



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad Dahleb - Blida 1  
Faculté de Technologie  
Département des Energies Renouvelables

**PROJET DE FIN D'ETUDES :**

En vue de l'obtention du diplôme de Master

**OPTION :**

Conversion Thermique

**THEME :**

Chauffage Solaire D'une Piscine Extérieure

**Présenté par :**  
KOURIM Zohra

**Encadré par :**  
KACI Karim  
**Co-promotrice :**  
SAMI Sabrina

Année universitaire 2015/2016



# DEDICACE DEDICACE

Je dédie ce modeste travail:

A la mémoire de mon très cher père "KOURIM Mohammed", que dieu le garde dans son vaste paradis.

A mon adorable mère "KOURIM Djemaa", qui m'a toujours encouragé, m'a aidé à surmonter tous les obstacles que j'ai rencontrés dans ma vie et a été à mes côtés dans les moments les plus difficiles. Elle est pour moi l'être le plus cher dans ce monde.

A mes frères et mes sœurs "Ahmed, khadoudje, Fatma, Djemaa, Moussa, Mahmoud, Aicha, Lala, Souhila" et à leurs maries et leurs femmes et leurs enfants chacun par son nom.

A mes grandes mères que je leur souhaite une longue vie.

A mes oncles, mes tantes, les cousins et à tous la famille "KOURIM", grands et petits, pour leur soutien moral et leur respect envers moi.

Je réserve une place particulière à mon fiancé "BEN YOUFEL Mohamed Abdedssamed", et à toute sa famille.

A mon frère et mon ami " Regai Sadam Houcin" et à tous mes amis les plus chers départements des énergies renouvelables et de Tamanrasset et tous mes amis de l'université qui m'ont soutenu durant mon cursus universitaire.



KOURIM Zohra



# REMERCIEMENT

**« S'il n'y avait pas d'hiver, le printemps ne serait pas si agréable : Si nous ne goûtions pas à l'adversité, la réussite ne serait pas tant appréciée »**

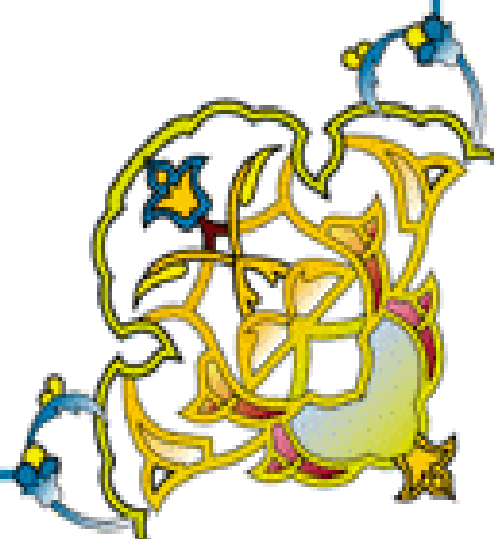
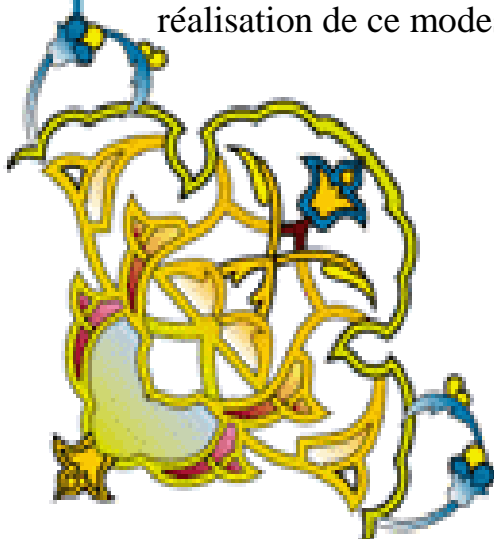
Anne Bradstreet

Tout d'abord je remercie DIEU pour m'avoir guidé vers le bon chemin du savoir, pour m'avoir donné du courage et de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude les plus sincères à mon promoteur **Mr. KACI Karim** pour l'encadrement de ce mémoire, pour son aide, sa patience, ses précieux conseils et la confiance qu'il m'a accordé.

Mon respect aux président et membres de jury qui me font l'honneur d'accepter, de juger mon travail et d'apporter leurs réflexions et leurs critiques scientifiques.

Je remercie tous les enseignants du département et surtout le chef de département et aussi ceux qui de près ou de loin m'ont aidé et soutenu pour la réalisation de ce modeste travail.



# SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
--------------------------------------	----------

## **CHAPITRE 1 : L'ETAT DE L'ART ET PROBLEMATIQUE**

<b>1.1. INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. ETAT DE L'ART.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. DIFFERENTS TYPES DE CHAUFFAGE DES PISCINE.....</b>	<b>6</b>
1.3.1. Le chauffage solaire.....	6
1.3.2. La pompe à chaleur .....	7
1.3.3. Le réchauffeur électrique .....	7
1.3.4. L'échangeur thermique .....	8
1.3.5. La bâche de piscine ou couverture thermique.....	9
<b>1.4. PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>9</b>
<b>1.5. CONCLUSION .....</b>	<b>9</b>

## **CHAPITRE 2 : MODELISATION D'UNE PISCINE**

<b>2.1. INTRODUCTION.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. PRESENTATION DU SYSTEME .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. HYPOTHESES .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. BILAN THERMIQUE DE LA PISCINE.....</b>	<b>11</b>
2.4.1 L'irradiation solaire .....	11
2.4.2. Gains solaires passifs .....	13
2.4.2.1. Gains solaires passifs sans la couverture.....	13
2.4.2.2. Gains solaires passifs avec une couverture solaire .....	14
2.4.3. Pertes par rayonnement .....	14
2.4.4. Pertes pour évaporation.....	16
2.4.5. Pertes par convection.....	19
2.4.6. Pertes par conduction .....	20
2.4.7. Pertes thermiques par renouvellement de l'eau de la piscine.....	20

