

SIMULATION NUMERIQUE DE L'EFFET THERMOCAPILLAIRE SUR LA CONVECTION NATURELLE DANS UNE CAVITE RECTANGULAIRE.

BEKKOUCHE samia¹, KADJA Mahfoud²

¹Université du 20aout 1955, Skikda; samix21000@yahoo.fr

Laboratoire d'Energétique Appliquée et de Pollution, Constantine, kadja_mahfoud@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Résumé : La présente étude concentre sur l'influence des forces de surface sur l'écoulement convectif d'une huile de silicone contenue dans une enceinte rectangulaire différentiellement chauffée. La surface libre de l'enceinte est indéformable et toute interaction avec l'air est négligée. Les équations qui régissent l'écoulement hydrodynamique et le transfert de chaleur sont décrites par les équations de Navier Stokes et de l'énergie. La méthode numérique des volumes finis avec l'Algorithme SIMPLE a été utilisée pour la résolution numérique des équations de conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie.

Les effets du nombre de Rayleigh et de Marangoni sur l'écoulement du fluide et sur les transferts de chaleur dans l'enceinte seront analysés et discutés.

Mots Clés: *convection naturelle, thermocapillaire, enceinte rectangulaire*

NOMENCLATURE

Symboles :

T_0 température de référence, K

T température, K

g accélération de pesanteur, m/s^2

a diffusivité thermique, $m^2 s^{-1}$

Lettres grecques :

ρ Masse volumique, kgm^{-3}

β Coefficient de dilatation thermique, K^{-1}

σ Tension superficielle, N/m

ν viscosité cinématique, $m^2 s^{-1}$

Ra Nombre de Rayleigh

Ma Nombre de Marangoni

Indices / Exposants :

x, y composantes selon x, y
des variables dimensionnelles

1. INTRODUCTION

Les écoulements convectifs naturels ou thermocapillaires suscite un grand intérêt dans les activités de recherche en raison de leur importance dans les phénomènes naturels et aussi dans de nombreuses applications industrielles telles que l'évaporation, le séchage des solutions polymère/solvant, la croissance cristalline, les procédés de bombardement électronique d'un métal liquide, etc.

L'écoulement de liquide le long de l'interface de zones de faible tension superficielle vers les zones de forte tension superficielle porte le nom du physicien italien Carlo Marangoni(1840-1925) qui a décrit ce phénomène pour la première fois dans les années 1870. Depuis l'observation des structures hexagonales par Bénard (1901) qui sont dues non seulement aux effets thermogravitaires mais aussi aux effets thermocapillaires, de nombreuses études ont été menées sur la stabilité des écoulements convectifs d'origine thermocapillaire. Ces écoulements sont caractérisés par une multitude de mécanismes physiques interactifs et montrent une grande variété de structures régulières ou complexes.

2. MODELE MATHEMATIQUE

La configuration étudiée dans ce travail est présentée sur la figure.1. Le fluide est une huile de silicone confinée dans une cavité rectangulaire de largeur égale à $L= 0.05\text{m}$ et de hauteur $h = 0.001\text{m}$. Les parois verticales droite et gauche de la cavité sont maintenues isothermes à des températures différentes afin de créer un gradient de température horizontale, elles sont portées respectivement aux températures $T_{\text{chaude}} = (T + \Delta T)$ et $T_{\text{froide}} = T$, tandis que la paroi inférieure est thermiquement isolée et la paroi supérieure est libre (en contact avec de l'air) droite et indéformable.

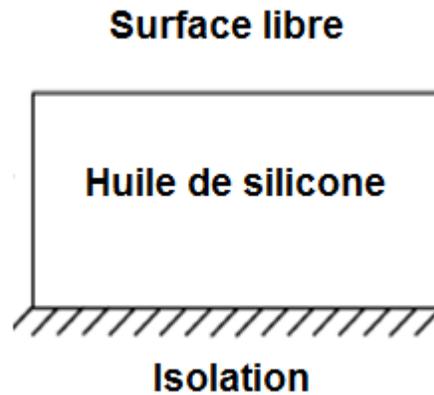


Figure1: Géométrie du problème

La surface du fluide est supposée plane et le fluide est supposé newtonien, incompressible et en écoulement laminaire, stationnaire et bidimensionnel. Les sources des chaleurs internes et la dissipation visqueuse sont supposées négligées. Les propriétés thermophysiques sont supposées constantes sauf pour la masse volumique qui est approchée dans le terme de gravité en considérant l'hypothèse de Boussinesq : $\rho = \rho_0 (1 - \beta(T - T_0))$,

