

Etude expérimentale de l'influence du rapport de forme sur la structure d'écoulement en double diffusion convection.

CHOUBANI Karim¹, SAFI Mohamed jomâa¹

¹Unité de Recherche Mécanique-Energétique
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, 1002 Tunis El Manar BP 37
(Choubani KARIM : Karimch@imel.org)

Résumé - L'influence du rapport de forme de la cavité d'expérimentation sur la structure de l'écoulement et les transferts thermique et solutal en double diffusion convection est étudiée. L'étude portera essentiellement sur deux rapports de formes $A = 5$ et $A = 10$. Nous nous intéressons à l'étude qualitative de certains régimes de structure d'écoulement en fonction de A . Notre étude de laboratoire est ramenée à des mesures qualitatives et quantitatives effectuées sur un gradient salin linéaire chauffé par le bas à une température constante, contenu dans une cavité rectangulaire avec des parois transparentes.

1. Introduction

La double diffusion est étudiée en premier en océanographie où le sel et la chaleur diffusent sur des échelles différentes. Toutefois, ce phénomène apparaît dans des nombreux processus physiques à savoir la convection du manteau terrestre, la convection solaire, les lacs et les étangs solaires artificiels. Le problème de double diffusion a été le sujet de nombreux travaux expérimentaux, analytiques et numériques à savoir les travaux de Turner ([1], [2]) et les travaux de Huppert et Turner [3].

Plusieurs travaux expérimentaux et numériques ont été effectués dans le but d'étudier l'influence du rapport de forme sur le comportement d'écoulement en double diffusion convection. Jiang et al et kamotani et al [4] et [5] sont intéressés aux rapports de forme $0.1 < A < 0.55$ et ils ont montré, selon le rapport de force de flottaison utilisé, des comportements d'écoulement complexes et variés. Han et al [6] ont étudié la structure de l'écoulement dans une cavité de rapport de forme $A = 4$ et ils ont mis en évidence, selon le rapport et le signe de force de flottaison utilisé, trois zones distinctes : zone thermique et zone massique où des régimes unicellulaires semblables aux cas thermique pur et solutal pur naissent, et zone intermédiaire où une structure multicellulaire est observée.

Dans ce papier, on s'intéresse aux écoulements convectifs de liquides binaires confinés dans une cavité rectangulaire contenant initialement une stratification saline linéaire et chauffée uniformément par le bas, et en particulier à l'influence du confinement sur la dynamique de ces systèmes. On étudie pour cela, expérimentalement, l'évolution des différents types de structures convectives en fonction du rapport de forme de la cavité. Les expériences sont réalisées pour des géométries de rapport de forme 5 et 10.

2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est présenté sur la figure 1: un gradient salin qui décroît de bas (10% en masse) en haut (eau douce), ce gradient est réalisé dans une cavité rectangulaire en utilisant une méthode classique à deux réservoirs décrit par Oster [7]. Les parois latérales de la cuve utilisée au cours des expériences sont en plexiglas, ce qui permet une bonne visualisation des phénomènes, tout en minimisant les pertes latérales de chaleur (épaisseur de l'ordre de 1 cm). La température de la paroi inférieure est régulée par un thermostat: le système est donc soumis à une température constante par le bas et il est à surface libre.

Nous avons utilisé dans nos expériences deux cuves de dimensions différentes :

- une cuve de dimensions intérieures (100 x 50 x 20 mm³), correspondant à des rapports de forme longitudinal et transversal respectifs de 5 et 1/2.
- une cuve de dimensions intérieures (200 x 20 x 20 mm³), correspondant à des rapports de forme longitudinal et transversal respectifs de 10 et 1.

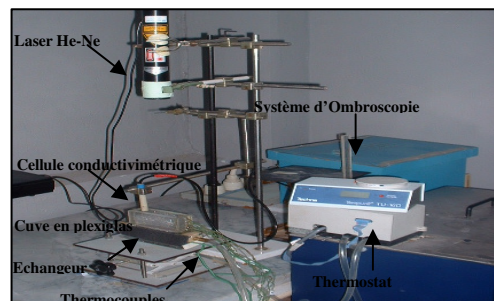


Figure 1 : *Dispositif expérimental*

3. Dispositifs de mesures optiques et mesures directes

Pour déterminer l'évolution de la structure de la stratification nous avons utilisé la visualisation par Ombroscopie. Pour quantifier les transferts de chaleur et de masse nous avons suivi l'évolution des températures et des concentrations à des intervalles de temps réguliers. La mesure de température se fait à l'aide d'une série des thermocouples de type **T** régulièrement espacés suivant la profondeur de la cellule, les mesures sont enregistrées à l'aide d'une chaîne d'acquisition numérique. La concentration est mesurée à l'aide d'une cellule conductivimétrique. Les mesures de la concentration sont prises respectivement dans les couches inférieure et supérieure de part et d'autre de l'interface.