2.5.1. Rendement instantané du capteur plan.....	21
--	----

## **CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

<b>3.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>22</b>
<b>3. 2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3. PRESENTATION DU LOGICIEL.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4. DESCRIPTION DU SYSTEME UTILISE.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.1. DONNEES METEOROLOGIQUE.....</b>	<b>24</b>
3.5.1.1. Variation de température ambiante.....	25
3.5.1.2. Variation d'humidité relative.....	25
3.5.1.3. Variation de vitesse du vent.....	26
3.5.1.4. Variation du rayonnement global.....	27
3.5.2. Besoins en eau chaude sanitaire.....	27
3.5.3. Besoin en piscine.....	28
3.5.4. Présentation du bilan énergétique.....	29
3.5.4.1. Résultat énergétique du système de chauffage d'eau sanitaire.....	29
3.5.4.2. Résultat énergétique du chauffage de la piscine.....	30
3.5.5. Evolution des pertes thermiques du système.....	31
3.5.6. Analyse économique et environnementale.....	31
<b>3.6. CONCLUSION.....</b>	<b>33</b>

## **CONCLUSION GENERALE**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 2.1:</b> Bilan des pertes et des gains dans une piscine.....	10
<b>Figure 2.2:</b> Différent de pressaient entre la surface de la piscine et l'air.....	18
<b>Figure 2.3:</b> Représentation schématique de la convection.....	19
<b>Figure 3.1:</b> Représente la position géographique d'une piscine.....	22
<b>Figure 3.2:</b> Interface du logiciel .....	23
<b>Figure 3.3:</b> Présentation du système.....	24
<b>Figure 3.4.</b> Variation de température ambiante .....	25
<b>Figure 3.5.</b> Variation d'humidité relative.....	25
<b>Figure 3.6.</b> Variation de vitesse du vent.....	26
<b>Figure 3.7.</b> Variation du rayonnement global.....	27
<b>Figure 3.8:</b> Besoin énergétique net en ECS.....	28
<b>Figure 3.9:</b> Besoin énergétique en piscine.....	28
<b>Figure 3.10 :</b> Résultats énergétique du chauffage d'eau sanitaire.....	29
<b>Figure 3.11 :</b> Bilan énergétique de la piscine.....	30
<b>Figure 3.12:</b> Les pertes thermiques dans les différents éléments de l'installation.....	31

## NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unité
B	Besoin énergétique de la piscine	(kW/m <sup>2</sup> )
G	L'irradiation globale reçue sur un plan horizontal	(kW/m <sup>2</sup> )
G <sub>a</sub>	Totale des gains solaires passifs	(kW/m <sup>2</sup> )
P <sub>ray</sub>	Pertes par rayonnement pour la piscine	(kW/m <sup>2</sup> )
P <sub>ev</sub>	Pertes par évaporation pour la piscine	(kW/m <sup>2</sup> )
P <sub>cv</sub>	Pertes par convection	(kW/m <sup>2</sup> )
P <sub>cond</sub>	Pertes par conduction	(kW/m <sup>2</sup> )
P <sub>renouv</sub>	Pertes par renouvellements	(kW/m <sup>2</sup> )
T <sub>0</sub>	Le trouble dû à l'absorption gazeuse	
T <sub>1</sub>	Le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère	
T <sub>2</sub>	Le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption	
z	Altitude du lieu	degré
j	Le numéro du jour dans l'année	
φ	La latitude du lieu	degré
h	La hauteur du soleil	degré
I <sub>0</sub>	La constante solaire	W/m <sup>2</sup>
C <sub>t-s</sub>	Correction terre – soleil	
S <sub>p</sub>	Surface de la piscine	m <sup>2</sup>
R <sub>b</sub>	La réflectivité moyenne de l'eau au rayonnement direct	
S	La portion ombragée de la piscine	
R <sub>d</sub>	La réflectivité moyenne de l'eau au rayonnement diffus	
H <sub>b</sub> et H <sub>d</sub>	Les moyennes mensuelles de l'ensoleillement direct et diffus	Wh/m <sup>2</sup>
α <sub>c</sub>	L'absorptivité de la toile de piscine	

H	La moyenne mensuelle de l'ensoleillement global sur une surface horizontale	Wh/m <sup>2</sup>
$\phi_{ép}$	Flux échangé par la piscine avec l'air par unité de surface	W/m <sup>2</sup>
$\phi_{év}$	Flux échangé par la piscine avec l'air ambiant	W/m <sup>2</sup>
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzman	W/K <sup>4</sup> .m <sup>2</sup>
T <sub>p</sub>	Température de la piscine	K
T <sub>a</sub>	Température de l'air	K
$\epsilon_{air}$	Emissivité de l'air	
$\alpha_{air}$	Absorption de l'air	
$\epsilon_w$	L'émissivité de l'eau dans le spectre infra-rouge	
J	Flux d'évaporation de l'eau	kg/m <sup>2</sup> .s
L <sub>v</sub>	Chaleur latente de vaporisation de l'eau (enthalpie de vaporisation)	kJ/kg
V	Vitesse du vent	m/s
h <sub>ca</sub>	Coefficient de transfert de chaleur	W/m <sup>2</sup> °C
P <sub>sat</sub> (T)	Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air saturé	(Pa)
HR	L'humidité relative de l'air ambiant	%
L <sub>v</sub> (T)	Chaleur latente de vaporisation à la température	(kJ/kg)
$\Delta_r H^\circ(T)$	Enthalpie molaire de vaporisation à la température	(kJ/mol)
M	Masse molaire	g/mol
P <sub>partielle</sub> (T)	Pression partielle de vapeur d'eau	atm
P <sub>sat</sub>	Pression de vapeur saturante de l'eau	atm
T	Température absolue	K
A <sub>s</sub>	Surface d'échange	M <sup>2</sup>
$\rho$	La masse volumique de l'eau	kg/m <sup>3</sup>
V <sub>p</sub>	Le volume de la piscine	m <sup>3</sup>
P <sub>ab</sub>	La puissance solaire arrivant sur le capteur	W/m <sup>2</sup>
P <sub>u</sub>	La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur	W
A <sub>c</sub>	Surface du capteur	M <sup>2</sup>
G <sub>I</sub>	Flux solaire global incident sur le capteur	W/m <sup>2</sup>



m	Débit massique du fluide caloporteur	Kg /sm <sup>2</sup>
Cp	Chaleur spécifique de l'eau	Kj/Kg °C
T <sub>fs</sub>	Température de sortie du fluide	K
T <sub>fe</sub>	Température d'entrée du fluide	K

## Résumé

Ce travail consiste à étudier la possibilité d'intégrer le chauffage solaire dans une piscine domestique à l'extérieur dans le site de Bordj El Kifane. Pour cela nous avons modélisé et dressé un bilan thermique global sur la piscine. Pour la simulation, nous avons utilisé un logiciel de simulation sous trnsys appelé TRANSOL avec une base de données de METEONORM, les résultats ont montré une fraction solaire pour le chauffage de la piscine très importante de l'ordre de 90 % pour la saison d'utilisation avec un impact écologique très intéressant.

