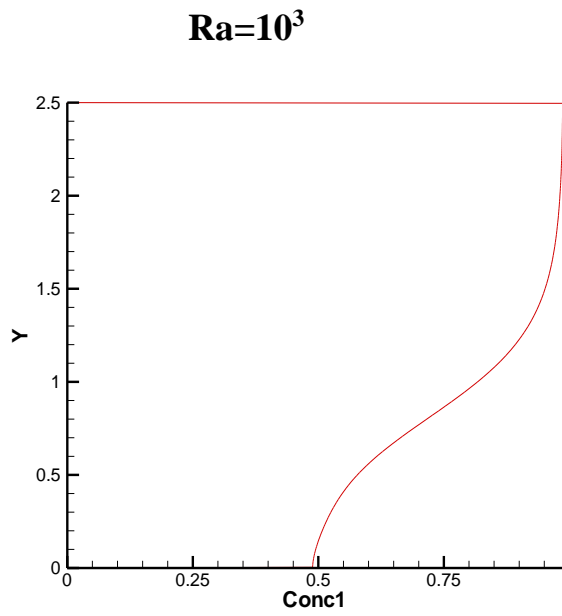


Figure 10 :les graphes de concentration pour différents nombres de Rayleigh

On remarque que pour un faible nombre de Rayleigh qui égale à 10^3 que la moitié supérieure de la cavité possède une concentration maximale (figure 8) entre $1.5 < y < 2.5$ ce qui conduit à une stagnation de fluide.

Par contre dans la moitié inférieure on remarque un gradient de concentration entre 2 parois partielles ayant les concentrations c_h et c_b et une cellule de faible mouvement dans le sens trigonométrique (figure 9).

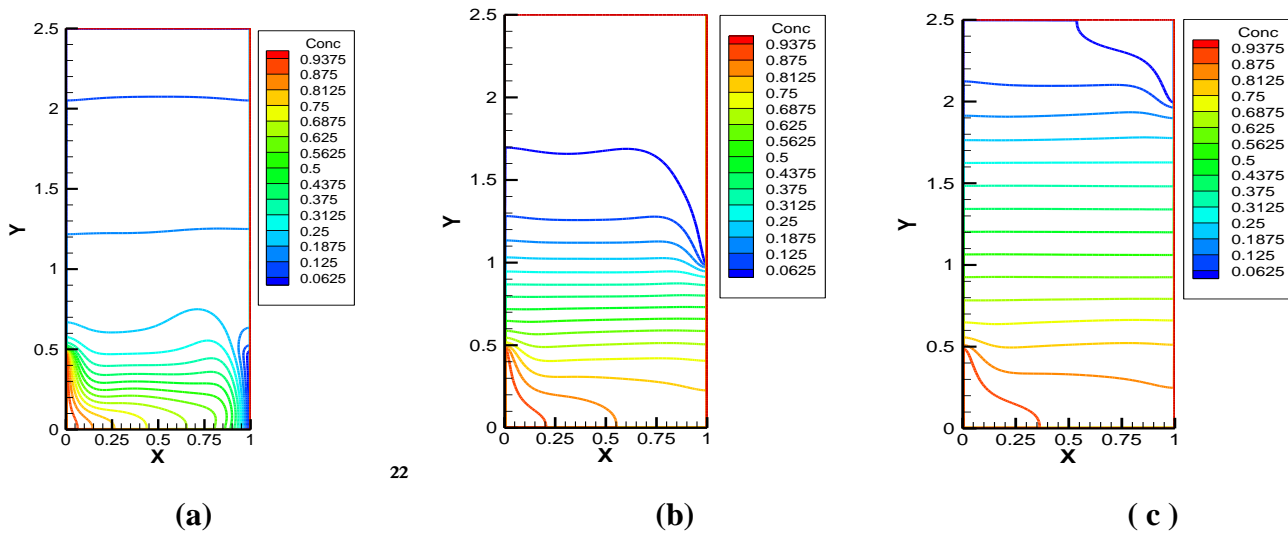
Lorsque le nombre de Raleigh augmente le gradient de concentration, occupe toute la cavité avec l'apparition d'une structure d'écoulement multicellulaire.

