

SIMULATION NUMERIQUE DE LA CONVECTION SOLUTALE DANS UN MILIEU CONFINE

L. FETTAR¹, M. KADJA²

¹Université 20 AOUT Skikda, Algérie, fettarl@yahoo.fr
² LEAP, Université Constantine 1, Algérie, kadja_mahfoud@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le présent travail traite le problème de la convection solutale dans une solution aqueuse. C'est une simulation numérique de la convection naturelle contenue dans une cavité rectangulaire horizontale, où l'écoulement est induit par un gradient vertical de concentration. L'analyse de ce phénomène est contrôlée par la distribution de la masse volumique du mélange. Les résultats obtenus font apparaître la stabilité du phénomène sous l'influence de la fraction massique, de la concentration, de la taille des parois latérales et de la nature du fluide. La résolution des équations régissant l'écoulement est faite avec le code FLUENT.

Mots Clefs: Transfert de masse, Convection solutale, Gradient de densité, Instabilités

NOMENCLATURE

Symboles :

P pression, Nm^{-2}
f forces extérieures de volumes
D coefficient de diffusion, m^2s^{-1}
X fraction volumique
U vitesse, ms^{-1}
J flux diffusif de l'espèce
x coordonnées spatiale

Lettres grecques :

ρ masse volumique, kgm^{-3}
 τ tenseur de contrainte visqueuses
X fraction volumique

Indices :

k espèce d'un mélange

1. INTRODUCTION

L'étude des transferts de chaleur est la première à être intensivement intéressée à la convection naturelle. Il s'en suit que la convection naturelle signifie souvent la convection d'origine thermique ce qui est effectivement l'origine dominante de la convection. Quand il s'agit de chaleur, on parle de convection thermique. En général, les fluides se dilatent quand leur température augmente. Ce fluide plus léger a tendance à monter, partant réchauffer les régions supérieures. Réciproquement, les parties froides tombent. Il existe aussi la convection solutale : l'eau salée est plus lourde que l'eau pure. L'évaporation, peut concentrer en surface l'eau de mer qui coule pour être remplacée par de l'eau moins salée.

La convection intervient partout dans notre vie de tous les jours. Tous les vents, les courants dans les océans, ont pour origine la convection, thermique ou solutale. Les transferts de chaleur et de masse dans les systèmes

physiques dans lesquels l'écoulement fluide transite soudainement d'un régime laminaire fortement organisé spatialement et temporellement vers un régime plus désordonné, voire chaotique est fortement étudié. Aux alentours de 1900 des recherches furent entreprises sur la convection naturelle. En 1916, Lord Rayleigh qui fut le théoricien de la convection au début du 20^e siècle, publia un article tentant d'expliquer les résultats de Bénard. Le problème appelé, aujourd'hui, de Rayleigh-Bénard concerne la stabilité et le mouvement d'un fluide, confiné entre deux plaques horizontales, maintenues à des températures uniformes distinctes et soumis au champ de gravitation. De nombreux travaux ont été menés afin d'étudier la mise en place des cellules de convection et les géométries qu'elles forment dans l'espace. La convection solutale dans le milieu confiné est similaire à celui de la convection Rayleigh Bénard. C'est le gradient de concentration qui crée l'instabilité. Si les méthodes et approches développées en convection thermique ont pu être transposées à la convection solutale, il n'en demeure pas moins que le problème solutal est beaucoup plus compliqué que le problème thermique. Ce type de convection naturelle a suscité un intérêt grandissant depuis une trentaine d'années, notamment sur le plan industriel et, plus particulièrement, en métallurgie et procédés mettant en jeu des mélanges de fluides.