الملخص :

هذا العمل يركز على إمكانية استخدام الطاقة الشمسية على مسبح خارجي في منزل خاص في برج الكيفان. لهذا قمنا بوضع محصلة حرارية الكلية للمسبح. لأجل المحاكاة, استخدمنا برنامج محاكاة في TRNSYS المسمى TRANSOL مع قاعدة المعطيات من METEONORM, وأظهرت النتائج وجود جزء شمسية للتدفئة برك السباحة كبيرة جدا من حوالي 90% للموسم مع التأثير البيئي مثيرة جدا للاهتمام

This work is studied the possibility of integrated solar heating in a domestic pool to outside the site of Bordj El Kifane. For this we have modeled and developed an overall heat balance of the pool. For the simulation, we used simulation software TRNSYS under TRANSOL called with a base gave METEONORM, the results showed a solar fraction for the very large pool heating of around 90% for the season of use with a very interesting ecological impact.

## **INTRODUCTION GENERALE**

Depuis des siècles, les hommes ont utilisé l'énergie du soleil afin d'éclairer et de chauffer les habitations. Aujourd'hui, les avancées technologiques nous permettent d'employer cette énergie bien plus efficacement pour les mêmes usages. Nous pouvons désormais rendre notre habitat plus confortable tout en bénéficiant des avantages de l'énergie solaire : une moindre dépendance aux énergies fossiles dont le prix ne fera qu'augmenter jusqu'à épuisement des ressources, l'amélioration de la qualité de l'air, la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le soleil produit 15 000 fois plus d'énergie que ce que l'homme ne consomme réellement. L'Algérie, grâce à sa situation géographique, occupe une position privilégiée dans l'exploitation de l'énergie solaire avec une durée d'ensoleillement moyenne annuelle de 3000 heures /an, est parmi les potentiels les plus élevés au monde.

Le solaire thermique est largement exploité dans le monde, essentiellement pour des besoins d'eau chaude sanitaire, éventuellement combinées à du chauffage. En revanche son utilisation pour la chauffage des piscines reste marginale, à la différence de ce qui se fait en Asie et Moyen-Orient et en Europe où plusieurs applications ont été réalisés.

Le chauffage des piscines extérieures est une des applications les plus rentables de l'utilisation de l'énergie solaire, et cela pour la période pendant laquelle les piscines sont utilisées correspond à celle qui offre le meilleur ensoleillement, l'efficacité des capteurs solaire thermique à des basses températures (est d'environ 26°C.) Le coût est très faible ainsi que la durée de vie des capteurs solaires qui reste très importante.

Afin de prolonger des saisons de natation dans les pays plus froids et en même temps sauvegarder les intérêts financiers des propriétaires, des systèmes de plus en plus efficaces ont été développés. Ils intègrent des mécanismes et des techniques de thermorégulation qui réduisent les pertes de chaleur de la piscine.

Notre étude comporte essentiellement sur trois chapitres, une introduction ainsi qu'une conclusion générale constituent l'ossature de ce travail, au premier chapitre sera consacrée à l'état de l'art et problématique. Puis le chapitre suivant consistera à modéliser et dresser un bilan thermiques de la piscine. Et le dernier chapitre sera consacré à la simulation sous TRANSOL des performances thermique de notre installation, complété par une étude économique.



## ETAT DE L'ART ET PROBLEMATIQUE

### 1.1. INTRODUCTION

Dans ce premier chapitre nous allons citer les principaux travaux réalisés dans le monde en ordre chronologique sur les différentes installations de chauffage de piscine et particulièrement les piscines à l'extérieur qui sont plus compliquées que celles de l'intérieur.

### 1.2. ETAT DE L'ART

Les principaux travaux réalisés dans le domaine du chauffage solaire des piscines en plein air sont donnés en ordre chronologique comme suit:

- **En 1981, D. GOVAER** et al ont développé un modèle analytique des performances thermiques pour calculer la charge de chauffage saisonnière des piscines, ouvert et fermé. [1]
- **En 1983, GOVIND** et al, ont présenté une analyse des processus de transfert de chaleur dans le chauffage solaire d'une piscine dans la région de Victoria en Australie. Deux modèles analytiques sont présentés pour une piscine avec et sans couverture. Les résultats numériques indiquent une amélioration substantielle de chauffage de la piscine par le placement de la couverture transparente en PVC.[2]
- **EN 1987, C. RAKOPOULUS** et al ont appliqué sur une piscine chauffée à l'extérieur un modèle théorique pour différents flux d'énergie, ils ont utilisé des équations de la méthode ORGILL ET HOLLANDS itérative, ainsi que les différents coefficients de transfert de chaleur par convection et évaporation, utilisant le profil de vitesse universel de VON KARMAN et remplaçant le nombre de Prandtl par le nombre de Schmidt.[3]
- **EN 1994, W. HAAF** et al ont développé et validé un modèle pour les piscines extérieures sur un cas d'une piscine d'une surface de 100 m<sup>2</sup> et de profondeur de 0,5 m. Pour valider ce modèle dynamique, ils ont utilisé des méthodes d'identification des

paramètres mathématiques du bilan thermique. Les résultats sont acceptables, avec une erreur maximale de 1 °C. [4]

