

ETUDE ET CONTRÔLE DE L'INSTABILITE D'UN ETANG SOLAIRE – COMPARAISON ENTRE MODELE DE LABORATOIRE ET MODELE REEL

K .Choubani* et M.J.Safi

*Unité de Recherches Mécanique – Energétique ; Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis – BP
37 Le Belvédère 1002 Tunis El Manar-Tunisie
chambanik@yahoo.fr*

RESUME

Les étangs solaires constituent une solution efficace au problème de stockage saisonnier de l'énergie solaire.

Quand la température de stockage augmente suite à un rayonnement intense ou à la non utilisation de l'énergie stockée, un mouvement de convection thermique se déclenche dans la couche inférieure de l'étang. Ce mouvement entraîne la convection massive et on assiste à ce qu'on appelle la double diffusion (diffusion de chaleur et du sel). Ces mouvements vont détruire l'interface entre la couche inférieure et la couche supérieure jusqu'au mélange total de l'étang.

Nous proposons dans ce travail une étude comparative entre les résultats expérimentaux obtenus dans notre laboratoire et le comportement réel d'un étang solaire. Pour faire cette comparaison nous avons étudié l'interaction entre les différentes couches d'un étang solaire et la dépendance du comportement de chaque couche du reste du système considéré.

Chaque modèle d'un étang solaire commence par un gradient de sel qui développe immédiatement une zone convective inférieure. La surface libre de la stratification semble probablement être moins sollicitée et sujette à une instabilité retardée par rapport à la surface en contact direct avec la paroi chaude.

1. INTRODUCTION

Un bassin solaire est une étendue d'eau formé 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 couche, appelée Non Convective Zone (N.C.Z), a une densité qui décroît de bas en haut. 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 aléas extérieures (vent, pluie...).

Le bassin solaire peut être utilisé dans plusieurs applications : la production d'électricité, la production d'eau douce (Dessalement), la production de sel ainsi que le chauffage des habitations (Weinberger, 1964; Tabor, 1975 et 1980; Safi., 1998 ; Chepurniy et al., 1975; Hipsher et al., 1976; Harris et al., 1979; Matz et al, 1980). Plusieurs pays dans le monde : USA, Australie, ainsi que les pays méditerranéens ont essayé cette technique.

Les phénomènes qui interviennent dans le fonctionnement des étangs solaires sont très complexes. Notons toutefois que quand la température de stockage augmente suite à un rayonnement intense ou à la non utilisation de l'énergie stockée, un mouvement de convection thermique se déclenche dans la couche L.C.Z. Ce mouvement entraîne la convection massive et on assiste à ce qu'on appelle la double diffusion. Ces mouvements vont détruire l'interface entre la couche L.C.Z et celles de N.C.Z jusqu'au mélange total de l'étang.

Nous nous proposons dans ce papier à simuler expérimentalement à l'échelle du laboratoire un étang solaire et à étudier expérimentalement le mécanisme de la naissance et de l'évolution de la double diffusion convective dans les étangs.

Notre contribution à l'étude de ce phénomène se base sur des études expérimentales pour déterminer l'évolution des structures développées dans une stratification saline qui permet de simuler le bassin solaire. Ces études sont effectuées dans le but de vérifier et de compléter certains travaux théoriques.