4. Résultats expérimentaux et interprétations

4.1. Cas où $A = 5$

Il s'agit d'une cuve en plexiglas dont le fond est constitué par une plaque en cuivre et elle contient une stratification linéaire (solution saline 10% en masse) et chauffée par le bas à une température constante (20°C par rapport à la température ambiante $T_{amb}=20^{\circ}C$). La visualisation par Ombroscopie a été faite sur une fenêtre de dimensions (50*55*20mm³).

La visualisation par Ombroscopie -figure 2- montre que Juste au début du chauffage (30s) un mouvement convectif se déclenche dans la couche en contact avec la plaque chauffante, ainsi une couche homogène vient de se former en dessous du système stratifié. Dans la mesure où l'épaisseur de cette couche évolue dans le temps, une deuxième couche se forme au-dessus de la première (3min), cette nouvelle couche est séparée de la partie supérieure du système stratifié par une autre interface. A partir de 10min les deux couches commencent à s'émerger l'une dans l'autre pour former une seule interface qui divise le système stratifié en trois zones : une zone inférieure, une zone à gradient et une zone supérieure.

A partir de 25min, une nouvelle couche se forme dans la partie supérieure de la stratification, cette couche est séparée du reste de la stratification par une interface qui migre vers le bas et il semble exercer une pression sur la partie inférieure de la stratification (effet piston).

A partir de 40min une autre couche vient de se former au-dessus de la première, cette couche est séparée par une interface qui est soumise d'une part aux effets dus à la double diffusion de la couche inférieure et d'autre part à l'effet piston de la couche supérieure.

A partir de 55min une autre couche séparée par une interface se forme dans la partie supérieure de la stratification alors que les deux couches d'en bas commencent à s'émerger l'une dans l'autre.

A partir de 240min les deux interfaces s'émergent et ils forment une seule interface plus épaisse et donc plus résistante aux effets thermiques et aux mouvements hydrodynamiques qui se produisent dans la couche inférieure. On retrouve alors la configuration de la stratification non linéaire formée par trois couches.

L'interface ainsi formée migre vers le haut en causant l'épaississement de la couche inférieure, cette migration est accompagnée d'un cisaillement de part et d'autre de l'interface (Instabilité de Kelvin Helmholtz) jusqu'à l'homogénéisation totale de la stratification après (≈ 425 min).

Dans cette configuration le système passe par des états transitoires caractérisés par la formation d'une structure multicouche au niveau de chaque interface formée, ensuite ces couches séparées par des interfaces fines, s'émergent les unes dans les autres pour former une seule interface plus épaisse donc plus résistante. Ce comportement est le même en bas et en haut de la stratification. Ainsi, il s'agit plus d'un comportement oscillatoire au niveau de l'interface mais plutôt de la formation des structures multicouches au niveau de l'interface elle-même.

Le profil de température -figure.4 (a)- montre que dès le début du chauffage le système est formé de trois zones : une zone inférieure d'épaisseur (≈ 22 mm), une zone à faible gradient d'épaisseur (≈ 10 mm) et une zone supérieure d'épaisseur (≈ 18 mm). A partir de (25min), le profil de température met en évidence la présence d'une autre couche dans la partie supérieure de la stratification, ce résultat vérifie les résultats obtenus par Ombroscopie.

La figure.5 montre que la concentration de la couche inférieure (C_b) diminue alors que la concentration de la couche supérieure (C_h) augmente dans le temps. La concentration au

milieu (C_m) de la cuve reste quasiment constante jusqu'à (≈ 120 min). A partir de cet instant la concentration augmente jusqu'à l'homogénéisation totale de la couche inférieure (≈ 300 min). A partir de $t \approx 420$ min, la concentration est pratiquement la même dans toute la stratification. Ainsi, on vérifie que l'homogénéisation totale de la stratification correspond essentiellement à l'homogénéisation massique et non à l'homogénéisation thermique.

4.2. Cas où $A = 10$

Il s'agit d'une cuve en plexiglas dont le fond est constitué par une plaque en Aluminium et elle contient une stratification linéaire (solution saline 10% en masse) et chauffée par le bas à une température constante (20°C par rapport à la température ambiante $T_{\text{amb}}=26^\circ\text{C}$). La visualisation par Ombroscopie a été faite sur une fenêtre de dimensions ($100*20*20\text{mm}^3$).