- **EN 2009, I. AHMAD** et al ont analysé les gains et les pertes dans les piscines en plein air au Pakistan, en utilisant des capteurs solaires non vitrés. Pour prolonger la saison de baignade, ils ont utilisé simplement une couverture en plastique sur la surface de la piscine pour éliminer les pertes de chaleur par évaporation et pour empêcher la poussière. Les résultats de l'analyse thermique montrent que pour une température confortable et désirée, dans certaines parties du pays en utilisant seulement des couvertures en plastique. D'autre part, il y a des villes où la surface des capteurs solaire égale à deux fois la surface de la piscine.[5]
- **EN 2010, N. MUÑOZ** et al ont étudié la conception d'un système qui permet le chauffage d'une piscine composé de capteur solaire et un réservoir de stockage dans des conditions stationnaires. L'analyse permet de calculer l'efficacité de ce système particulier et de le comparer avec les systèmes conventionnels en utilisant la méthode ASHRAE. Ceci a permis aussi de calculer le coefficient des pertes global. [6]
- **EN 2010, S. DEL RIO RICO** a présenté un travail de simulation sous COMSOL afin d'évaluer le degré d'homogénéisation de la température dans tout le volume d'eau dans une piscine à l'externe. Les résultats ont montré que la demande d'énergie de la piscine peut être réduite en moyenne de 31% avec l'utilisation de la couverture. [7]
- **EN 2011, J. WOOLEY** et al, ont utilisé des données météorologiques pour prédire la température d'une piscine, les résultats ont donné une erreur de 1,1° C. Les performances de ce système sont basées sur la régulation de la température de la piscine régie par les échanges de chaleur (évaporation, convection, rayonnement, et conduction). Il est noté que cette méthodologie peut décrire l'ombrage de la piscine à toutes les heures. [8]
- **En 2011, S. SHARMA** de l'institut national technologique de Rourkela avait pour objectif dans cette étude de calculer les pertes de chaleur par évaporation d'une piscine extérieure, en utilisant un modèle de calcul sous MATLAB en introduisant l'équation

d'Antoine découlant de la relation de Clapeyron. Il a été observé l'augmentation des pertes par évaporation simultanément avec l'augmentation de la température ambiante pour une humidité constante, [9]

- **EN 2011, H. F. NOUANEGUE** et al ont proposé un modèle numérique pour les piscines avec un bilan énergétique. Le but de ce dernier est d'évaluer la valeur du coefficient de corrélation entre le coefficient d'évaporation et les pertes de chaleur par convection, à l'aide de l'outil TRNSYS. [10]
- **EN 2012, G. ZSEMBINSZKI** et al ont simulé le comportement thermique de l'eau en présence et en l'absence d'un matériau à changement de phase (PCM) pour le chauffage des piscines extérieures, Deux méthodes d'utilisation de PCM : la première utilisation de la chaleur dans les parois latérales et le fond de la piscine, et le second au moyen d'un échangeur de chaleur externe avec PCM. Les résultats montrent la différence entre les valeurs de la température de la piscine enregistrée et simulée à moins de 0,2 ° C. Les simulations ont montré aussi que l'utilisation de matériaux à changement de phase fourni une certaine amélioration des conditions de l'eau, en particulier lorsqu'il est utilisé dans un échangeur de chaleur externe. [11]
- **EN 2013, S. MOREOVER** et al on réalisé un travail sur les systèmes de chauffage solaire des piscines en utilisant des modèles les réseaux de neurones (ANN), pour simuler le comportement thermodynamique des piscines. Dans ce travail, les changements de volume sont estimés afin de suivre les pertes dues à l'activité humaine. [12]
- **En 2013, I. LUMINOSU** et al ont proposé un bilan énergétique d'une piscine extérieure avec des douches d'une superficie de 160 m<sup>2</sup> dans la région de Timisoara en Roumanie, en utilisant des chauffe-eau solaires et radiateurs classiques. Un algorithme a été réalisé pour déterminer les gains et les pertes énergétiques dans la période Avril-Septembre. [13]
- **EN 2014, M. HEUI-SEOL ROH** a proposé une théorie thermodynamique statistique sur le transfert de chaleur applicable aux mécanismes à la fois à la conduction et la convection

interne à cause du manque d'une approche d'une méthode théorique dans un régime transitoire pour les piscines extérieures contrairement dans les piscines intérieures qui ont besoin que du contrôle de la température et l'humidité relative. [14]

- **En 2014, M. DONGELLINI** et al ont présenté un modèle dynamique d'un système solaire passif de chauffage des piscines extérieures en utilisant l'environnement Matlab / Simulink, composé par des capteurs plans solaires sans vitrage et capteurs plans à vitrage. Le modèle permet d'estimer la période de l'échauffement de la piscine en fonction des caractéristiques de la piscine et des capteurs solaires afin d'obtenir une eau dont la température fixe et dans un intervalle de temps. Les résultats prouvent quel type de capteurs les plus appropriés pour ce genre d'utilisation. [15]
- **En 2014, M CEASAR ISAZA ROLDAN** et al ont utilisé une simulation sous COMSOL sur une piscine d'un volume de  $495\text{m}^3$  et chauffé à une température homogène de  $27^\circ\text{C}$ . L'objectif de cette étude consiste de voir la distribution de température dans la piscine fermé et surtout comment minimiser la consommation d'énergie du système de chauffage en fonction des caractéristiques géométriques de la piscine, et surtout les points d'aspiration et du refoulement d'eau. [16]
- **En 2015, M. A. MOUSIA** et al ont étudié les performances des piscines extérieures en Grèce basé sur une approche d'analyse de toutes les caractéristiques des piscines, utilisant des questionnaires et des audits de l'énergie et les enquêtes particuliers dans le but de quantifier leurs performance de l'énergétique et réaliser les avantages financiers et environnementaux. [17]
- **En 2015, M. BUONAMANO** et al ont conçu un système hybride de chauffage composé de capteurs solaires thermique et photovoltaïque pour une piscine située à Naples (Italie), où le rôle de l'énergie photovoltaïque vient satisfaire une partie des exigences d'éclairage et une autre partie thermique pour faire chauffé l'eau chaude de la piscine. Pour cela ils ont utilisé une simulation sous TRNSYS. Le modèle développé de la simulation permet le calcul à la fois les pertes thermiques dans la piscine en intérieure et en plein air et l'énergie globale ainsi que les performances économiques du système (thermique et photovoltaïque. Les résultats de la simulation soulignent une performance remarquable de l'énergie du système ainsi que sur le plan économique. [18]



- **En 2015 D. KATSAPRAKAKIS** et al ont réalisé une étude comparative sur différents zones de l'Europe du sud, ont utilisant des sources d'énergies renouvelables actives et passives, tels que l'effet de l'enceinte de la piscine on utilisant une couverture flottante sous forme d'isolation sur la surface de la piscine quand elle n'est pas utilisée.