5.2 Les effets de la position de la source du polluant sur sa propagation

$X=0, C=C_h$, et $0 < Y < 0.5$
 $X=1, C=C_b$ et $0 < Y < 0.5$

$0 < Y < 0.5$
 $1 < Y < 1.5$

$0 < Y < 0.5$
 $2 < Y < 2.5$



22

Figure 11 : distribution de concentration pour les différentes positions de contaminant pour nombre de $Ra=10^5$

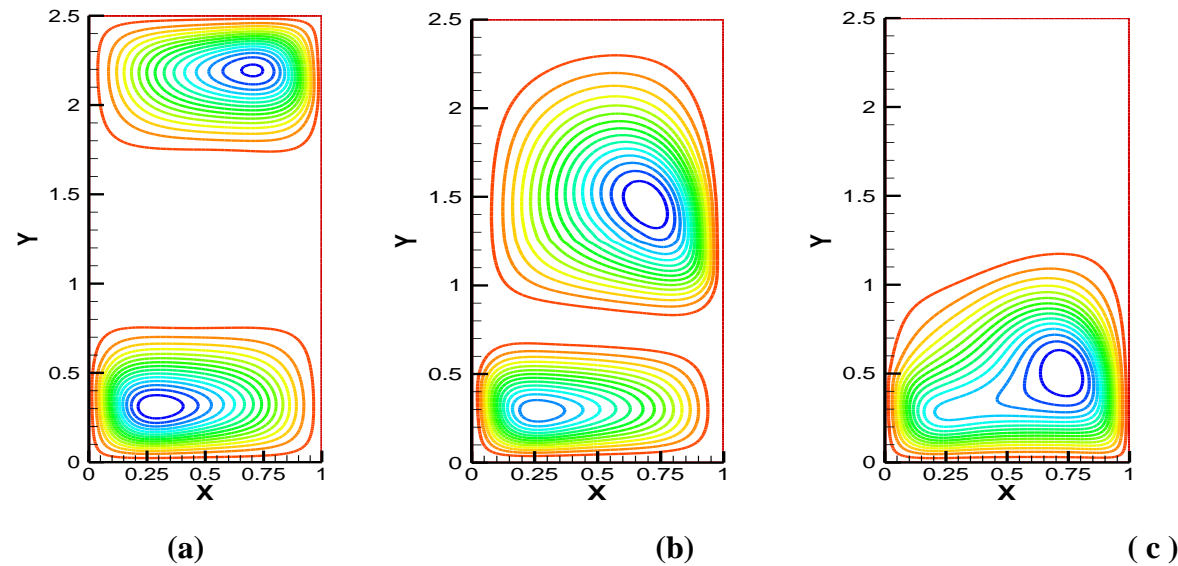


Figure 12 : les lignes de courant pour les différentes positions de contaminant pour nombre de $Ra=10^5$