La visualisation par Ombroscopie -figure 3- montre que dès le démarrage de l'échauffement, des franges de faible intensité lumineuse apparaissent. A partir de ($t = 30$ s) ces franges s'organisent sous forme des ondulations superposées de différentes tailles. Dans la mesure où la température augmente dans la stratification, les ondulations deviennent de plus en plus organisées ($t = 5$ min) et une couche homogène se forme en bas de la cellule. Cette couche est séparée du reste de la stratification par une interface oscillante de densité, ainsi on retrouve la configuration d'une stratification non linéaire formée de trois couches, une couche inférieure, une couche intermédiaire à gradient et une couche supérieure. A partir de $t \approx 6$ min, un mouvement convectif se déclenche dans la couche supérieure, cette dernière couche est séparée du reste de la stratification par une interface oscillante de faible gradient (frange peu sombre), ainsi la stratification est formée de cinq couches.

L'interface de la couche supérieure migre vers le bas sous l'effet, d'une part des mouvements convectifs qui naissent dans la partie supérieure de la stratification, ces mouvements peuvent être l'origine du gradient thermique qui s'établit entre la surface libre et l'air ambiante, et d'autre part du gradient thermique créé à travers l'interface de densité qui sépare la couche homogène inférieure du reste de la stratification.

A partir de ($t = 30$ min), le deux interfaces s'émergent pour former à ($t = 60$ min) une seule interface de densité plus épaisse et quasi-horizontale. Ainsi, on retrouve de nouveau la configuration d'une stratification non linéaire formée de trois couches. Le système est formé donc au plus par trois couches : une couche inférieure, une couche à gradient et une couche supérieure, ceci vérifie les études théoriques et expérimentales de Turner [1].

A partir de ($t = 60$ min), cette interface épaisse migre vers le haut en causant l'épaississement de la couche inférieure. A partir de ($t = 70$ min), l'interface n'est plus horizontale et elle reprend sa forme oscillante et devient moins énergétique (frange moins sombre) de façon qu'elle ne peut plus résister aux mouvements convectifs et aux diffusions de chaleur et de masse de la couche inférieure vers la couche supérieure. A partir de ($t = 77$ min), l'interface est cisailée et la stratification est détruite.

Ainsi, dans une telle configuration le système est caractérisé par trois régimes : un régime transitoire caractérisé par une interface oscillante, puis un régime permanent où on retrouve la

configuration non linéaire, ensuite un régime oscillatoire qui se termine par la destruction de la stratification et l'homogénéisation totale de la solution.

Le profil de température -figure.4 (b)- nous permet de distinguer que dès le début du chauffage la stratification est formée de trois zones : une première zone inférieure d'épaisseur ($\approx 6\text{mm}$), une zone intermédiaire de faible gradient et d'épaisseur ($\approx 4\text{mm}$) et une troisième zone à température constante et d'épaisseur ($\approx 10\text{mm}$). L'épaisseur de la zone inférieure et de la zone intermédiaire évolue dans le temps alors que l'épaisseur de la zone supérieure est quasiment constante jusqu'à (6min) où on peut observer l'apparition d'une nouvelle zone de faible gradient. La couche inférieure qui se forme dès le début du chauffage, observée par Ombroscopie, n'est pas homogène en température ce qui élimine peut être la possibilité que l'apparition de la deuxième couche supérieure est causée par un échauffement à température constante par la couche inférieure à travers la première interface. L'apparition de la deuxième couche peut être alors due soit à la diffusion d'énergie et de matière à partir de la couche inférieure, aux mouvements convectifs pénétratifs ou à la combinaison de deux effets.