Pour le système actif ils ont utilisé une source d'énergie de biomasse pour le chauffage. Comme résultats, ils ont trouvé que le temps de retour pour ce genre d'investissement peut être moins de cinq ans. [19]

### **1.3. DIFFERENTS TYPES DE CHAUFFAGE DES PISCINE**

Il existe actuellement plusieurs dispositifs de chauffage sur le marché : capteur solaire, réchauffeur électrique, pompe à chaleur, échangeur thermique, couverture thermique

#### **1.3.1. Le chauffage solaire**

On exploite simplement l'énergie du soleil grâce à des capteurs solaires. Le principe est de faire passer l'eau de la piscine dans des capteurs solaires (souvent des tubes noirs en plastique) ; ces derniers réchauffent naturellement l'eau qui est ensuite renvoyée dans la piscine. Les gains sont de l'ordre de 3 à 10°C.

#### **Avantages du chauffage piscine solaire**

- Économique et écologique
- Assez simple à installer

#### **Inconvénients du chauffage piscine solaire**

- N'atteint pas l'efficacité des autres systèmes de chauffage (surtout en début de saison)
- L'efficacité dépend de l'ensoleillement
- Montée en température plutôt lente
- Nécessite une régulation

### **1.3.2. La pompe à chaleur**

C'est le système de chauffage le plus polyvalent. Il est à la fois performant et économique. La PAC piscine est idéale pour maintenir la température de l'eau à 28°C. La montée en température est plutôt lente (dépend de la puissance de votre PAC). La pompe à chaleur est assez chère à l'achat mais très économique ensuite.

La pompe à chaleur capte la chaleur présente naturellement dans l'air, la convertit et la restitue à une température supérieure qu'elle transmet à l'eau de la piscine. En même temps, la PAC conserve votre eau à température optimale et évacue l'air frais à l'extérieur du bassin.

#### **Avantages du chauffage piscine par pompe à chaleur**

- Système de chauffage le plus à la mode
- Système le plus polyvalent
- Très économique à l'usage
- Écologique
- Installation assez simple

#### **Inconvénients du chauffage piscine par pompe à chaleur**

- Montée en température plutôt lente
- Nécessite l'intervention d'un spécialiste pour la maintenance
- Système plus ou moins bruyant
- Souvent chère

### **1.3.3. Le réchauffeur électrique Piscine**

Il permet de monter rapidement la température de l'eau de votre piscine. Néanmoins, la consommation d'électricité est importante. Le réchauffeur électrique est idéal pour une utilisation ponctuelle (coup de froid passager, si vous avez oublié de couvrir votre piscine pendant la nuit, ...etc.).

C'est aussi la solution parfaite pour chauffer rapidement la piscine. Le réchauffeur électrique s'installe directement sur le circuit de filtration de votre piscine. Il contient une résistance qui est traversée par un courant électrique. Un thermostat régule la température pour un confort de baignade optimal. L'eau entre dans le réchauffeur et ressort réchauffée grâce à la résistance électrique.

#### **Avantages du réchauffeur électrique piscine**

- Rapide et facile à installer
- Montée en température rapide
- Faible encombrement

- Rendement élevé
- Facile à entretenir

#### **Inconvénients du réchauffeur électrique piscine**

- Système de chauffage le plus coûteux à l'utilisation : à utiliser de préférence pour une utilisation ponctuelle et pour une piscine de faible capacité.

#### **1.3.4. L'échangeur thermique piscine**

Le système de chauffage par échangeur thermique est le système idéal si vous faites construire car il permet de profiter de l'eau chaude du réseau de chauffage de votre maison pour réchauffer l'eau de votre piscine.

L'eau de votre piscine est tout simplement chauffée par votre chaudière domestique (au gaz ou au fioul). C'est encore mieux si vous avez opté pour une chaudière dernière génération, économique et écologique.

La montée en température de l'eau dépend ensuite de la puissance de votre chaudière. Le système par échangeur thermique est rapide et efficace. Votre piscine doit être à proximité de votre maison.

L'échangeur thermique est donc composé de 2 réseaux d'eau : le réseau d'eau chaude en provenance de votre chaudière et le réseau d'eau de la piscine en provenance de la pompe piscine.

#### **Avantages du chauffage piscine par échangeur thermique**

- Installation simple
- Montée en température rapide
- Système de chauffage performant et robuste
- Economique (partage du système de chauffage de la maison)
- Peut être installé sur un réseau basse température

#### **Inconvénients du chauffage piscine par échangeur thermique**

- Le local technique doit être proche de la chaudière pour éviter de faire courir l'eau chaude sous la terre
- Peu avantageux si la chaudière n'est pas économique

### **1.3.5. La bâche de piscine ou couverture thermique**

La bâche à bulles de piscine est un dispositif de chauffage naturel. Elle est essentielle en complément de votre système de chauffage. Mise sur votre piscine la nuit, elle permet de conserver la chaleur emmagasinée pendant la journée. Mais elle permet également de réchauffer l'eau de la piscine pendant la journée.

En plus d'éviter la déperdition de chaleur de votre eau, la couverture permet d'éviter l'évaporation de l'eau et protège votre piscine des impuretés qui peuvent tomber dedans pendant la nuit. Elle est très simple à utiliser et économique.

## **1.4. PROBLEMATIQUE**

Les performances journalières d'une installation solaire de chauffage d'une piscine domestique à l'extérieure dépendent généralement des paramètres météorologiques aléatoire, les constituants du système et la configuration du système.

L'objectif de notre travail est de simuler et évaluer les performances d'une installation de chauffage solaire destinée non seulement au chauffage d'eau mais encore pour le chauffage d'une piscine domestique pour une habitation sise dans la région de Bordj El Kiffan en utilisant le logiciel TRANSOL sous TRNSYS.s

## **1.5. CONCLUSION :**

Dans ce chapitre, l'essentiel de notre travail ayant une relation direct avec notre sujet a été présenté dans le monde, en effet les principaux travaux sur le calcul des performances des installations solaire sur les piscines ont été cités.