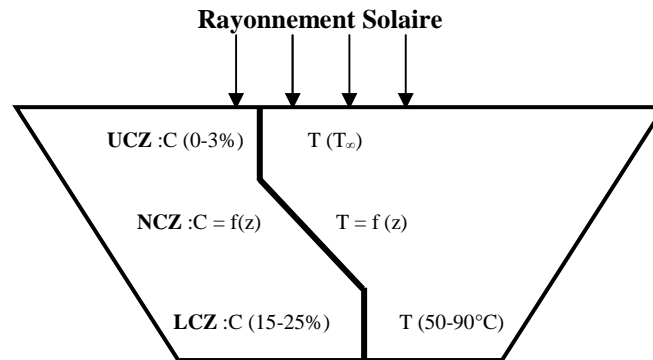


Figure 1. Bassin solaire à gradient de salinité.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental (figure 2) a été conçu pour faire des mesures quantitatives et qualitatives dans le milieu à étudier en se plaçant dans des bonnes conditions expérimentales. Ce dispositif est constitué d'une cuve parallélépipédique de dimensions intérieures ($1 \times L \times H = 20 \times 100 \times 55 \text{ mm}^3$). Toutes les facettes de la cuve sont isolées sauf une fenêtre nécessaire pour la visualisation.

Les résultats expérimentaux présentés dans ce papier sont obtenus 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. La concentration est mesurée à l'aide d'une cellule conductivimétrique.

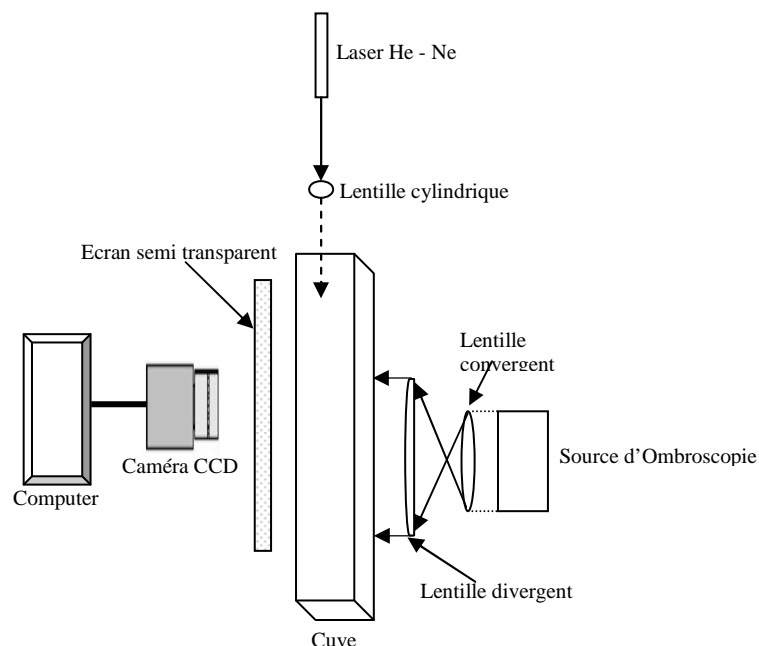


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Phénomènes de transfert dans un étang solaire

Nous étudions le comportement qualitatif d'une stratification non-linéaire constituée par une couche saline (10% en masse) surmontée par une couche d'eau douce, chauffée par le bas à une température constante (40°C). La stratification est contenue dans une cuve en plexiglas à surface libre, simulant la structure réelle d'un étang solaire.

Dès le début de chauffage, des 'structures' thermiques montent de la surface de chauffage, frappent sur l'interface de densité puis s'écartent latéralement. Les observations par P.I.V montrent clairement le début d'homogénéisation de la couche interfaciale ce qui entraîne le déclenchement de la convection dans la couche supérieure. L'intensité des mouvements convectifs dans la couche supérieure semble être bien inférieure à celle de la couche inférieure.

En raison de transfert de chaleur et du sel à la couche supérieure, le saut de flottabilité à travers l'interface diminue graduellement. Les tourbillons de la couche convective inférieure déforment l'interface et augmentent ainsi la surface à travers laquelle s'effectue le transfert de chaleur et du sel.

En se basant sur les résultats de nos expériences et les travaux théoriques et expérimentaux de Harindra et al.(1989), il est possible de prédire l'ensemble d'événements possibles qui pourrait se produire pendant le chauffage par le bas d'un fluide constitué par deux couches stratifiées en densité (figure 3).

