

Étude de distribution de température dans une piscine chauffée pour réduire la consommation d'énergie

A. DOUDOU¹, M. AADMI¹ et Y. TAHIRI¹,

¹ ESE, OLMAN-RL, Faculté pluridisciplinaire de Nador, Selouane 300, 62700, Maroc.

Correspondant : a.doudou@ump.ma

Résumé

La climatisation par le chauffage des piscines de manière efficace et écologique est devenue primordiale pour le développement de nouvelles technologies et initiatives pour protéger l'environnement. Le chauffage constitue un excellent moyen de conserver la qualité de l'eau de baignade, en la protégeant des variations de température. Il existe aujourd'hui plusieurs systèmes de chauffage d'eau de piscine, des échangeurs thermiques aux pompes à chaleur, en passant par les chauffages solaires et les réchauffeurs électriques.

Le chauffage des piscines à panneaux solaires thermiques est incontestablement la solution la plus écologique et la plus économique. L'utilisation d'une énergie gratuite, le soleil, fait que le chauffage solaire n'a aucun impact sur le coût de la facture d'électricité, de gaz ou de fioul.

Le but de ce travail est de réaliser une simulation numérique du transfert de chaleur dans une piscine à l'aide d'un logiciel COMSOL Multiphysics dont l'objectif principal est obtenir l'homogénéisation de la distribution de la température en fonction des caractéristiques géométriques de la piscine, la localisation des points d'injection et d'aspiration de l'eau sous les conditions environnementales de la province de Nador.

Mots clefs : *simulation, piscine, transfert thermique, température, environnement, énergie.*

1. Introduction

La réduction de la consommation reste le moyen le plus efficace non seulement pour économiser l'énergie mais aussi pour réduire la pollution. Des économistes, des scientifiques et des ingénieurs du monde entier cherchent (1) des stratégies pour réduire la demande ; (2) des méthodes pour assurer la sécurité des approvisionnements ; (3) les technologies permettant d'accroître l'efficacité énergétique des réseaux électriques ; (4) les sources d'énergie nouvelles et renouvelables pour remplacer les combustibles fossiles limités et nuisibles.

Aujourd'hui, il y a beaucoup de la demande industrielle à forte consommation d'énergie, comme dans le chauffage et le refroidissement, en particulier le chauffage de la piscine comme un procédé thermique qui implique l'utilisation de grandes charges thermiques[1-2], qui reflètent les coûts d'investissement et d'exploitation plus élevés par le système de chauffage, qui peut être réduit par diverses voies. Actuellement, le chauffage des piscines est accompli en concevant et réalisant un

système de chauffage pour répondre à la charge thermique nécessaire pour atteindre et maintenir le confort nécessaire, voir l'homogénéisation de la température de la piscine. Ce dernier point est l'objectif principal de ce travail qui vise à étudier l'homogénéisation de la température de l'eau d'une piscine sous différentes positions des injecteurs.

Depuis quelques années les techniques d'estimation de paramètres sont de plus en plus utilisées pour la caractérisation thermique des systèmes de chauffage. L'avancement de ces techniques est dû principalement au progrès des outils informatiques et au développement de nouvelles méthodes numériques qui permettent la résolution rapide de modèles capables de représenter, avec bonne de précision, les divers processus de transferts thermiques (conduction, convection, rayonnement ...).

Le travail réalisé consiste à effectuer une simulation numérique du transfert de chaleur dans une piscine à l'aide d'un logiciel COMSOL Multiphysics [3] pour analyser la distribution de la température au sein de la piscine en fonction des caractéristiques géométriques de la piscine, la localisation des points d'injection et d'aspiration de l'eau sous les conditions environnementales de la province de Nador. Les résultats obtenus nous permettront à rechercher la localisation optimale pour les injecteurs et les aspirateurs.

Tableau 1 : Caractéristiques de la piscine et les conditions environnementales.