EQUATIONS GOUVERNANTES

Equation de continuité:
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Equation De La Variation de la Quantité de Mouvement selon x

$$-\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

Equation De La Variation de la Quantité de Mouvement selon y

$$-\mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial y} = -\rho g$$

Equation d'énergie: $u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$

Conditions aux limites : A ces équations sont associées des conditions aux limites. La paroi gauche est soumise à une température constante T_c tandis que la paroi froide (la paroi droite) est soumise à une température constante T_f . La condition d'adiabacité $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$ est adoptée pour les autres parois (inferieur et superieure). Pour compléter la modélisation de la convection thermocapillaire, à la surface libre on ajoute la condition suivante:

$$\mu \frac{\partial u}{\partial y} = -\gamma \frac{\partial T}{\partial x}$$

RESULTATS

PREMIER CAS Ma=0

CHAMPS DYNAMIQUES

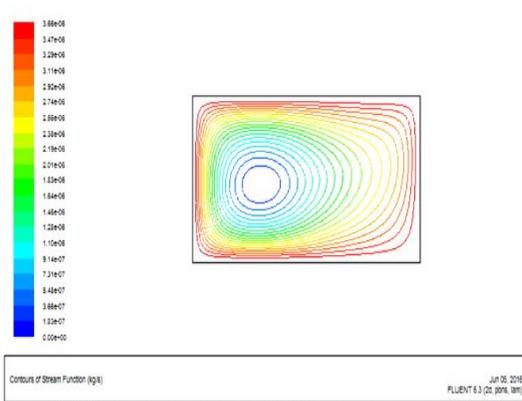


FIG a: Ra= 1.29

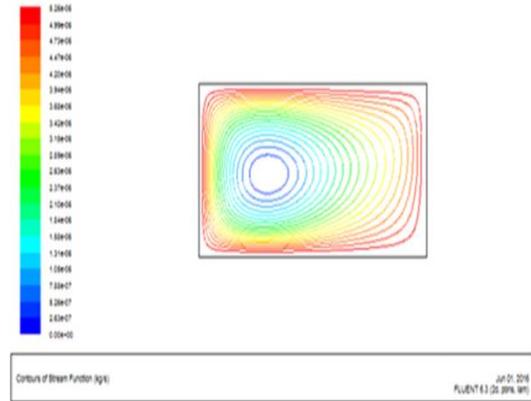
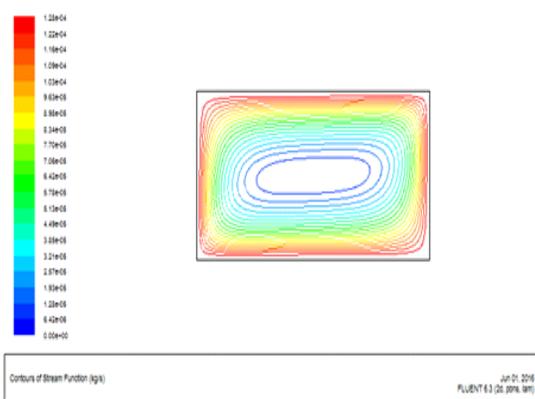