La figure (3.a) montre les conditions initiales et la figure (3.b) représente le déclenchement de la convection dans la couche inférieure et le développement des couches limites thermique et massique, qui sont dues à la diffusion. La couche limite thermique devient instable et déclenche la convection dans la couche supérieure comme l'illustre la figure (3.c). La figure (3.d) montre que la convection turbulente dans la couche supérieure est entièrement établie et elle est conduite par le flux thermique transféré aux tourbillons pendant leur contact avec la couche limite thermique. Ainsi, les flux de chaleur et du sel sont transportés à la zone de mélange par les tourbillons agités. La figure (3.e) montre les déformations de la zone interfaciale. Ces déformations augmentent la surface disponible pour le transfert thermique et la probabilité pour le contact physique direct entre les tourbillons de deux couches.

La migration de l'interface de densité est ascendante, puisque la convection dans la couche inférieure est plus importante que celle dans la couche supérieure. En se déplaçant vers le haut nous observons un entraînement net de la couche supérieure.

D'après les résultats obtenus par visualisation, l'entraînement se produit par les tourbillons qui frappent sur la couche interfaciale et qui détachent d'elle des portions du fluide. Ces portions sont érodées et homogénéisées avec le reste du fluide par la turbulence qui se produit dans la zone du mélange.

En conclusion, le chauffage par le bas d'un système constitué de deux fluides, une couche d'eau douce recouvrant une couche saline, mène à la convection turbulente dans les deux couches. Le transfert thermique à la couche supérieure se produit à travers une couche interfaciale qui est purement diffusive.

3.2 Variation de la concentration dans un étang solaire

Nos expériences de laboratoire montrent que dès le début de chauffage, le fond de la couche convective inférieure (LCZ) ait eu la concentration la plus élevée (figure 4). La concentration de cette couche diminue lentement du fait de la diffusion du sel vers les couches supérieures. Cependant, pendant ce procédé de diffusion, la zone supérieure devient plus salée et la zone de stockage perd une partie de son sel, ce qui affectera la stabilité de la zone à gradient.

A partir de ces résultats, nous remarquons que l'épaisseur de la zone à gradient diminue.

La croissance de la couche convective supérieure (UCZ), ne peut pas être totalement attribuée à l'effet de la diffusion, car elle semblerait être due à l'action des aléas extérieurs : le vent (dans le cas réel d'un étang solaire), de l'évaporation et éventuellement de la méthode de stratification.

La croissance de cette couche (UCZ), peut être commandée dans le cas réel en réintroduisant du sel dans la zone de stockage et en diluant la saumure dans la zone superficielle de l'étang.

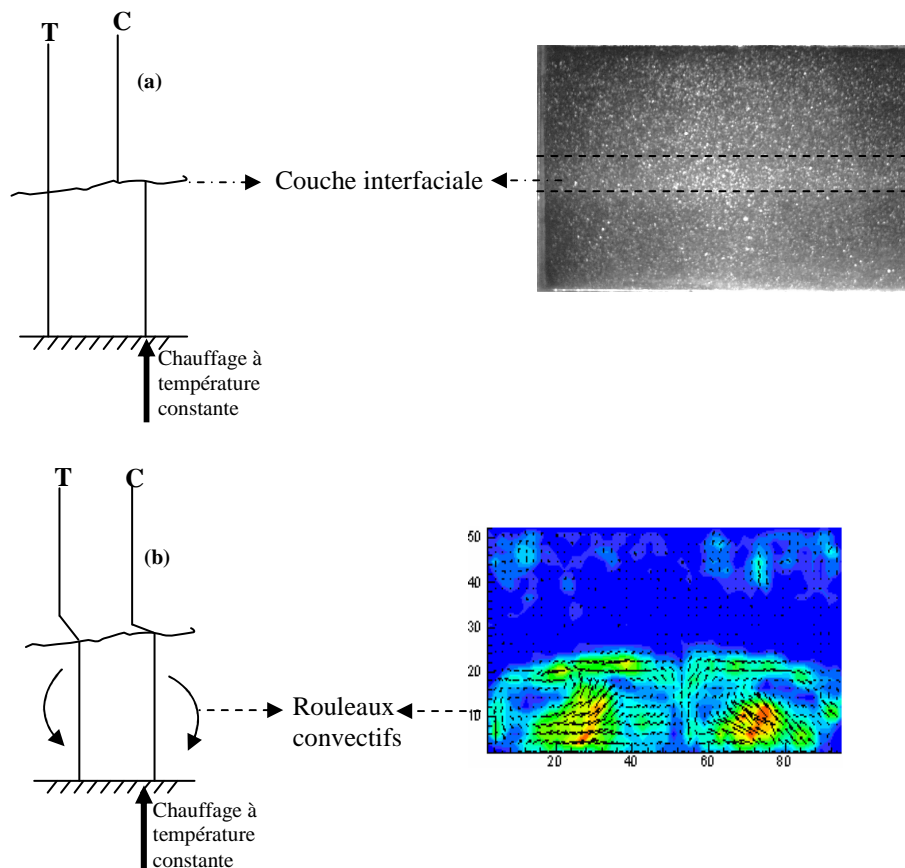
3.3 Variation de la température dans un étang solaire