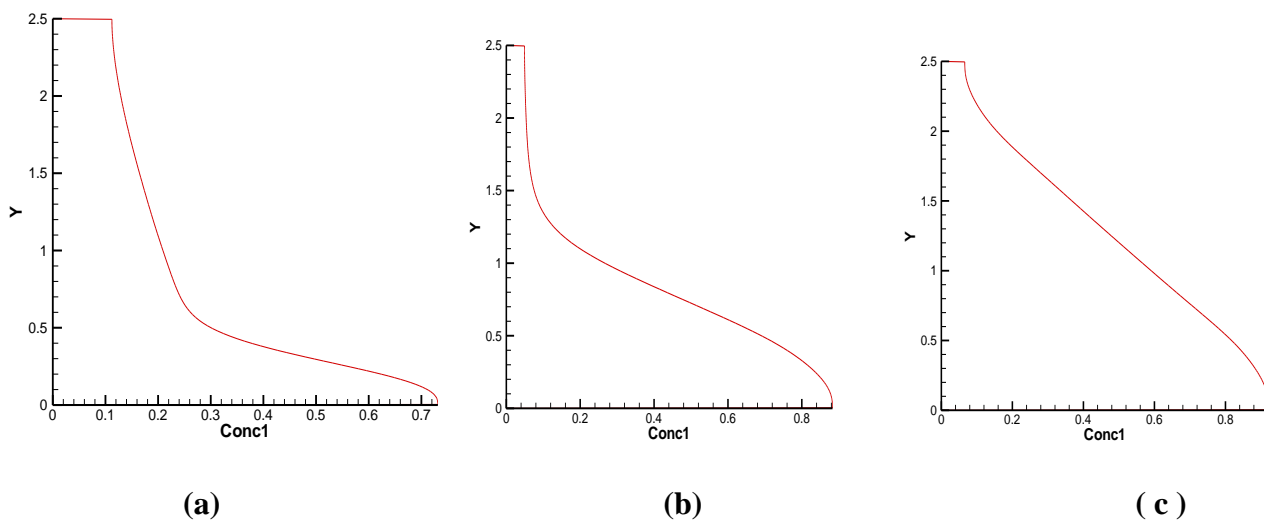


Figure 13 : graphes de concentration pour les différentes positions de contaminant pour nombre de $Ra=10^5$

Cette figure montre les lignes de courant pour un nombre de Rayleigh égale à 10^5 , la structure de l'écoulement est monocellulaire, lorsque le gradient de concentration est constant et la diffusion de masse est faible, on remarque une stratification horizontale stable (figure 11a et 11c).

Par conséquent, le polluant diffuse dans la direction du gradient de concentration existant, et lorsque le gradient de concentration est nul, la diffusion du polluant diminue et s'immobilise.

Nous voyons également une structure d'écoulement monocellulaire (figure 12a) au ralenti. Par contre, on remarque que la concentration maximale de la cavité (figure 13) est comprise entre $1,5 < Y < 2$, et il y a un écoulement multicellulaire.

Par conséquent, lorsque l'entrée et la sortie du polluant sont parallèles et au même endroit, nous retrouverons un flux monocellulaire, mais pour des emplacements différents, nous verrons un flux multicellulaire

