

# Etude expérimentale de la stabilité de la couche à gradient d'un étang solaire.

Karim CHOUBANI<sup>1\*</sup>, Mohamed Jomâa SAFI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unité de Recherche Mécanique-Energétique  
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, 1002 Tunis El Manar BP 37  
\*(Karim CHOUBANI : [chambanik@yahoo.fr](mailto:chambanik@yahoo.fr))

**Résumé** - Plusieurs études théoriques et expérimentales sont développées pour étudier la stabilité des étangs solaires. Ces travaux ont montrés que la performance et l'efficacité des bassins solaires dépendent de la stabilité de la couche à gradient. L'étude de la stabilité de la zone à gradient de l'étang qui constitue la partie importante de celui-ci vu qu'elle forme l'isolant thermique de la zone de stockage d'énergie placée en bas de l'étang est donc nécessaire.

Les théories inspirées de l'observation des milieux stratifiés peuvent difficilement être appliquées dans des configurations réelles. Les expériences de laboratoire sont alors essentielles pour tester ces théories dans des conditions contrôlées. Elles peuvent alors à leur tour être source d'information pour alimenter la connaissance globale des phénomènes.

Notre contribution à l'étude de ces phénomènes se base sur des études expérimentales pour déterminer les différentes structures qui se développent dans une stratification linéaire qui permet de simuler la zone à gradient du bassin solaire.

Une série d'expériences de visualisation par Ombroscopie et P.I.V a prouvée que l'effet de ces phénomènes pourrait être limité en introduisant des petits corps poreux placés dans le fond de la stratification.

## 1. Introduction

Dans la pratique les bassins à gradient de salinité sont les plus utilisés. Ces types de bassins sont constitués de 3 couches salées stratifiées en densité (figure 1).

La première couche, appelée Lower Convective Zone (L.C.Z) est saturée en sel. La seconde est elle-même formée de plusieurs fines couches dont la densité décroît de bas en haut. Cette zone est formée de telle façon que les phénomènes convectifs y développés sont très réduits, d'où son appellation Non Convective Zone (N.C.Z). La couche supérieure, la moins épaisse et la moins dense appelée Upper Convective Zone (U.C.Z) sert à protéger le reste du bassin des influences extérieures telles que : vent, pluie.....

Quand la stratification est stable, les courtes longueurs d'ondes du spectre solaire arrivent jusqu'au fond pour être absorbée. Ainsi, la température de la couche (L.C.Z) va monter et atteindre des températures moyennes de l'ordre de 70°C. Ainsi le bassin a rempli un premier rôle de capteur solaire.

Le soir ou en absence de soleil, la couche (N.C.Z) joue le rôle d'un isolant thermique et massique. Ainsi la température de la couche basse reste suffisamment élevée et le bassin a ainsi rempli son second rôle de stockeur.

Les performances d'un tel capteur stockeur dépend de plusieurs paramètres telles que : la surface de captation, la profondeur totale, les épaisseurs des différentes couches, de la concentration ainsi que du sel utilisé.

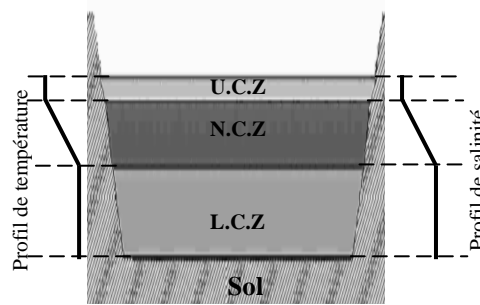


Figure 1 : *Bassin solaire à gradient de salinité*

Plusieurs études théoriques et expérimentales sont développées pour étudier la stabilité des étangs solaires. Nous citons à titre d'exemple les travaux de Hull et Mehta [1], Zangrando et Fernando [2], Bergman et al [3] et autres. Ces travaux ont montrés que la performance et l'efficacité des bassins solaires dépendent de la stabilité de la couche à gradient.

Dans ce papier on s'intéresse à simuler expérimentalement à l'échelle laboratoire un étang solaire et à étudier l'influence de l'introduction des petits corps poreux dans le fond de la stratification sur la stabilité du système. Nous ne tenons pas compte dans cette étude aux caractéristiques des corps poreux utilisés mais uniquement à l'effet de ces derniers à augmenter la stabilité du milieu stratifié.