Les mesures de température prouvent que la température est maximale au fond de la couche convective inférieure (LCZ) pour les premières minutes du chauffage (figure 5). Ceci peut être attribué à la concentration la plus élevée en sel au fond que dans d'autres points dans la LCZ.

Il est aussi important de noter le processus de chauffage par le bas de l'étang. La figure 6 montre l'augmentation rapide de la température dans la LCZ dans les premières minutes de chauffage, après ces instants, la variation de cette température était lente. Ceci est réellement dû à la croissance de la LCZ et à l'érosion de la zone à gradient (NCZ).

En continuant le chauffage par le bas, le transport moléculaire du soluté débute de la couche inférieure (LCZ) vers une région moins saline et plus froide, perdant ainsi une quantité du sel et de chaleur par diffusion ce qui diminue la densité du sel de la LCZ.

Ce processus continue jusqu'à ce qu'une densité uniforme de la solution de la zone de stockage soit atteinte. Ceci cause la contraction de la couche intermédiaire à gradient (NCZ). L'élévation de la température de la couche inférieure augmente le mouvement des molécules du sel de la zone de stockage à la zone non-convective, ce qui augmente l'épaisseur de la zone convective inférieure (LCZ) et diminue l'épaisseur de la couche non convective (NCZ).



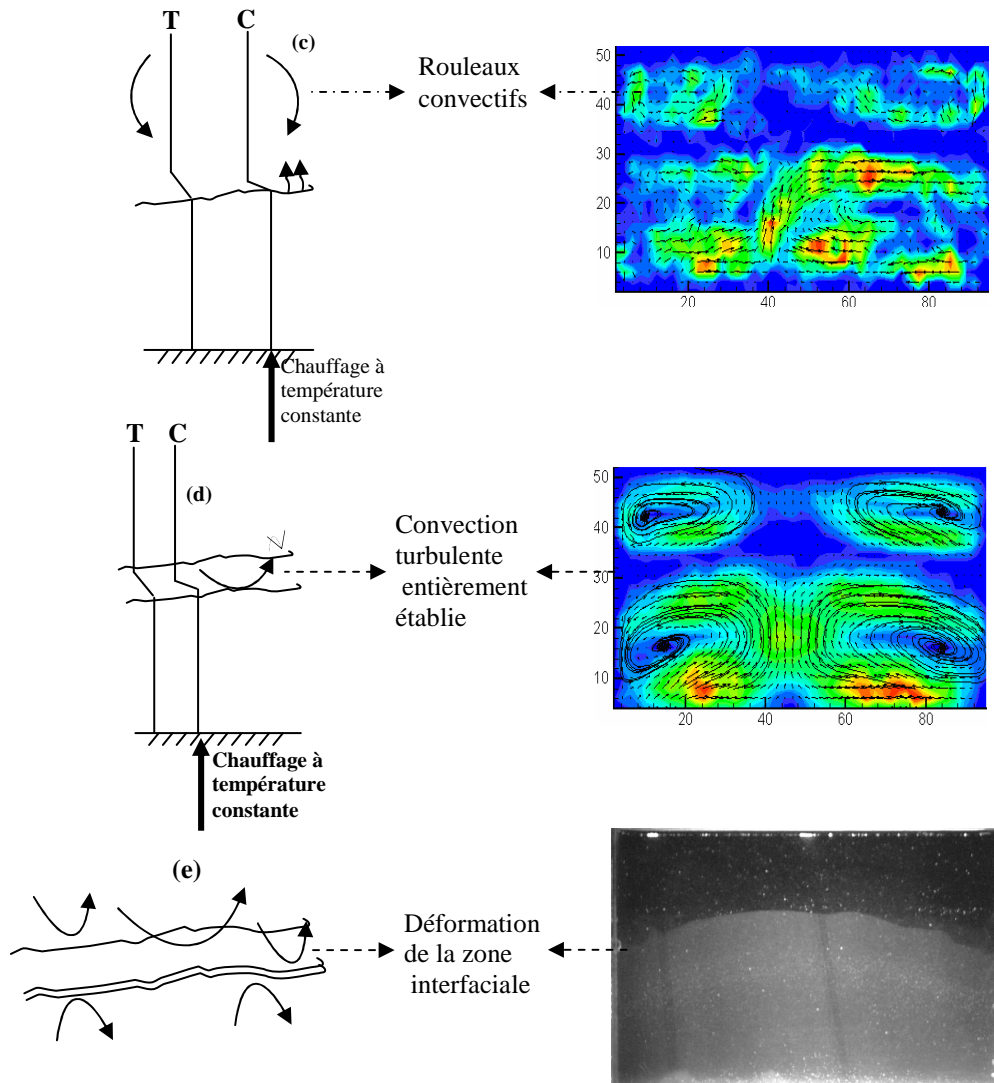


Figure 3. Séquence d'opérations après le début de chauffage (comparaison avec les travaux de Harindra et al. 1989).

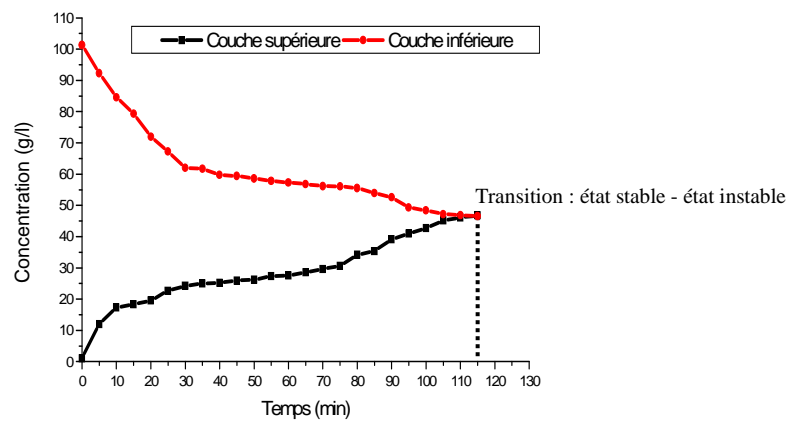


Figure 4. Evolution de la concentration moyenne.