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|
|  | Dimension de la piscine | |
| | Largeur | 12 m |
| | Long | 25 m |
| | Profondeur de navire | 1,65 m |
| | Profondeur d'eau | 1,48 m |
| Conditions d'utilisation | | |
| Température cherchée | 27°C | |
| Couverture thermique | oui | |
| Heures d'utilisation | 9:00 AM - 7:30 PM | |
| Maintenance | 8:00 PM - 7:00 AM | |
| Heures de Couverture | 8:00 PM - 7:00 AM | |
| Conditions environnementales à Nador | | |
| Température | 22,25°C | |
| La vitesse du vent | 4,84 m/s | |
| Radiation solaire | 5,15kWh/m ² /j | |

2. Formulation du problème et modélisation

2.1 Géométrie et conditions aux limites :

La piscine qui sera étudié dans ce travail situé dans la ville de Nador au Maroc, qui est accompagné par une base de données décrivent ses caractéristiques techniques et les conditions de fonctionnement soient utilisé dans la simulation, voir le tableau 1.

Le chauffage des piscines est accompli en concevant et réalisant un système de chauffage pour répondre à la

charge thermique nécessaire pour atteindre et maintenir le confort nécessaire. Cependant, ce processus est généralement effectué sur les piscines sans décharges.

2.2 Hypothèses simplificatrices :

Afin d'écrire les équations régissant le problème physique à traiter, il est nécessaire d'effectuer un certain nombre d'hypothèses.

- La piscine sera considérée comme un corps noir. En effet, on peut montrer que l'eau se comporte presque comme des corps noirs grâce aux coefficients de Fresnel.
- Les parois de la piscine sont isolées thermiquement
- L'air ambiant à une température extérieure supérieure à 21°C.
- La vitesse du vent est inférieure à 2 m/s.
- Les apports et les pertes énergétiques dues aux baigneurs sont négligeables
- La masse volumique et la chaleur volumique de l'eau évoluent de manière linéaire en fonction de la température.
- Le transfert par conduction est négligé
- L'écoulement est considéré laminaire, incompressible et la convection naturelle est prise en compte par le biais de l'hypothèse de Boussinesq.
- L'eau est homogène et isotrope.
- Le problème est transitoire.

2.3 Formulation des équations :

En adoptant les hypothèses simplificatrices signalées dans le paragraphe précédent, les équations qui régissent les transferts de chaleur et de masse dans une piscine à deux points d'injection s'écrivent :

Équation de continuité

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (1)$$

Équation de conservation de la quantité de mouvement

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} + \rho(U \cdot \nabla U) = \nabla \left[-pI + \mu(\nabla U + (\nabla U)^T) \right] + F_b \quad (2)$$

Équation de conservation de l'énergie

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C(U \cdot \nabla T) = \nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla U) \quad (3)$$

F_b est une force de volume qui doit être ajoutée pour simuler la force de flottabilité donnant lieu à la convection naturelle. L'approximation de Boussinesq est utilisée pour rendre compte de cette force de flottabilité, comme suivant :

$$F_b = \rho g [1 - \beta(T - T_m)] \quad (4)$$

où U : vitesse, T : température C : capacité thermique massique, p : pression, λ : conductivité thermique, μ : viscosité dynamique, ρ : masse volumique, β : coefficient d'expansion du fluide, g : accélération de la pesanteur, T_m est la température de l'eau initiale.

2.4 Conditions aux limites :

L'eau de la piscine dispose de plusieurs interactions avec l'environnement qui doivent être identifiées pour la définir les conditions aux limites liées à la mécanique des fluides et transfert de chaleur. Le tableau 2 montre

les conditions limites nécessaires pour simuler les mouvements des fluides à l'intérieur de la piscine [4].