FIG b: Ra=102



FIGc: Ra= 102

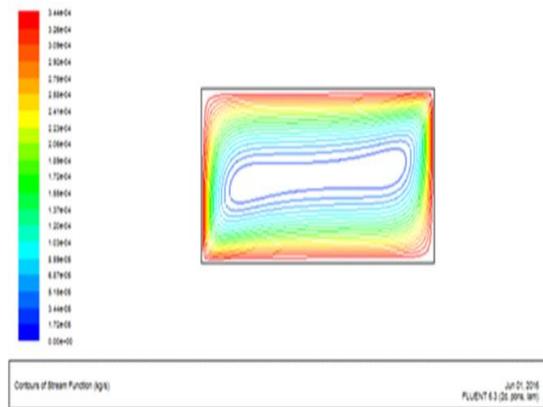


FIG d: Ra=512

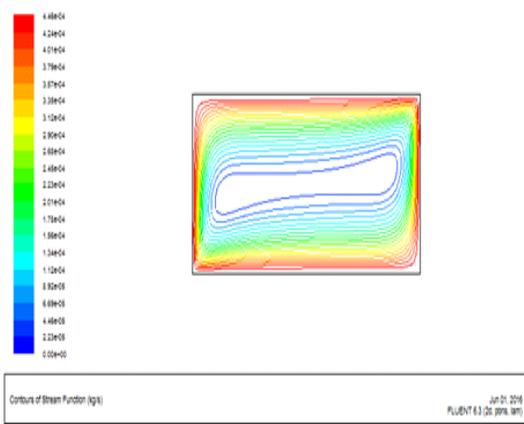


Fig e: Ra= 819

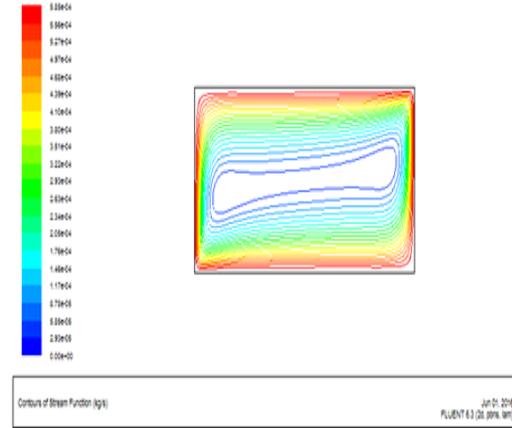


Fig f: Ra=1380

FIGURE 2. Champs dynamique pour différents nombre de Rayleigh

Les effets thermiques engendrent une cellule de convection dans toute la cavité à part la région centrale où le fluide est resté immobile. Le fluide reste monocellulaire en augmentant le nombre de Rayleigh. L'augmentation du nombre de Rayleigh intensifie la circulation de l'huile de silicone près des parois verticales