## 2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est présenté sur la figure 2: une couche d'eau salée (10% en masse) surmontée par une couche d'eau douce. Il se forme naturellement entre ces deux couches une troisième couche mince appelée « interface ». Cette interface est en réalité un gradient de concentration linéaire, cette linéarité assure la continuité du profil de concentration du système stratifié. Toutes les parois latérales de la cuve sont en plexiglas de 10mm d'épaisseur et un fond constitué d'une plaque en aluminium chauffée par le bas par une circulation d'eau à température constante (40°C). La circulation d'eau se fait moyennant un bain thermostaté de température réglable.

Les dimensions intérieures de la cellule ( $1 \times L \times H = 20 \times 100 \times 20 \text{ mm}^3$ ) ont été choisies de façon à augmenter la finesse des sondes thermométriques par incorporation directe de ces dernières sur les parois de la cuve et d'assurer un écoulement quasi 2D.

Les résultats expérimentaux sont obtenus par Ombroscopie quantitative, telle qu'utilisée dans le cas de la convection de Rayleigh-Bénard par Croquette [4] et par vélocimétrie par Image de Particules (P.I.V). La mesure de température se fait à l'aide d'une série des thermocouples type T. Ces thermocouples sont régulièrement espacés le long de la profondeur de la cellule et à 2mm du fond. Ces mesures sont enregistrées à l'aide d'une chaîne d'acquisition numérique type Agilent 34970A.

Les 'petits corps poreux' utilisés dans nos expériences de laboratoire sont des billes en plastique de diamètre 5mm.

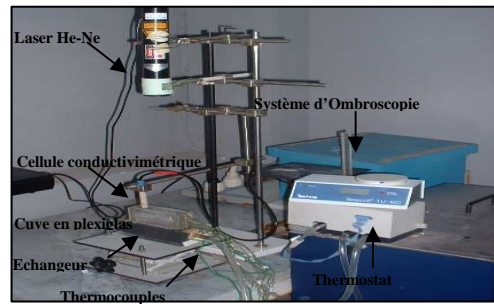


Figure 2 : *Dispositif expérimental*

### 3. Résultats expérimentaux et interprétations

La visualisation par Ombroscopie sur une fenêtre de dimensions (20 x 100 x 20 mm<sup>3</sup>) (figure 3) montre l'apparition des mouvements oscillatoires de part et d'autre de l'interface. L'amplitude de ces oscillations évolue dans le temps jusqu'à une amplitude critique où le mouvement est devenu stationnaire : migration de l'interface vers le haut. Abdeljabar et Safi [5] et Lebar et al [6] ont donné une description détaillée de cette configuration.

La visualisation par P.I.V (figure 4 : les flèches indiquent le sens du mouvement) montre qu'au niveau de la couche inférieure, les mouvements convectifs sont très rapides : les transferts de chaleur sont donc très efficaces, et la température est quasi-constante. Toutes les variations thermiques sont concentrées dans des fines couches au voisinage immédiat des bords, où les mouvements sont freinés. Ce phénomène, couplé avec la diffusion du sel et de chaleur, induit une érosion de l'interface et le développement d'une instabilité de type Kelvin-Helmholtz [5] qui amène le système à une homogénéisation totale.

L'introduction des petits corps poreux dans la couche inférieure de la stratification (LCZ), ralentit l'apparition de la convection dans cette couche (figure 5). En effet, ces corps absorbent une quantité de flux de chaleur reçu par la solution. Nos expériences montrent que ces corps détruisent les "tourbillons" (figure 6) formées dans la couche inférieure mais ils n'affectent pas les structures ni au niveau de l'interface (NCZ) ni dans la couche supérieure (UCZ).

La comparaison des expériences avec corps poreux et sans corps poreux montre que l'homogénéisation de la couche inférieure est ralentie mais l'interface (simulant la NCZ) entre les couches n'est pas affecté.

La mesure de la température le long de la stratification (figure 7 a et b) montre que l'introduction des corps poreux ralentit l'évolution de la température dans la couche inférieure (voir la température à 2mm du fond, dans les deux cas a et b) et ainsi ils réduisent la différence de température entre les couches. Cette réduction du gradient de température entre les couches améliore la stabilité du système.