## MODELISATION DE LA PISCINE

### 2.1. INTRODUCTION :

Il existe de nombreux modèles et de bilans thermiques utilisés afin d'évaluer les besoins en eau chaude pour le chauffage d'une piscine à l'extérieur, ceci est dû d'abord aux types de capteurs utilisés, le type de systèmes choisis (avec ou sans couverture), ainsi que les matériaux utilisés pour l'isolation.

### 2.2. PRESENTATION DU SYSTEME :

Le système étudié se compose essentiellement d'une piscine domestique situé à l'extérieur, d'un champ de capteurs solaire et les divers éléments de raccordement. Les différents facteurs pris en compte dans le bilan thermique de la piscine sont représentés sur la figure 2.1

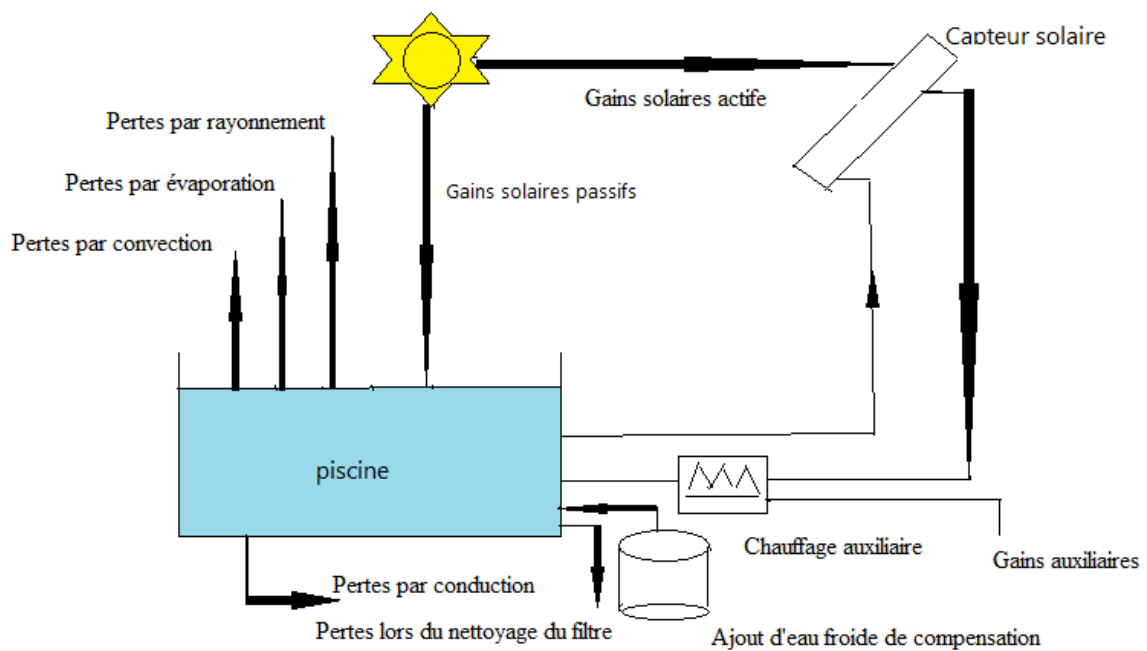


Figure 2.1 Bilan thermique de la piscine

## 2.3. HYPOTHESES

- L'état stationnaire indépendant du temps.
- La piscine et le capteur seront considérés comme des corps noirs.
- Les parois de la piscine sont isolées thermiquement.
- Les apports et les pertes énergétiques dues aux baigneurs sont négligeables.
- Il n'y a pas de pertes énergétiques entre la piscine et le capteur (l'énergie captée par le capteur est entièrement transmise à la piscine).
- les parois sont isolées thermiquement.

## 2.4. BILAN THERMIQUE DE LA PISCINE

Les pertes et les apports d'énergie au niveau de la piscine sont repris comme suit [20]:

$$B = (G+G_a)-(P_{ray}+P_{ev}+P_{cv}+P_{cond}+P_{renouv}) \quad (2.1)$$

B : Besoin énergétique de la piscine (kWh/m<sup>2</sup>)

G : L'irradiation globale reçue sur un plan horizontal (kWh/m<sup>2</sup>)

G<sub>a</sub> : Totale des gains solaires passifs (kWh/m<sup>2</sup>)

P<sub>ray</sub>: Pertes par rayonnement pour la piscine (kWh/m<sup>2</sup>)

P<sub>ev</sub> : Pertes par évaporation pour la piscine (kWh/m<sup>2</sup>)

P<sub>cv</sub> : Pertes par convection (kWh/m<sup>2</sup>)

P<sub>cond</sub> : Pertes par conduction (KWh/m<sup>2</sup>)

P<sub>renouv</sub> : Pertes par renouvellements (KWh/m<sup>2</sup>)

### 2.4.1 L'irradiation solaire :

Le facteur de trouble atmosphérique permet de calculer les composantes directe et diffuse de l'irradiation reçue sur un plan. L'absorption et la diffusion causées par les constituants de l'atmosphère peuvent être exprimées par un facteur.

Dans ce modèle, le facteur de trouble atmosphérique de Linke  $T_L^*$  par ciel clair est donné par la relation de l'estimation du rayonnement solaire global pour différents types de ciel suivante : [21]

$$T_L^* = T_0 + T_1 + T_2 \quad (2.2)$$

$T_0$  : Le trouble dû à l'absorption gazeuse

$T_1$  : Le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère

$T_2$  : Le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption

Une modélisation de ce facteur  $T_0$  en fonction des seuls paramètres géo-astronomiques a permis de proposer l'expression suivante [22] :

$$A_{he} = \sin\left[\left(\frac{360}{365}\right) \times (j - 121)\right] \quad (2.3)$$

$$T_0 = [2.4 - 0.9 \sin(\phi) \times A_{he}] - 0.2z - [(1.22 + 0.14 \times A_{he}) \times (1 - \sin(h))] \quad (2.4)$$

Avec  $T_1 = 0.89$

$$T_2 = [0.9 + (0.4 \times A_{he})] \times (0.63)^z \quad (2.5)$$

Où

$z$  : Altitude du lieu,

$j$  : Le numéro du jour dans l'année,

$\phi$  : La latitude du lieu

$h$  : La hauteur du soleil.