CHAMPS THERMIQUE

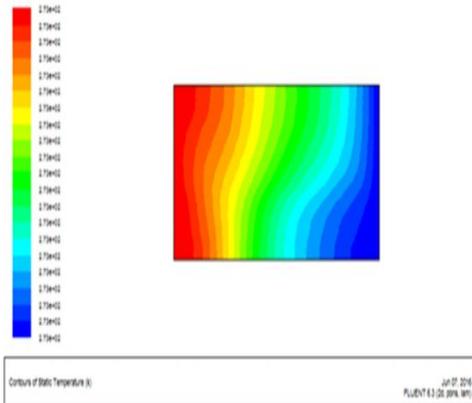


FIG a: Ra= 1.79

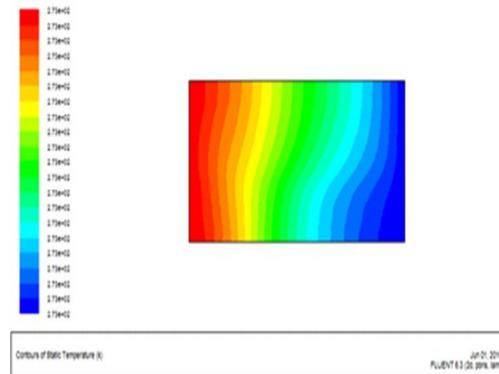


FIG b: Ra=2.56

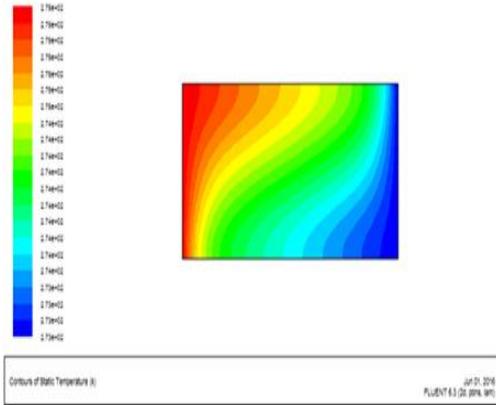


FIG c: Ra= 102

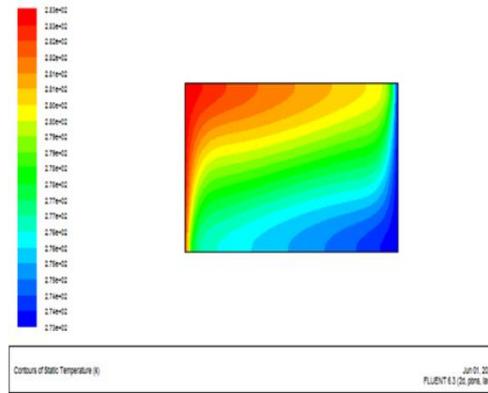


FIG d: Ra =512

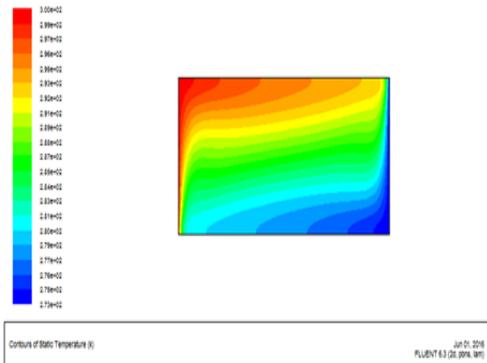


FIG e: Ra= 819

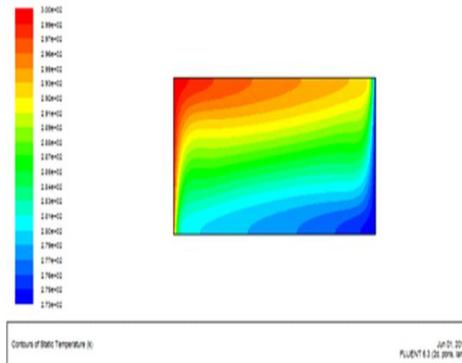


FIG f: Ra=1380

FIGURE3. Champs thermique pour différents nombre de Rayleigh

En thermogravité la source du mouvement est la force volumique d'Archimède, le paramètre de contrôle de ce mouvement est le nombre de Rayleigh. La figure 3 montrent les niveaux thermiques atteints dans l'enceinte, et cela pour différent Rayleigh. Au début Le champ thermique est marqué par une stratification verticale à l'intérieur de la cavité et au fur et à mesure qu'on augmente le nombre de Rayleigh (Ra) la stratification devient horizontale.

- CAS (Ma ≠ 0)