A fin d'étudier expérimentalement l'influence de l'introduction des corps poreux dans une stratification *linéaire*, nous avons réalisé un gradient salin qui décroît de bas (10% en masse) en haut (eau douce) chauffé par le bas à une température constante (40°C). Ce gradient est

réalisé en utilisant une méthode classique à deux réservoirs décrit par Oster [7] et permet de simuler la zone à gradient (NCZ) dans un bassin solaire.

La visualisation par Ombroscopie (figure 8 a et b) de ce gradient montre :

- *En absence des corps poreux*: l'homogénéisation de ce gradient suit trois étapes. La première étape correspond à l'apparition des oscillations qui se déplacent dans le temps et dans l'espace, la seconde étape est caractérisée par l'apparition d'un mouvement oscillant au niveau de la surface libre, ces oscillations sont atténuées et elles forment une interface quasi-plane et qui sépare la couche du mélange, qui apparaît au fond de la cuve, du reste de la stratification. La troisième étape correspond à la transition d'une stratification linéaire à une stratification non linéaire.

- *Avec des corps poreux*: les oscillations sont atténuées et on ne retrouve plus les trois étapes précédentes d'homogénéisation.

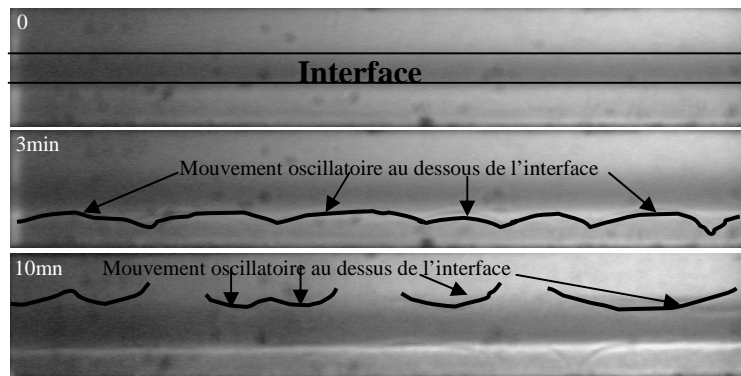


Figure 3 : Visualisation par Ombroscopie (cas d'une stratification non linéaire sans corps poreux)

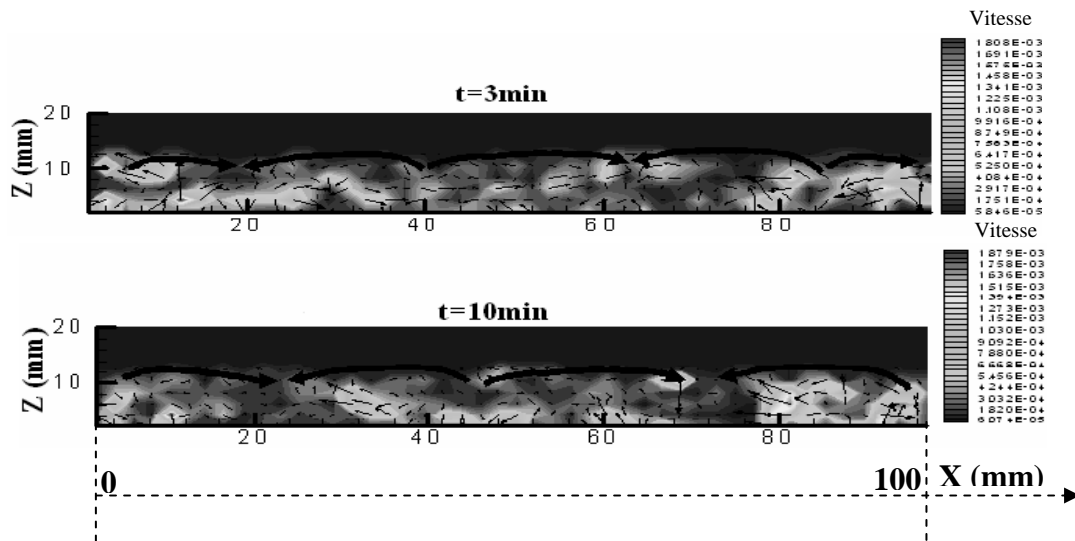


Figure 4 : Visualisation par P.I.V (cas d'une stratification non linéaire sans corps poreux)