L'irradiation directe par ciel clair obtenue sur un plan horizontal est donnée par [23]

$$I = I_n \cos(i) = I_0 \times C_{t-s} \times \exp \left[ -T_L^* \times \left( 0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \times \sin(h) \right)^{-1} \right] \times \cos(i) \quad (2.6)$$

$I_0$  : Représente la constante solaire.

$I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ . [23]

$C_{t-s}$  : Correction terre – soleil.

L'irradiation diffuse sur un plan horizontal est donnée par l'expression suivante:[23]

$$D = I_0 \times \exp [(-1 + 1.06 \times \log(\sin(h)))] + a - \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.7)$$

Où  $a = 1.1$

$$b = \log(T_L^* - T_0) - 2.8 + [1.20 \times (1 - \sin(h))^2] \quad (2.8)$$

L'irradiation globale reçue sur un plan horizontal est donné alors par la relation suivante :

$$G = I + D \quad (2.9)$$

## 2.4.2. Gains solaires passifs :

Les gains solaires passifs diffèrent en fonction de la présence ou de l'absence d'une couverture de piscine.

### 2.4.2.1. Gains solaires passifs sans la couverture :

Gains solaires passifs sans la couverture de piscine En l'absence de couverture, les gains solaires passifs peuvent être exprimés par [23]:

$$G_{a \text{ sans couv}} = S_p * [(1-r_b) * (1-s) * H_b + (1-r_d) * H_d] \quad (2.10)$$

$S_p$  : Surface de la piscine ( $m^2$ )

$R_b$  : La réflectivité moyenne de l'eau au rayonnement direct

$S$  : La portion ombragée de la piscine

$R_d$  : La réflectivité moyenne de l'eau au rayonnement diffus

$H_b$  et  $H_d$  sont les moyennes mensuelles de l'ensoleillement direct et diffus



### 2.4.2.2 Gains solaires passifs avec une couverture solaire :

- Dans le cas d'une piscine recouverte par une toile, les gains solaires passifs peuvent s'écrire [23]:

$$G_{a \text{ pas couv}} = S_p \alpha_c H \quad (2.11)$$

$\alpha_c$  : L'absorptivité de la toile de piscine (fixée à 0,4)

H : La moyenne mensuelle de l'ensoleillement global sur une surface horizontale

### 2.4.3. PERTES PAR RAYONNEMENT :

Soit deux corps gris de coefficient d'absorption respectivement égal à  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  et de facteurs de forme respectifs  $F_{p \rightarrow \text{Ciel}}$  et  $F_{\text{Ciel} \rightarrow p}$ , le flux  $\Phi$  échangé par la piscine avec le ciel est [24]

$$\Phi = F_{1 \rightarrow 2} S_1 \alpha_1 \alpha_2 \sigma T_1^4 - F_{2 \rightarrow 1} S_2 \alpha_1 \alpha_2 \sigma T_2^4 \quad (2.13)$$

$$\Phi_{\dot{e}p} = \Phi_{p \rightarrow \text{air}} S_p \alpha_p \alpha_{\text{air}} \sigma T_p^4 - \Phi_{\text{air} \rightarrow p} S_{\text{air}} \alpha_p \alpha_{\text{air}} \sigma T_{\text{air}}^4 \quad (2.14)$$

Prenons  $T_p = T_{\text{air}}$  (il n'y a donc pas d'échange) [24]

$$\Phi_{\dot{e}p} = 0 \leftrightarrow \Phi_{\dot{e} \text{ air}} = \Phi_{r \text{ air}} \leftrightarrow \Phi_{p \rightarrow \text{air}} S_p = \Phi_{\text{air} \rightarrow p} S_{\text{air}} \quad (2.15)$$

$$\Phi_{\dot{e}p} = \Phi_{p \rightarrow \text{air}} S_p \alpha_p \alpha_{\text{air}} \sigma (T_p^4 - T_{\text{air}}^4) \quad (2.16)$$

$$\Phi_{\dot{e}p} = \Phi_{p \rightarrow \text{air}} \alpha_p \alpha_{\text{air}} (T_p^4 - T_{\text{air}}^4) \quad (2.17)$$

$\Phi_{\dot{e}p}$  : Flux échangé par la piscine avec l'air par unité de surface ( $\text{W/m}^2$ )

On considère :

- Le corps 1 (la piscine) est considéré comme un corps noir  $\rightarrow \alpha_p = 1$
- la partie de la piscine qui émet est en contact direct avec le corps 2 (l'air)  $\rightarrow \Phi_{p \rightarrow \text{air}}$

$$\Phi_{\epsilon p} = \alpha_p \alpha_{\text{ciel}} \sigma (T_p^4 - T_{\text{ciel}}^4) \quad (2.18)$$

$$\text{Ray} = \frac{\sigma T_p^4}{1000} \quad (2.19)$$

$\Phi_{\epsilon v}$  : Flux échangé par la piscine avec l'air ambiant (W/m<sup>2</sup>)

$P_{\text{ray}}$  : Pertes par rayonnement (kW/m<sup>2</sup>)

$\sigma = 5,67.10^{-8}$  W/K<sup>4</sup>.m<sup>2</sup> (constante de Stefan-Boltzmann)

$T_p$  : Température de la piscine (K)

$T_a$  : Température de ciel (K)

$\epsilon_{\text{air}}$  : Emissivité de ciel

$\alpha_{\text{air}}$  : Absorption de ciel

La température du ciel, qui est donnée par [25] :

$$T_{\text{ciel}} = [273.15 + T_a(t)] \times [0.711 + 0.0056 \times \bar{T}_{\text{dw}} + 0.00073 \times T_{\text{dw}}^2 \times 0.013 \times \cos(\pi/2)]^{0.25} - 273.15 \quad (2.20)$$

Les pertes par rayonnement sont données alors par [25]:

$$P_{\text{ray}} = 0.96 \times 0.000000056697 \times [(T_p + 273.15)^4 - (T_{\text{ciel}} + 273.15)^4] \quad (2.21)$$

Les pertes par rayonnement vers le milieu environnant, en l'absence de toile de piscine, sont données par aussi par [26] :

$$P_{\text{ray}} = S_p * \epsilon_w * \sigma * (T_p^4 - T_{\text{ciel}}^4) \quad (2.22)$$

$\epsilon_w$  : L'émissivité de l'eau dans le spectre infra-rouge.