$X=0, C=C_h$ et $1 < Y < 1.5$

$1 < Y < 1.5$

$1 < Y < 1.5$

$X=1, C=C_b$ et $0 < Y < 0.5$

$1 < Y < 1.5$

$2 < Y < 2.5$

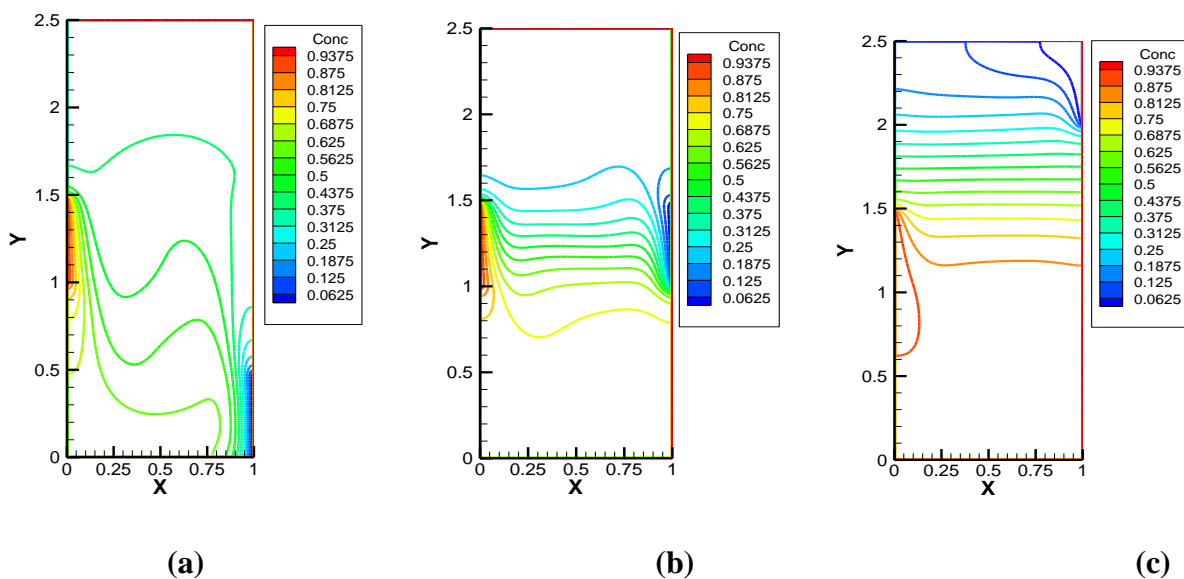


Figure 14 : distribution de concentration pour les différentes positions de contaminant pour un nombre de $Ra=10^5$

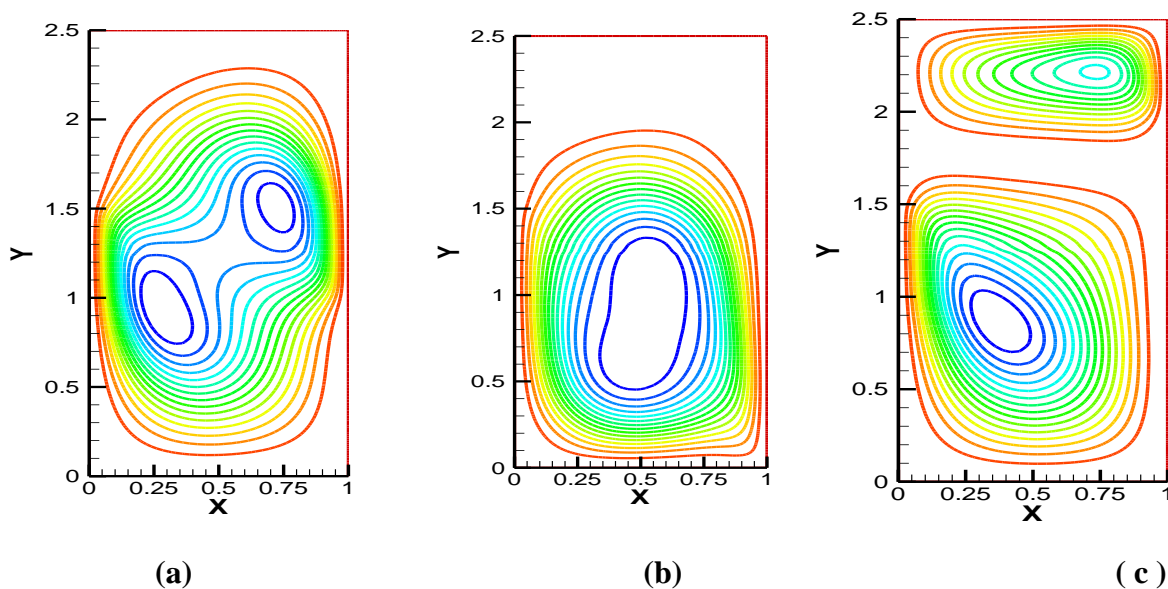


Figure 15 : les lignes de courants pour les différentes positions de contaminant pour un nombre de $Ra=10^5$