2. MODELE MATHEMATIQUE/METHODE EXPERIMENTALE

Le cas abordé dans cette présente étude est ce lui d'un écoulement confiné dans une cavité rectangulaire fermée avec un rapport d'aspect $\Gamma = 2$. C'est le rapport L/D , L est la longueur de la cavité et D sa hauteur. Le mélange fluide est confiné entre deux plaques rigides horizontales. La plaque inférieure et supérieure sont maintenues à des concentrations respectivement notées C_2 et C_1 ($C_2 > C_1$) uniformes et constantes. La modélisation mathématique de ce type d'écoulement avec transfert de masse est faite par les équations de conservation (continuité, de mouvement et d'espèce).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (j : \text{indice de somme, } j=1 \sim 3) \quad (1)$$

$$\frac{D}{Dt}(\rho U_i) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + f_i \quad (i : \text{indice de direction, } j=1 \sim 3) \quad (j : \text{indice de somme, } j=1 \sim 3) \quad (2)$$

Pour un mélange à N constituants, il faut résoudre $N-1$ équation de transport de la fraction massique d'espèce de la forme:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho X_k) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} X_k) = -\nabla \cdot \vec{J}_k + R_k + S_k \quad (3)$$

où les termes R_i (taux massique de réaction) et S_i (taux de création) sont nuls ici. Il subsiste donc dans les termes sources sauf le terme de diffusion massique qui est de la forme :

$$\vec{J}_k = -\rho D_k \nabla X_k \quad (4)$$

Le modèle étudié est simplifié en tenant compte des hypothèses suivantes; L'écoulement est bidimensionnel, en régime permanent, le fluide est newtonien incompressible aux propriétés physiques constantes, il n'y a ni réaction chimique ni source de chaleur et ni source de masse. On adoptant l'approximation de Boussinesq où la densité est la seule propriété du fluide affecté par la variation de la concentration.

La méthode numérique de résolution des équations avec les conditions aux limites appropriées incorporé dans le code de calcul fluent, est la méthode des volumes finis décrite par S.Patankar(1973).

3. RESULTATS

Influence du maillage:

Un facteur important de la simulation est l'effet du maillage sur l'apparition du phénomène. Nous avons retenue ici quatre maillages du moins précis au plus serré.(50x50), (60x60), (80x80), (100x100) ,avec la même concentration $S= 35\text{g/l}$ et les même conditions aux limites nous avons obtenues les résultats suivants.

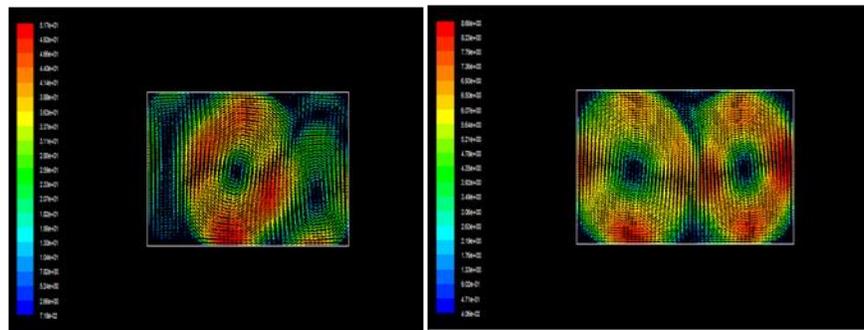


FIGURE 1 : les contours de la vitesse du maillage (50x50).(60x60)