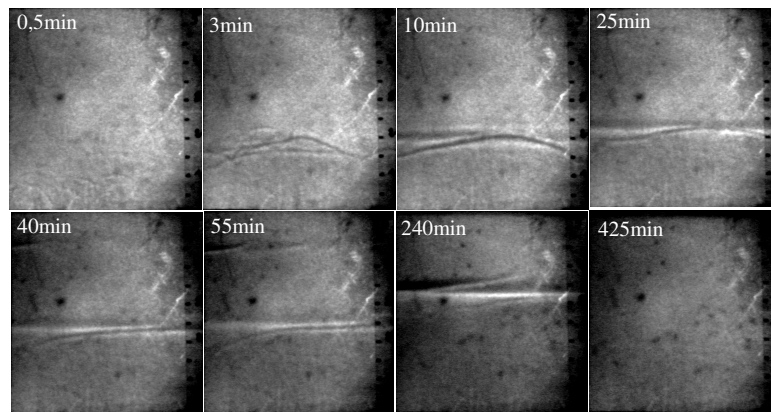


Figure.2 : Visualisation par Ombroscopie, cas où $A = 5$

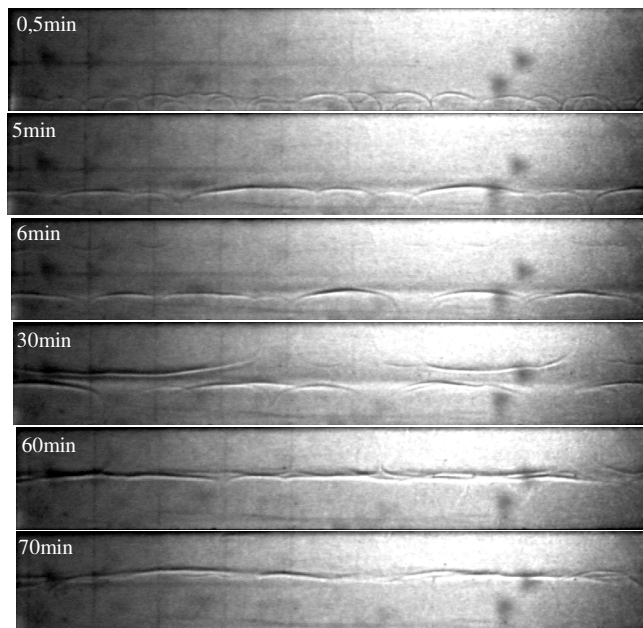


Figure.3 : Visualisation par Ombroscopie, cas où $A = 10$

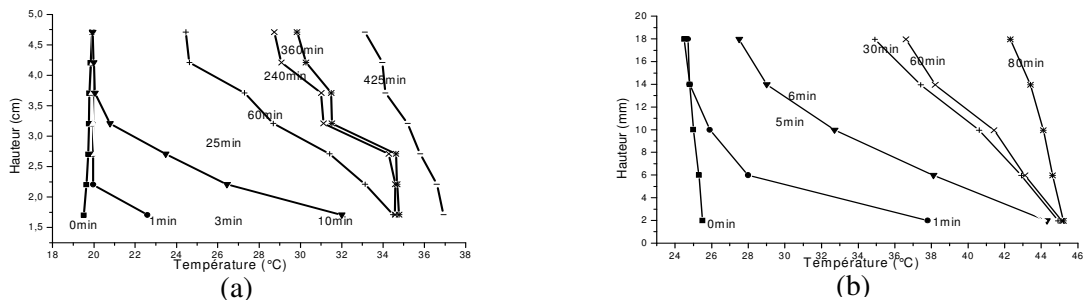


Figure.4 : profil de température :(a) cas où $A = 5$, (b) cas où $A = 10$

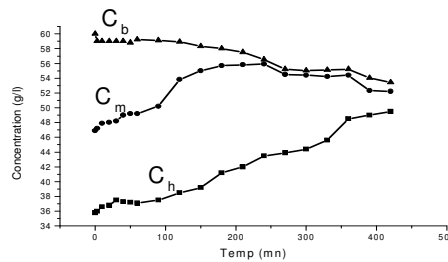


Figure.5 : profil de concentration, cas où $A = 5$

5. Conclusion

Cette étude expérimentale nous a permis de montrer qu'une variation du rapport de forme longitudinale a une influence essentiellement sur le déclenchement et la nature des mouvements en haut et en bas de la stratification, sur la transition d'une stratification linéaire à une stratification non linéaire, sur le temps d'homogénéisation totale de la stratification et sur la nature des mouvements qui apparaissent au niveau de l'interface. En effet, dans le cas où $A = 5$ on ne retrouve plus les structures oscillatoires au niveau de l'interface observées dans le cas où $A = 10$ mais plutôt des structures multicouches.

Références

- [1] J.S. Turner "The behavior of a stable salinity gradient heated from below", *J.Fluid.Mech.*, (1968), vol 33, part 1, pp 183-200.
- [2] J. S. Turner, "Double diffusive phenomena", *Annual Review of fluid Mechanics*, (1974) Vol. 6, pp. 37-56,.
- [3] H. E. Huppert and J. S. Turner, "Double-diffusive convection", *J. Fluid Mech.*, (1981), Vol. 106, pp. 299-329.
- [4] H.D.Jiang, S.Ostrach and Y.kamotani, "Unsteady thermosolutal transport phenomena due to opposed buoyancy forces in shallow enclosures", *J.Heat transfer*, (1991), vol.113, , pp.135-140.
- [5] Y.kamotani, L.W.Wang, S.Ostrach and H.D.Jiang, "Experimental study of natural convection in shallow enclosures with horizontal temperature and concentration gradients", *Int.J.Heat and Mass transfer*, (1985), Vol.28, pp.165-173.
- [6] H.Han and T.H.Kuehn, "Double diffusive natural convection in a vertical rectangular enclosure", *Int.J.Heat and Mass transfer*, (1991), Vol.34, pp.449-459.
- [7] G. Oster "Density gradients", *Scient.Am.*, (1965), pp 70-76.