CHAMPS DYNAMIQUES

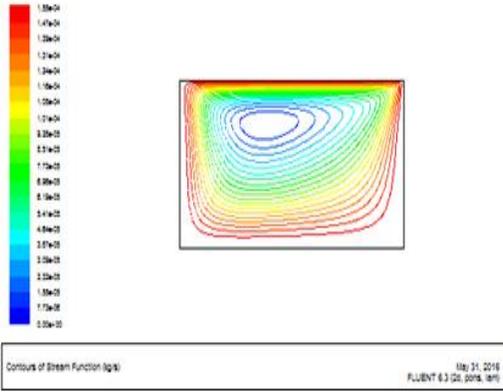


Fig: $Ma=-1.310^3$, $Ra= 1.79$

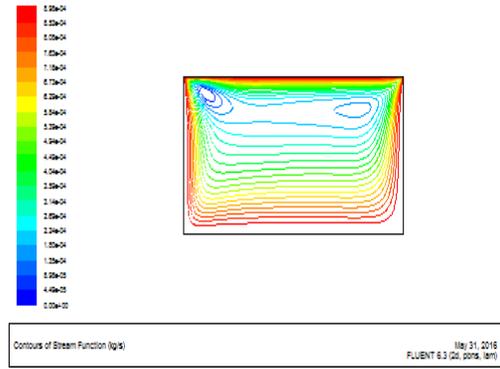


Fig: $Ma= 5.110^4$, $Ra= 2.56$

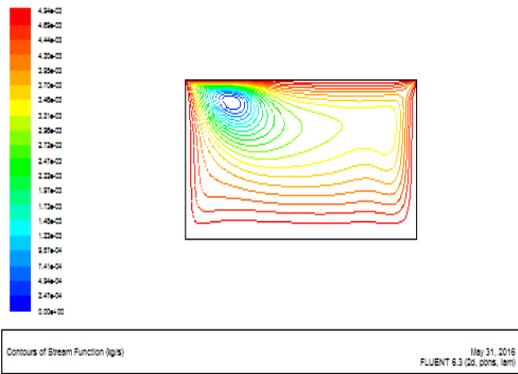


Fig c: $Ma=-2.6 \cdot 10^5$, $Ra= 102$

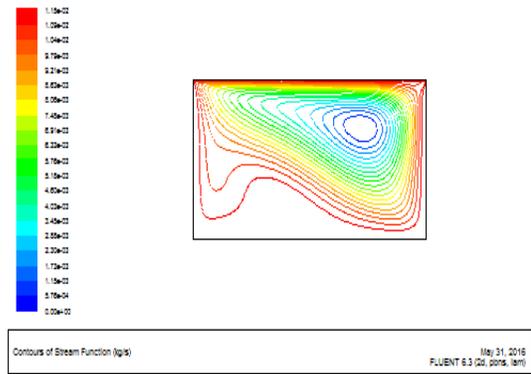


Fig d : $Ma=-4.1 \cdot 10^5$, $Ra =512$

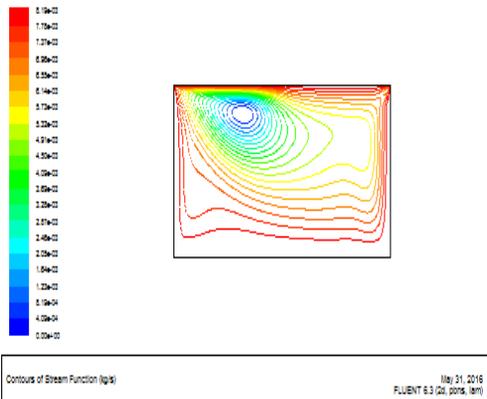


FIG e: $Ma=-5.6 \cdot 10^5$, $Ra=819$

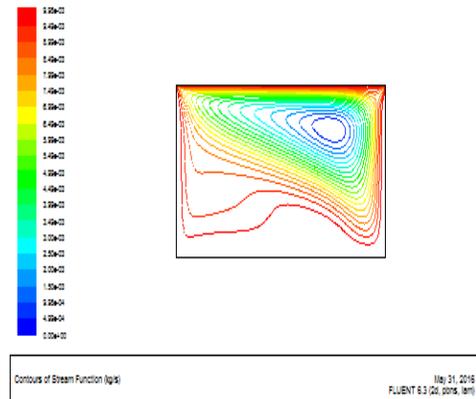


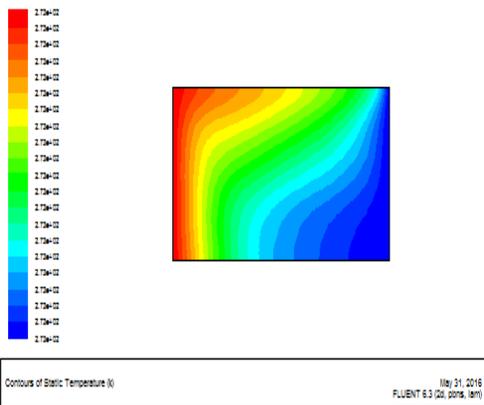
FIG f : $Ma=-7.1 \cdot 10^5$, $Ra=1380$

Figure 4. Lignes de courant pour différentes valeurs de Ma

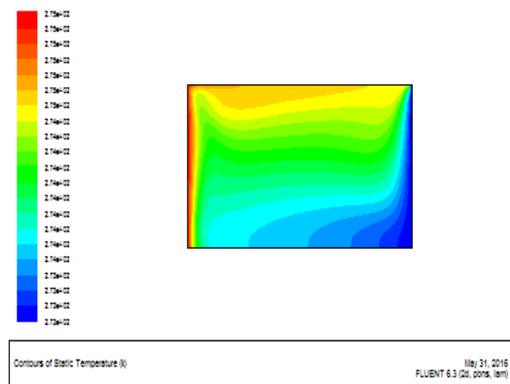
La figure 4 présente les tracés des lignes de courant pour différents Marangoni ; on remarque que le fluide est entraîné à la surface libre, de la paroi chaude vers la paroi froide. Pour $Ma=-1.3$ la structure de l'écoulement est constituée d'une seule cellule de convection circulant dans le sens des aiguilles d'une montre et occupant l'ensemble du domaine et centrée près de la surface libre. On remarque aussi un resserrement des isocourants de grande intensité (couleur rouge) au niveau de la surface libre et ceci est du à l'effet thermocapillaire.

En augmentant la valeur de $|Ma|$ le sens de l'écoulement reste le même mais avec un vortex très intense et concentré autour d'un point plus proche une fois de la paroi froide et une autre près de la paroi chaude.