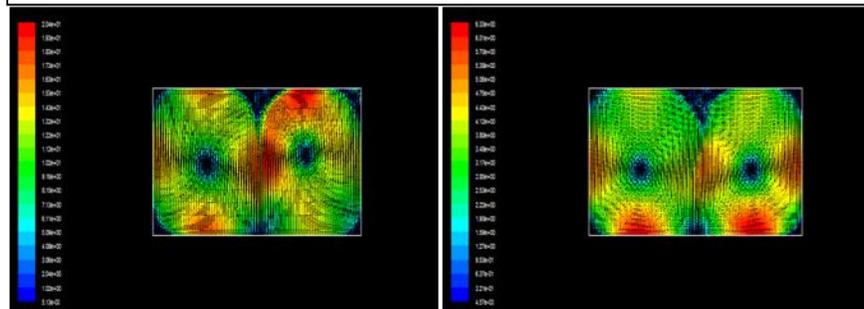


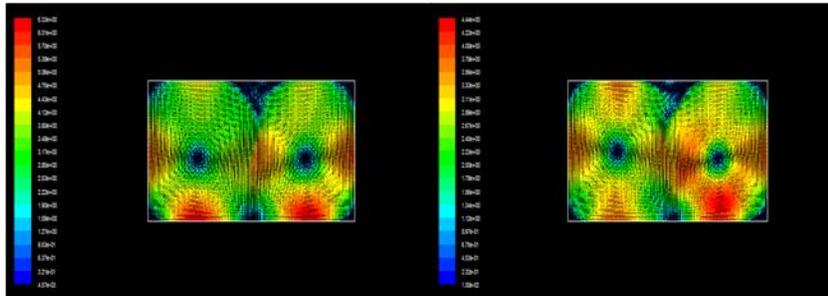
FIGURE 2 : les contours de la vitesse du maillage (80x80).(100x100)

Nous avons remarqués que la taille du maillage ainsi que le nombre d'iterations influent directement sur le déclenchement de l'instabilité ,l'apparition des rouleaux contra- rotatifs et leur stabilité .

Influence de la fraction massique

Fraction $X=0.9$ d'eau salée

Fraction $X=0.8$ d'eau salé



Fraction $X=0.7$ d'eau salée

Fraction $X=0.6$ d'eau salé

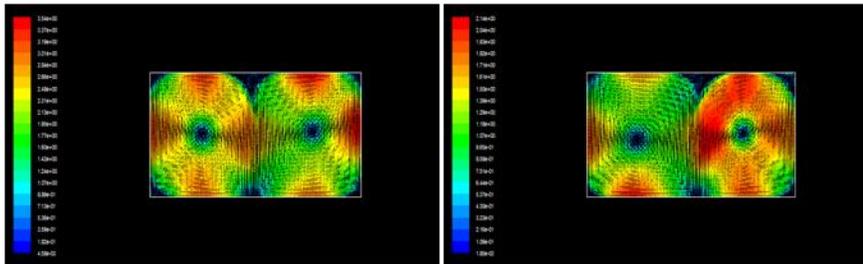
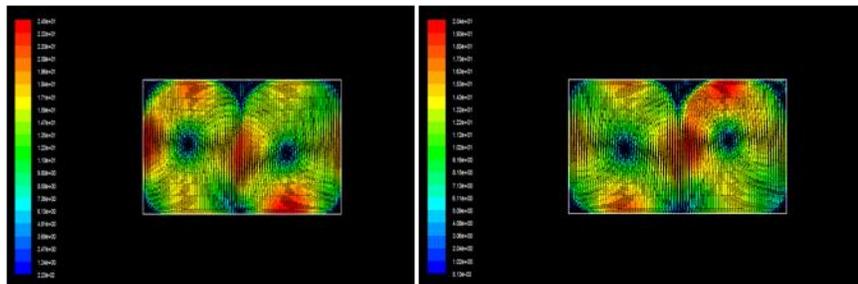


FIGURE 3 : les contours de la vitesse pour différentes fraction pour un maillage (100x100)

Fraction $X=0.9$ d'eau salée

Fraction $X=0.8$ d'eau salée



Fraction $X=0.7$ d'eau salée

Fraction $X=0.6$ d'eau salé

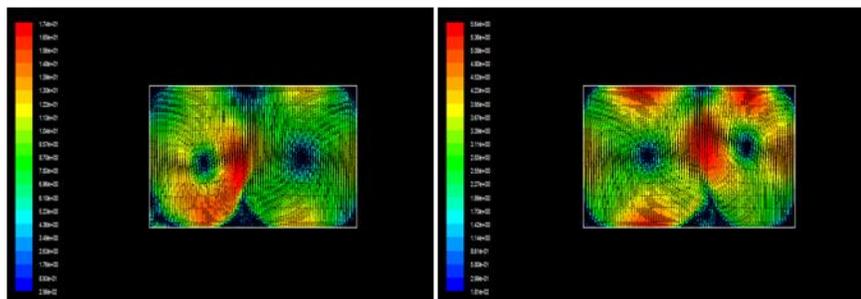


FIGURE 4 : les contours de la vitesse pour différentes fraction pour un maillage (80x80)

Les figures 3- 4montrent que pour des différents jeux de conditions aux limites et un même maillage il y a apparition des rouleaux de convections et que la vitesse tend à augmenter au fur et à mesure que la fraction massique s'accroît.