Tableau 2: Conditions aux limites pour simulation

| le mouvement de l'eau | Transfert de chaleur | Frontière | |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|
| $U=0 \text{ m/s}$ | $-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = 0$ | Surfaces latérales | (5) |
| $U=U_{ini}=1,25 \text{ m/s}$ | $T=T_{ini}=27^\circ \text{C}$ | Point d'injection | (6) |
| $P=0 \text{ atm}$ | $-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_{amb})$ | Écumoire | (7) |
| $U,n=0$ | $-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_{amb})$ $-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \varepsilon \sigma (T_{amb}^4 - T^4)$ | Surfaces supérieure | (8) |
| $U=0 \text{ m/s}$ | $T=T_{ini}=21^\circ \text{C}$ | Temps initial | (9) |

3. Résultats numériques

3.2 Distribution de température dans la piscine

La figure 1 présente les résultats de la simulation numérique à différents moments pendant le processus de chauffage de l'eau dans une piscine. Il est intéressant de constater la progression symétrique de la température à partir de deux points d'injections vers les deux points d'aspiration dans la piscine jusqu'à $t=20000s$.

Après ce temps, on observe une déviation de l'eau chaude vers le point d'aspiration droite en raison de l'effet de la convection naturelle et de la force de flottabilité. Ce résultat est en très bon accord avec la littérature [5-6].

3.2 Vitesse de l'eau dans la piscine

La figure 2 présente l'évolution du champ de la vitesse à l'intérieur de la piscine durant le processus du chauffage. On observe aux voisinage des points d'injection que la vitesse de l'eau est horizontale avec une légère déviation vers le bas dû à l'effet de la convection forcée provoquée par la vitesse d'injection qui est dominante comparant avec le transfert par conduction. Cependant, quand nous nous éloignons des points d'injection, on observe une diminution de l'effet de convection forcée et apparition de la convection naturel.

La position des points d'injection de la piscine peut avoir une influence sur la convection naturelle, c'est pour cela que nous avons jugé utile d'étudier l'influence des points d'injection et d'aspiration sur le transfert de chaleur, la température moyenne.

3.3 Comportement de la température de l'eau de la piscine :

La figure 3 présente l'évolution de la température moyenne de l'eau de la piscine en fonction de temps pour différente position des points d'injection et d'aspiration. On observe pour une piscine à deux points d'injection en bas et deux points d'aspiration, on attendre la température homogène plus vite que les autres. Cela est dû à l'augmentation de l'effet de convection naturel dans le cas de deux points d'injection sont en bas. Ce résultat est logique.

4. Conclusion

Les codes CFD et le logiciel Comsol Multiphysics sont avérés d'être des outils intéressants pour aider dans la

conception des piscines, en assurant un haut degré d'homogénéisation de la distribution de la température et durant une courte période de temps. Cependant, sur la base des simulations réalisées, il est crucial d'empêcher l'emplacement des injecteurs sur des

côtés opposés car cela réduit la turbulence en générant un champ de vitesse relativement élevée sur la périphérie de la piscine, mais faible dans la zone centrale ce qui ralentit l'homogénéisation de la température.