CHAMPS THERMIQUE



FIGa: $Ma=-1.310^3$, $Ra= 1.79$



FIGb: $Ma= 5.110^4$, $Ra= 2.56$

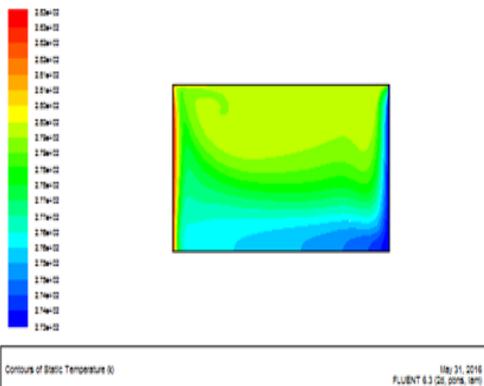


FIG c: $Ma=-2.6 10^5$, $Ra= 102$

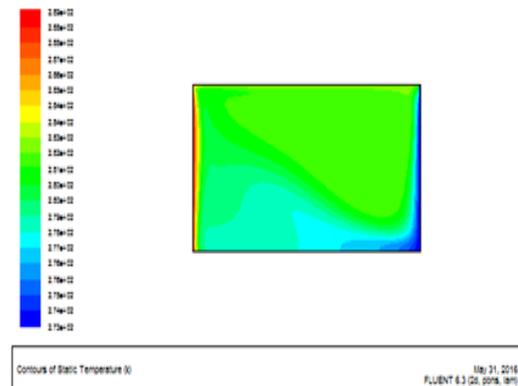


FIG d : $Ma=-4.1 10^5$, $Ra =512$

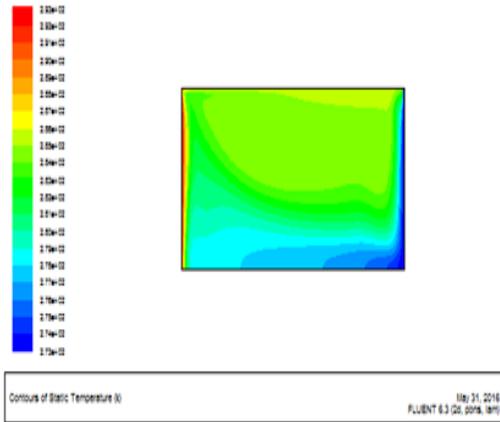


FIG e: $Ma = -5.6 \cdot 10^5$, $Ra = 819$

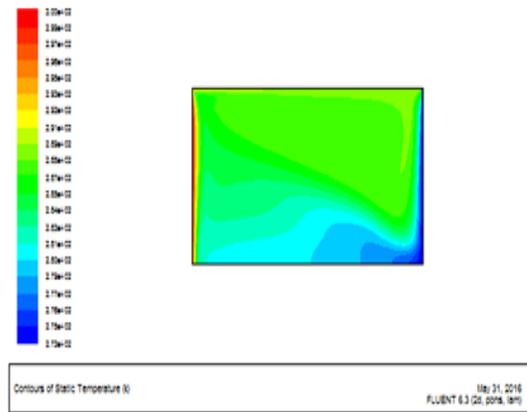


FIG f : $Ma = -7.1 \cdot 10^5$, $Ra = 1380$

FIGURE 5. contours isothermiques pour différentes valeurs de Ma

Au delà de la valeur $-1.3 \cdot 10^3$ la convection devient de plus en plus intense, modifie considérablement le champ de température ; les isothermes se déforment progressivement, ce qui laisse déduire qu'il y'a une forte pénétration du fluide chaud dans le centre de la cavité.

4. CONCLUSIONS

L'effet thermocapillaire sur la convection de volume (thermogravitaire) a été analysé et cela pour des nombres de Marangoni négatifs. Le modèle utilisé ainsi que l'ensemble des résultats ont montré que l'effet thermocapillaire même faible peut avoir une influence considérable sur la convection de volume.

A la fin de ce travail nous pouvons dire que les résultats obtenus sont en bon accord qualitatif avec les données disponibles dans la littérature.

REFERENCES

- [1] O. Kholai , M.S. Boulahlib, M. Kadja , Modélisation de la convection naturelle et thermocapillaire dans une cavité contenant un fluide à faible nombre de Prandtl, *Sciences & Technologie B – N°25, Juin 2007, 21-24*
- [2] L. Bammou, K..El Omari, S.Blancher, Y.Leguer, B.Benhamou, Effet thermocapillaire sur la convection mixte en canal ouvert, *20ème Congrès Français de Mécanique*
- [3] K. Lioua, M. Ben Mna, B. Mohamed Naceur, H.Ben Aïssia , Couplage convection gravitationnelle et thermocapillaire dans une cavité cubique, *1er Congrès de l'Association Marocaine de Thermique*
- [4] F.penot, Transfert de chaleur par convection naturelle dans une cavité rectangulaire isotherme ouverte sur une face, *Revue Phys. App.15 (1980), 207-212.*