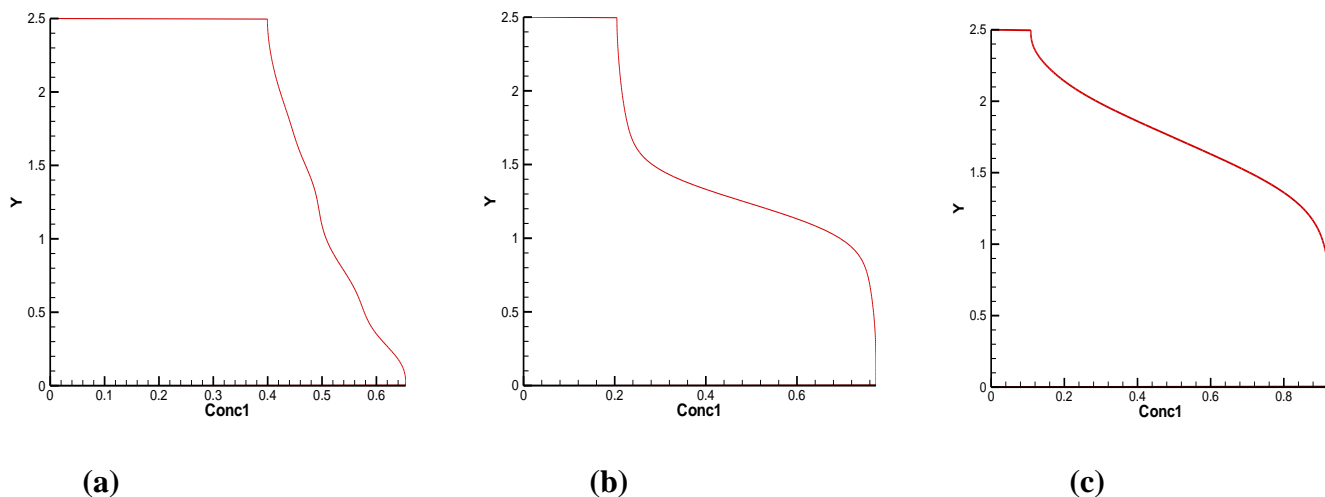


Figure 16 : graphes de concentration pour les différentes positions de contaminant pour un nombre de $Ra=10^5$

Nous pouvons remarquer qu'il y a un écoulement dans premier cas, c'est-à-dire qu'il y a une convection massique lorsque les deux parois à concentration constante sont décalées lorsque celle à concentration haute est surélevée par rapport à celle à concentration basse (Figure 14a).

Lorsque les deux parois à concentrations constantes sont à la même hauteur, la stratification au milieu est stable (figure 14b), le même constat peut être observé dans le troisième cas (figure 14c) lorsque les deux parois à concentration constante sont décalées ; mais lorsque celle à concentration basse est surélevé par rapport à celle à concentration haute.

La structure des écoulements passe d'un régime monocellulaire à un régime multicellulaire en fonction des positions relatives des parois à concentration constante (figure 15).

La concentration prend la valeur maximale à $0 < Y < 1$ (figure 16).

$X=0, C=C_h$ et $2 < Y < 2.5$

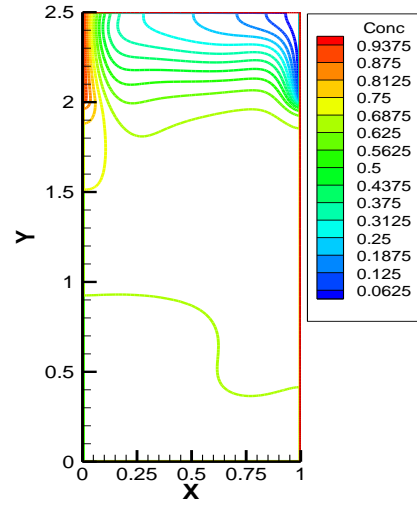
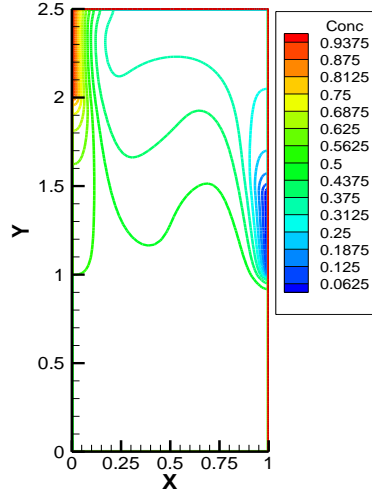
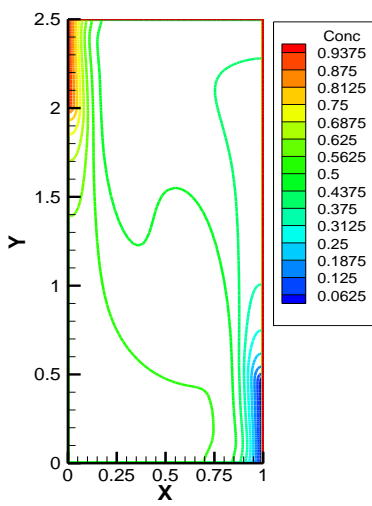
$2 < Y < 2.5$