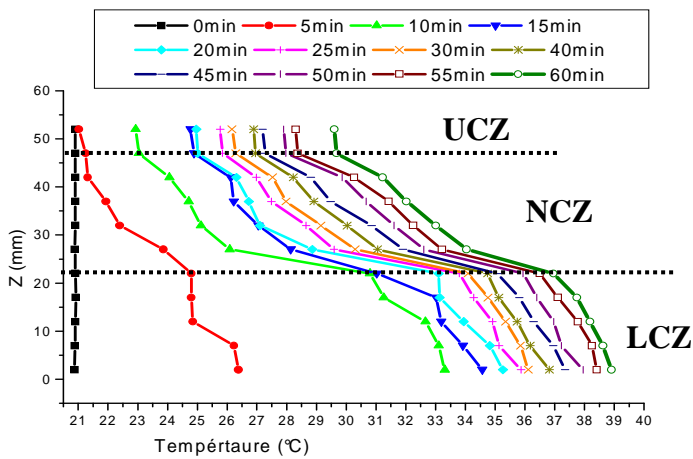


Figure 5. Profils de température.

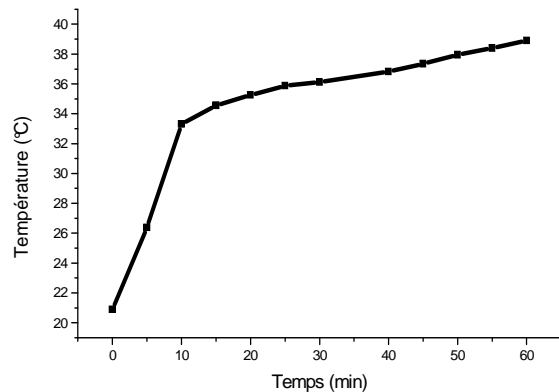


Figure 6. Evolution de la température maximale.

4. CONCLUSION

Dans ce manuscrit nous avons présenté une étude sur le transfert de chaleur et de masse par convection naturelle dans un milieu fluide confiné. La configuration géométrique du modèle physique est une cavité rectangulaire chauffée uniformément par le bas à une température constante.

Une étude expérimentale nous a permis d'identifier une très grande variété de comportements dynamiques des étangs solaires. Dès le début de chauffage, nous avons observé un mouvement convectif près du fond de la cuve d'expérimentation où la diffusion de chaleur rend le gradient de densité instable.

La visualisation par P.I.V montre la naissance des cellules convectives organisées dans les couches convectives inférieure et supérieure (LCZ et UCZ). Ces cellules causent la déformation de la couche interfaciale (NCZ) et découpent d'elle des couches minces de fluide. Ces couches minces, érodées de la couche interfaciale, sont homogénéisées avec le reste du fluide.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. H.Weinberger, 1964, The physics of the solar pond. *Solar Energy*, vol., VIII (2): pp. 45-46.
2. H.Tabor, 1975, Solar ponds as heat source for low-temperature multi-effect distillation plants. *Desalination*, vol., 17: pp. 289-302.
3. H.Tabor, 1980, Non-convecting solar ponds. *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, vol., A295: pp. 423-433, reprinted in book *Solar Energy*. Royal Society of London.
4. M.J.Safi, 1998, Performance of a flash desalination unit intended to be coupled to a solar pond, *Renewable Energy*, vol., 14: pp. 339-343.
5. N.Chepurniy and S.B.Savage, 1975, The effect of diffusion on concentration profiles in a solar pond. *Solar Energy*, vol.,17: pp. 203-205.
6. M.S.Hipsher and R.F.Boehm, 1976, Heat transfert considerations of a nonconvecting solar pond exchanger, *ASME76-WA/SOL*, 4.
7. M.J.Harris and L.J.Wittenberg, 1979, Heat extraction from a large salt-gradient solar pond. *2nd Ann. Solar Heating & cooling Conf.*, Colorado Springs.
8. R.Matz, E.Feist and M.R.Bloch, 1980, The production of salt by Means of a Solar Pond. *Inst. of Chemical Engineers, London, Chem. Eng.*, CE81-87.
9. J.Harindra and S.Fernando, 1989, Buoyancy transfer across a diffusive interface. *J.Fluid.Mech*, vol., 209: pp. 1-34.