Tous les resultats si dessous ont été effectué en fixant un maillage de (100x100).

Influence de la concentration

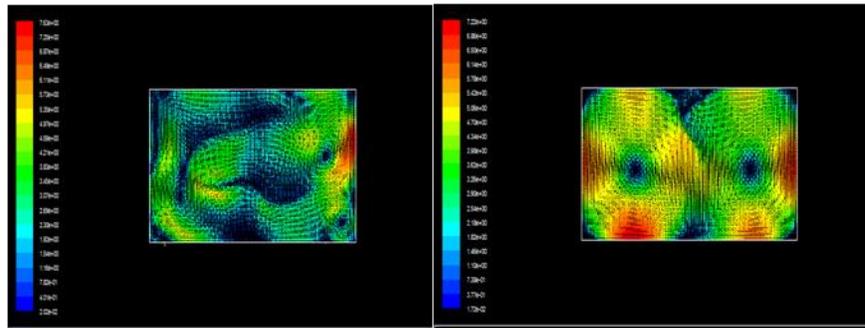


FIGURE 5 les contours de la vitesse pour S=5 g /l.et S=10 g /l.

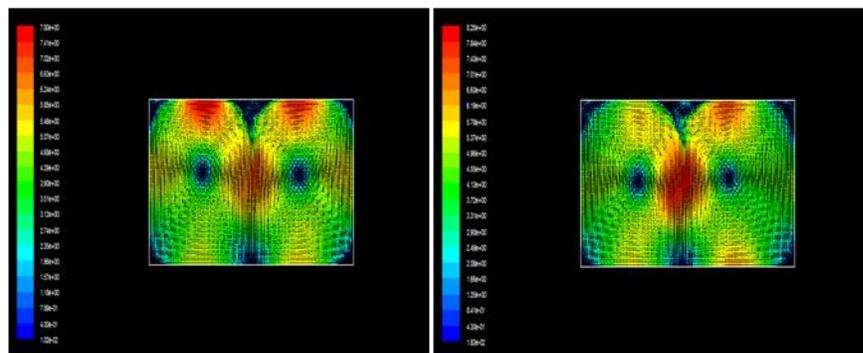


FIGURE 6 : les contours de la vitesse pour S=35 g /l.et S=40 g /l

Les figures5-6 déterminent le seuil de convection, la mise en mouvement des cellules commence à partir d'une concentration de 10g/l. les contours de vitesse montrent que l'augmentation de la concentration contribue à l'augmentation de l'intensité de l'écoulement.

Influence des parois latérales

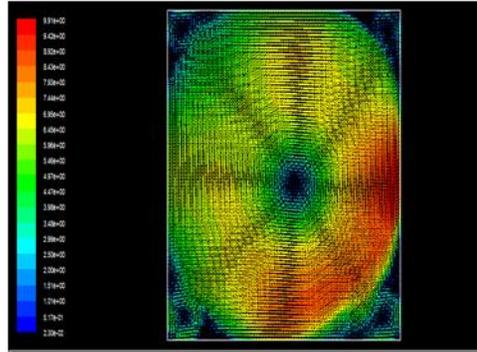


FIGURE 7 : les contours de la vitesse pour $\Gamma=1$.

- Apparition d'un seul rouleau de convection.