$2 < Y < 2.5$

$X=1, C=C_b$ et $0 < Y < 0.5$

$1 < Y < 1.5$

$2 < Y < 2.5$

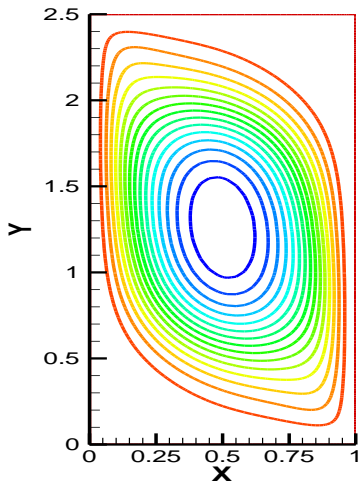


(a)

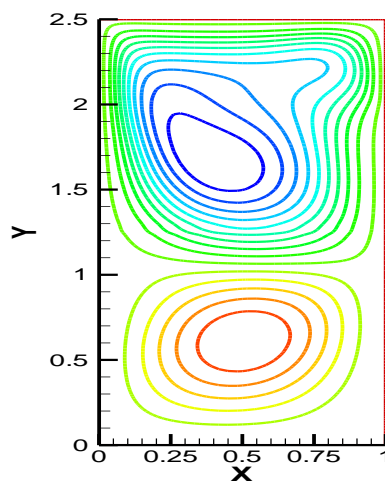
(b)

(c)

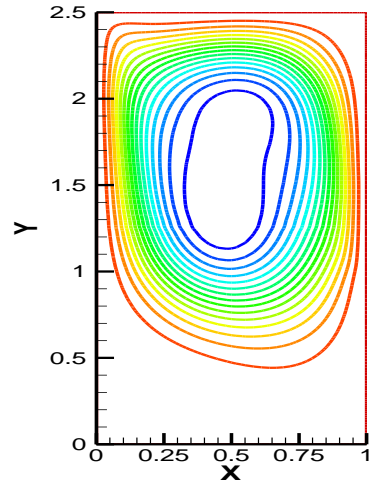
Figure 17: distribution de concentration pour les différentes positions de contaminant pour nombre de $Ra=10^5$



(a)

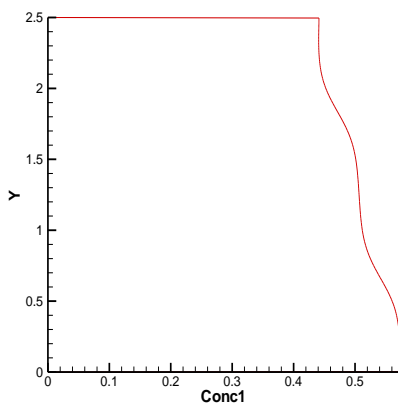


(b)

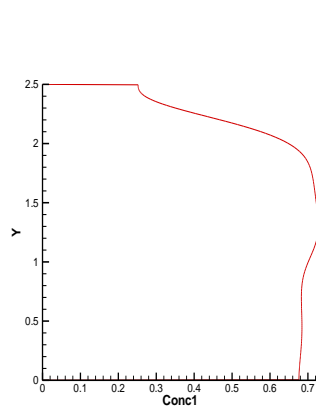


(c)

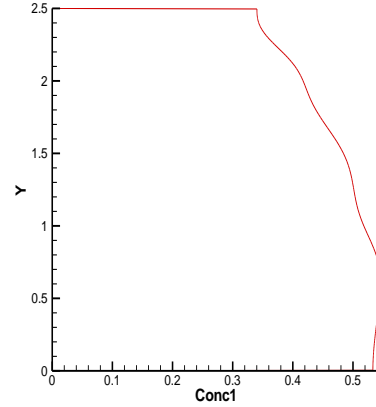
Figure 18 : les lignes de courants pour les différentes positions de contaminant pour nombre de $Ra=10^5$



(a)



(b)



(c)

Figure 19 : graphes de concentration pour les différentes positions de contaminant pour nombre de $Ra=10^5$

La convection de masse existe, car on voit une cellule qui occupe toute la cavité dans le premier cas (figure 17a).