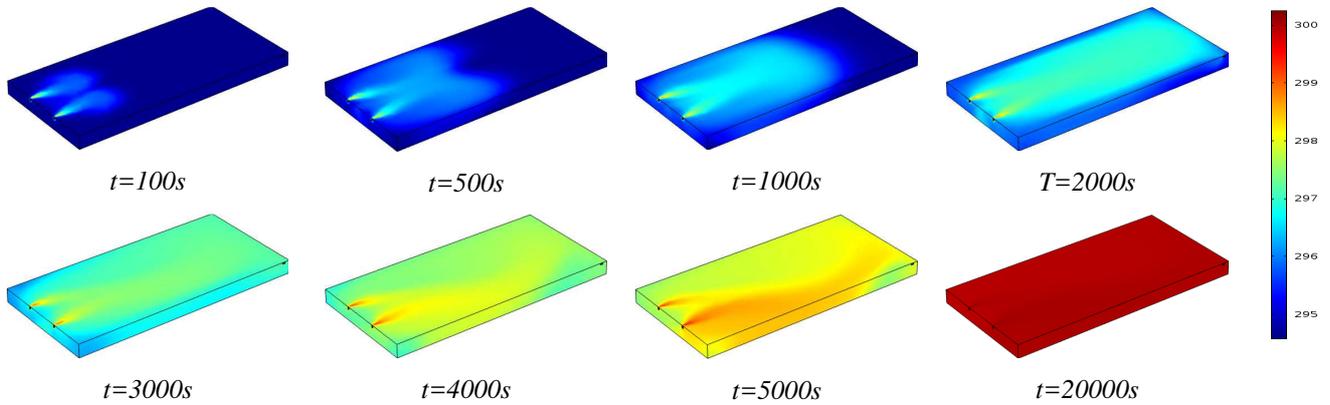


Figure 1 : Évolution de la température pendant le processus d'injection de l'eau chaude.

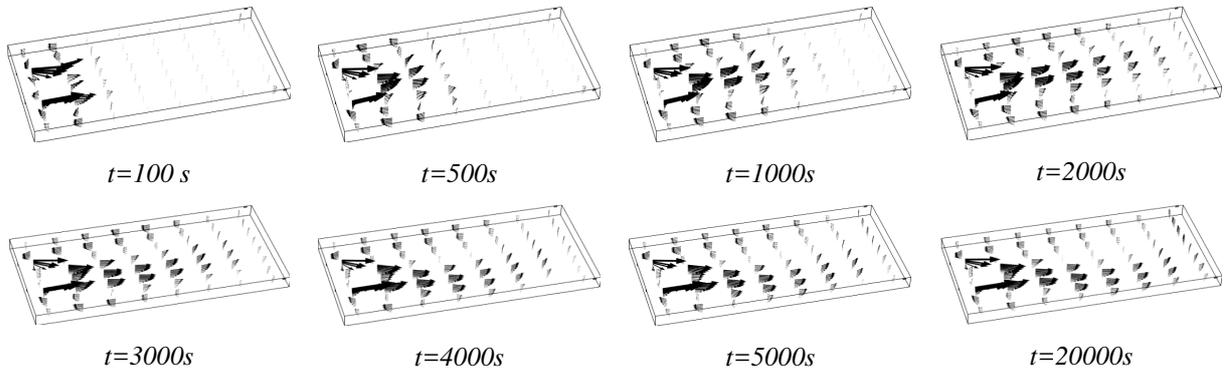


Figure 2 : Évolution des champs de la vitesse à différents moments.

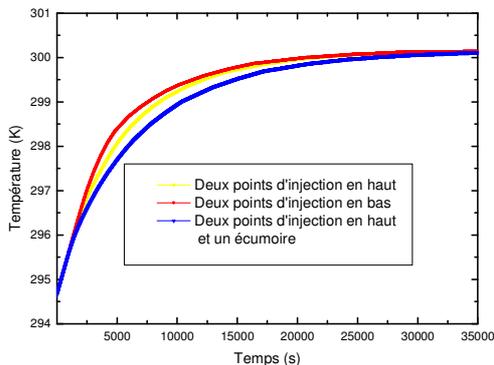


Figure 3 : Évolution de la température

Références

- [1] RUIZ, Elisa and MARTÍNEZ, Pedro, *Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model*, Solar Energy (2009), 84: 116-123.
- [2] WOLLEY. Jonathan; HARRINGTON. Curtis and MODERA. Mark, *Swimming pools as heat sinks for air conditioners: Model design and experimental validation for natural thermal behavior of the pool*, Building and Environment (2010), 1-9.
- [3] Comsol Multiphysics, Heat Transfer Module.
- [4] ISAZA, Cesar and Del Rio, Santiago. *Diseño del Sistema de calefacción de la Piscina de la UPB, Campus Laureles*. Noviembre, 2010.
- [5] T. Aihara, S. Maruyama, *Laminar free convective heat transfer in vertical uniform heat flux ducts*, Trans, JSME (1985), 51:361-364.
- [6] Q. Lu, S. Qiu, S. Qiu, W. Tian, Z. Ye, *Experimental research on heat transfer of natural convection in vertical rectangular channels with large aspect ratio*, Exp. Therm. Fluid Sci, (2010) 34 :73-80.