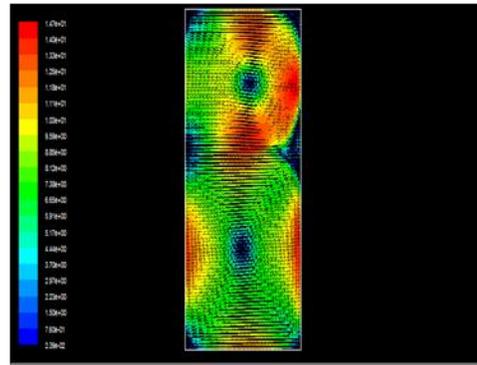


FIGURE 8 : les contours de la vitesse pour $\Gamma=2$ lateral.

- Apparition des 2 rouleaux de convection.

Les figures 7-8 montrent que la géométrie est liée directement avec le nombre de rouleaux du fluide, ce qui est en accord avec la théorie où l'augmentation du rapport d'aspect entraîne l'augmentation du nombre des rouleaux convectifs.

Influence de la nature du fluide

Les figures 9-10 l'utilisation du mélange eau sucre et du mélange eau acide dont la concentration est 35g/l, 65g/l) respectivement à la place du mélange eau sel nous permet de voir l'effet du mélange fluide sur la partition des rouleaux de convection. Le phénomène est omni présent pour différents mélanges.

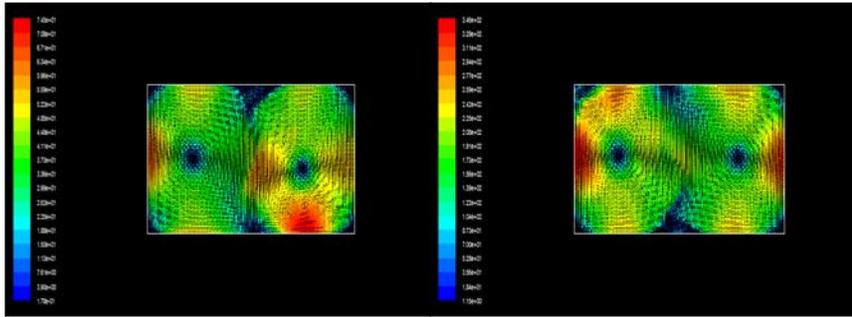


FIGURE 9 : les contours de la vitesse pour (eau-sucre), (eau –acide).

4. CONCLUSIONS

Le présent travail est une étude numérique qui détermine et illustre les instabilités naissant du transfert de masse. C'est une simulation numérique de la convection naturelle contenue dans une cavité rectangulaire horizontale où l'écoulement est induit par un gradient vertical de concentration. L'analyse de ce phénomène est contrôlée par la distribution de la masse volumique du mélange. Les résultats obtenus à l'aide du code de calcul fluent font apparaître la stabilité du phénomène sous l'influence de la fraction massique, de la concentration, de la taille des parois latérales et la nature du fluide.

Au cours de cette étude nous avons vérifié des résultats théoriques de la convection due au gradient de concentration l'existence de l'instabilité hydrodynamique massique. Nous avons montré que les rouleaux convectifs sont omni présents quelque soit le maillage, la concentration, la géométrie et la nature du mélange fluide. Nous avons montré que l'augmentation de l'intensité est liée directement à la fraction massique et à la concentration du mélange. La structure convective est liée directement avec la géométrie de la cavité.

REFERENCES

- [1] G.lauriat, modélisation et simulation de la convection naturelle dans un mélange binaires des gaz parfaits P.
- [2] K.mouslem et M fellous Contribution à l'étude numérique de la convection dans les milieu confiné.2010
- [3] B.Glades,S.Ragheb, F.Chakib,A.Mottabi Etudedu transfert de chaleur en convection naturelle dans les nanofluide,*congrés de la société francaise*, 2008
- [4] D.Ersan, X.Thibaut,Etude des instabilités Rayleigh-bénard 2010
- [5] E.Delouche,G.Labrosse, Convection termosolutale avec effet soret en milieu confine,*université de paris 11 orsay,France*1996
- [6] A. Benkhelifa , F. Penot Sur la convection de Rayleigh-Bénard turbulente Caractérisation dynamique par PIV *Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N°4 (2006) 341 – 354*