Dans le deuxième cas l'écoulement occupe seulement une partie de la cavité comprise entre les deux parois à concentration constante (figure 17b).

Toujours dans le troisième cas, on remarque la présence d'un écoulement convectif de masse dans la moitié inférieure, car il y a un écoulement de convection et diffusion de masse dans la moitié supérieure (figure 17c). Nous remarquons un écoulement monocellulaire (figure 18a, b) et l'écoulement multicellulaire dans le troisième cas (figure 19c).

CONCLUSION

CONCLUSION :

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude numérique de transfert de masse par convection naturelle dans une cavité rectangulaire remplie d'air et contaminé par une source de monoxyde de carbone où les parois sont imperméables, sauf sur certaines parties de la cavité à différentes positions. Le comportement de la structure d'écoulement et de la distribution de concentration dans la cavité est analysé. Des simulations numériques sont effectuées sur des nombres de Rayleigh solutal ($Ra = 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$). Le comportement de la propagation d'un polluant en régime convectif et diffusif a été mis en évidence à l'aide de l'algorithme de calcul FORTRAN pour déterminer la distribution de concentration et les lignes de courant, en utilisant la méthode des volumes finis.

Ainsi, nous avons remarqué malgré l'augmentation du nombre de Rayleigh l'apparition du régime convectif dépendra de la position de la paroi partielle à haute concentration par rapport à la paroi partielle à basse concentration.

Pour un faible du nombre de Rayleigh de l'ordre de 10^4 , on peut presque observer la dominance de la diffusion de masse. Mais la convection domine et apparaît plus clairement lorsque $Ra = 10^5$ et $Ra = 10^6$, mais lorsque la paroi partielle à haute concentration se trouve à hauteur plus élevée par rapport à la paroi partielle à basse concentration

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Référence bibliographique :

- [1] J.H. Jang, W.M. Yan and H.C. Liu, "Natural convection heat and mass transfer along a vertical Wavy surface", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 46, pp. 1075-1083, 2003.
- [2] I.E. Sarris, I. Lekakis, N.S. Vlachos. "Natural convection in rectangular tanks Heated locally from below". *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 47, 3549–3563. (2004).
- [3] S. Benissaad, M. Afrid and Z. Nemouchi, "Simulation tridimensionnelle de la convection naturelle à double diffusion dans le CAS opposant", *Sciences &Technologie A*, vol. 25, pp. 37-47, 2007 .
- [4] V. Sévéléder and J.P. Petit, "Flow structures induced by opposing forces in double diffusion natural convection in a cavity", *Numerical Heat and mass Transfer Part A*, vol. 15, pp. 431-444, 1989.
- [5] V.A.F. Costa, "Double diffusive natural convection in a square enclosure with heat and mass diffusive walls", *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 40, pp. 4061-4071, 1997.
- [6] A. B. Rahimi and R. Nikbakhti, "Double-diffusive natural convection in a rectangular cavity with partially thermally active sidewalls", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 43 (4), pp. 535-541, 2012.
- [7] K.Al-Farhany and A.Turan, "Numerical study of double diffusive natural convective heat and mass transfer in an inclined rectangular cavity filled with porous medium ", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol 39, Issue 2, p 174-181,2012.
- [8]. S.V.Patankar "*Numerical heat transfer and fluid flow*", Londres: Mac Graw Hill, 1980. 197p.
- YUNUS A. ÇENGEL AND AFSHIN J. GHAJAR "heat and mass transfer"
,"fondamental & applications " sixth edition.