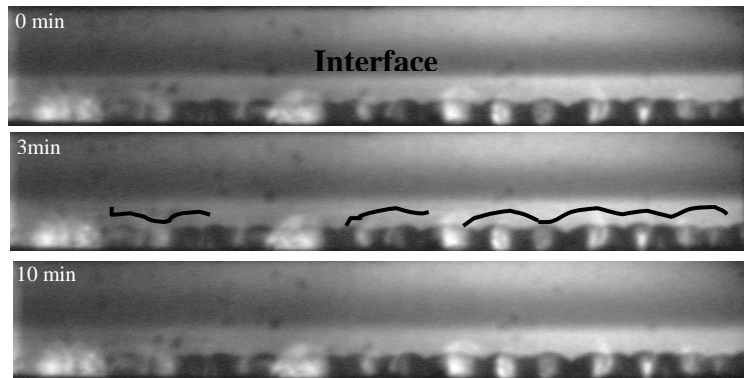


Figure 5 : Visualisation par Ombroscopie (cas d'une stratification non linéaire avec corps poreux)

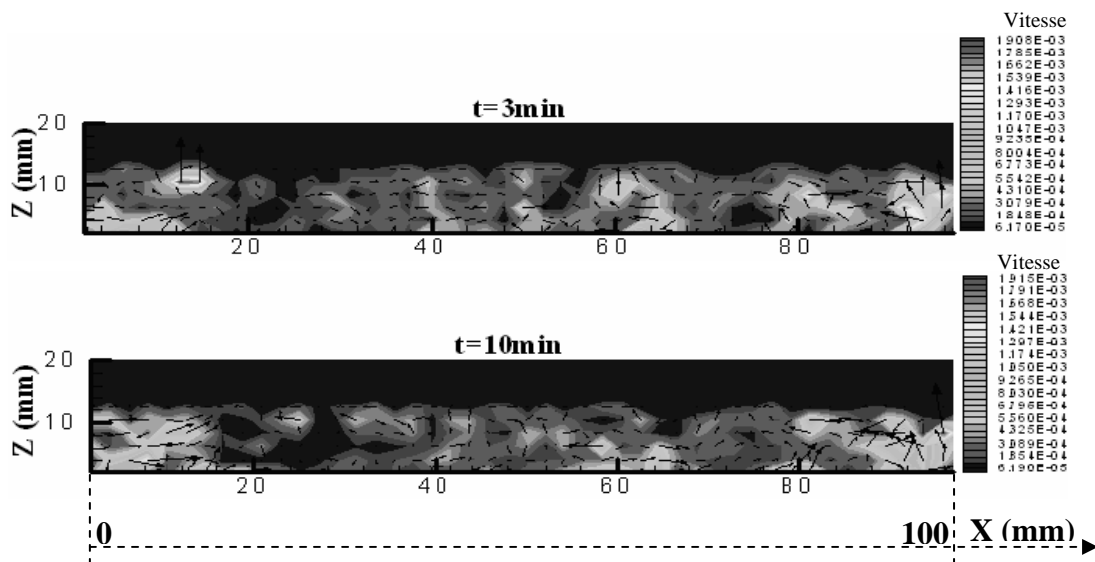


Figure 6 : Visualisation par P.I.V (cas d'une stratification non linéaire avec corps poreux)

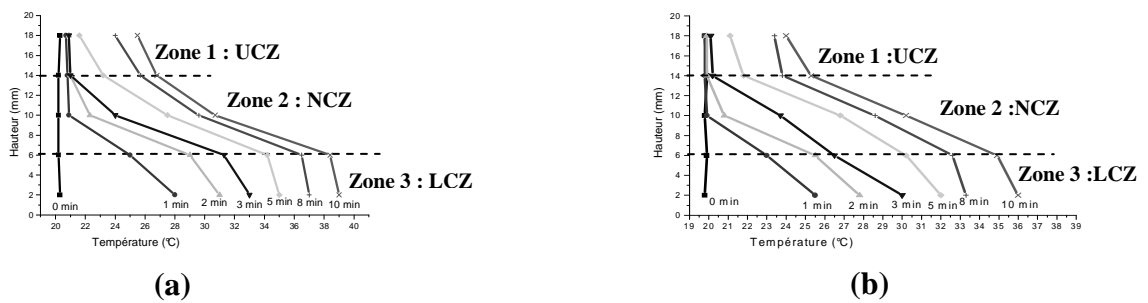
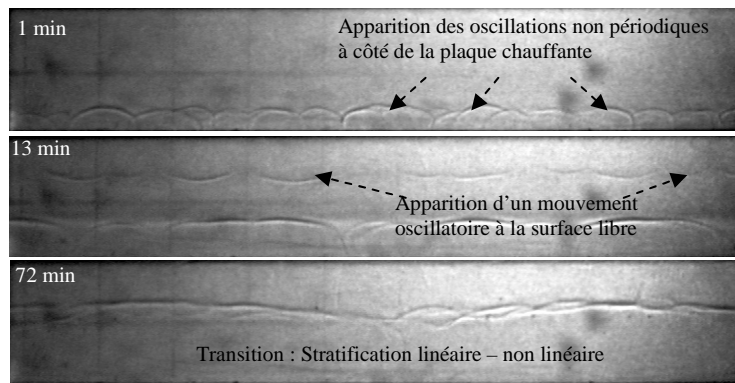
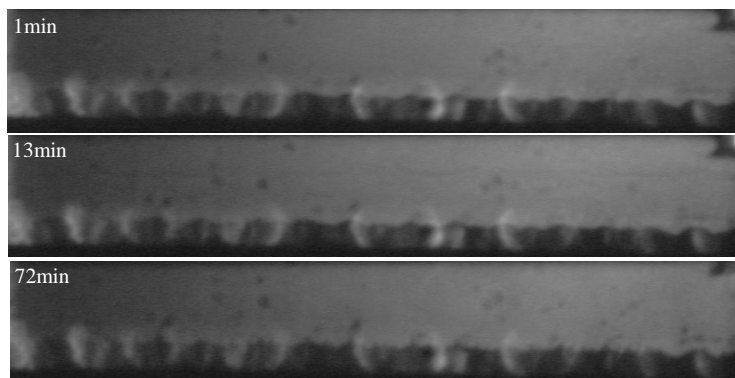


Figure 7 : Profil de température dans le cas d'une stratification non linéaire : (a) sans corps poreux, (b) avec corps poreux



(a)



(b)

Figure 8 : Visualisation par Ombroscopie (cas d'une stratification linéaire : (a) sans corps poreux – (b) avec corps poreux)

## 4. Conclusion

La présence des corps poreux au fond d'une stratification saline semble intéressante dans la mesure qu'elle réduit la différence de température entre les couches stratifiées, ce qui améliore la stabilité du milieu. Cependant, autres expériences sont nécessaires pour déterminer le rôle et l'effet des corps poreux sur la stabilité des milieux stratifiés.

### Références

- [1] J. R. Hull and J. M. Mehta, "Physical model of gradient zone erosion in thermohaline systems". *Int. J. Heat and Mass Transfer* 30 (1987), 1026-1036.
- [2] F. Zangrando and H. J. S. Femando, "A predictive model for migration of double-diffusive interfaces". *Solar Energy* 113 (1991), 59-65.
- [3] T.L.Bergman, F.P.Incorpera and R.Viskanta "Correlation of mixed layer growth in a double diffusive salt stratified system heated from below", *Journal of heat transfer*, 8 (1965).
- [4] Croquette.Vincent, "Etude des structures convectives de Rayleigh-Bénard en géométrie étendue", *Thèse d'Etat*, Université Paris 6 (1986).
- [5] Abdeljabbar.R. and SAFI.M.J. "Shear Flow induced interface instability" *Experiments in Fluids*. 31, (2001).
- [6] Michael Le Bars and Anne Davaille "Stability of thermal convection in two superimposed miscible viscous fluids" *J. Fluid Mech*, 471 (2002), 339-363.
- [7] Oster.G « Density gradients », *Scient.Am*, pp 70-76, 1965.