#### 2.4.4 PERTES POUR EVAPORATION :

Il est important de remarquer que la plus grande partie des pertes d'énergie au niveau de la piscine est due à l'évaporation de l'eau. Il faut aussi mentionner que ce sont les particules ayant la plus grande énergie cinétique qui quittent la piscine emportant avec elles leur énergie.

L'évaporation de l'eau comprend trois parties.

1. L'apport d'énergie qui est une étape lente et limitant (le facteur limitant est la chaleur latente car si l'énergie nécessaire n'est pas apportée, il n'y aura pas d'évaporation).
2. L'évaporation proprement dite (c.-à-d. le changement de phase des molécules d'eau liquide en vapeur d'eau) qui est une étape rapide.
3. Le déplacement d'eau dans la phase gazeuse qui est aussi une étape lente et limitant (les facteurs limitant sont le vent et la différence de pression partielle car si le vent est nul et/ou si la différence de pression partielle est nulle, alors les particules d'eau qui se sont échappées de la piscine resteront en surface et ne permettront pas à d'autres particules de s'échapper). [26]

La formule générale des pertes par évaporation est donnée par [27]:

$$P_{ev} = \frac{J \times L_v}{1000} \quad (2.23)$$

Avec :

$$J = 0,8 \frac{0,089 + 0,078.V}{L_v} [p_{sat}(T_p) - HR.p_{sat}(T_a)] \quad (2.24)$$

Les pertes par évaporation sont données aussi par [27] :

$$P_{ev} = 0,8 \frac{0,089 + 0,078.V}{1000} [P_{sat}(T_p) - HR.P_{sat}(T_a)] \quad (2.25)$$

Avec

$P_{ev}$  : Pertes énergétiques par évaporation (kw/m<sup>2</sup>)

$J$  : Flux d'évaporation de l'eau (kg/m<sup>2</sup>.s)

$L_v$  : Chaleur latente de vaporisation de l'eau (enthalpie de vaporisation (kJ/kg))

$V$  : Vitesse du vent (m/s)

$P_{sat}(T)$  : Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air saturé à la température T (Pa)

$T_a$  : Température de l'air ambiant (K)

$T_p$  : Température de la piscine (K)

HR : L'humidité relative de l'air ambiant (%)

En ce qui concerne la différence de pression partielle, si elle est positive, il y a évaporation, et dans le cas contraire, il y a condensation.

### Chaleur latente de vaporisation de l'eau ( $L_v$ ) :

Pour calculer  $L_v$  on utilise cette formule [27]:

$$L_v(T) = \frac{\Delta_r H^\circ(T)}{M} 1000 \quad (2.26)$$

$L_v(T)$  : Chaleur latente de vaporisation à la température T (kJ/kg)

$\Delta_r H^\circ(T)$  : Enthalpie molaire de vaporisation à la température T (kJ/mol)

M : Masse molaire (g/mol)

Pour l'eau on a [27] :

$$L_v(T) = \frac{44,01 + (33,58 \cdot 10^{-3} - 75,29 \cdot 10^{-3})(T - 298)}{18,01528} 1000 \quad (2.27)$$

### Différence de pressions partielles :

Le terme  $[p_{\text{sat}}(T_p) - \text{HR } p_{\text{sat}}(T_a)]$  est la différence entre la pression partielle existant à la surface de la piscine et la pression partielle de l'air situé autour de la piscine comme le montre la figure 2.2

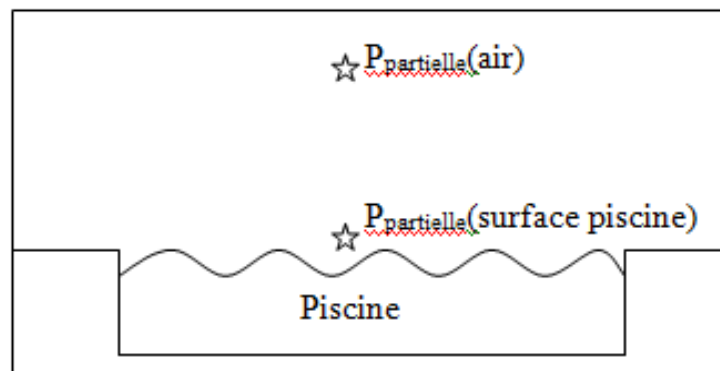


Figure 2.2. Différent de pressions entre la surface de la piscine et l'air.

L'humidité relative de l'air est une mesure de la teneur en vapeur d'eau dans l'air exprimée [28]

$$HR = \frac{P_{partielle}(T)}{P_{sat}(T)} 100 \quad (2.28)$$

HR : Humidité relative de l'air ambiant (%)

$P_{partielle}(T)$  : Pression partielle de vapeur d'eau (atm)

$P_{sat}(T)$  : Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air saturé (atm)

La formule de Rankine permet de calculer la pression de la vapeur d'eau saturée à la température T [27]:

$$\ln(P_{sat}(T)) = 13,7 - \frac{5120}{T} \quad (2.29)$$

$P_{sat}$  : Pression de vapeur saturante de l'eau (atm)

T : Température absolue (K)

D'autre méthode pour calculer les pertes par évaporation existent proposée dans ASHRAE (ASHRAE, 1995), revue par Smith et Coll [26]:

$$P_{ev} = S_p \cdot h_e \cdot (P_{v, sat} - P_{v, amb}) \quad (2.30)$$

$P_{v, sat}$  et  $P_{v, amb}$  : Sont les pressions partielles de la vapeur d'eau respectivement à la saturation et aux conditions ambiantes

Le coefficient de transfert de masse  $h_e$  (en  $(W/m^2)/Pa$ ) s'exprime par [26]:

$$h_e = 0.05058 + 0.0669 \cdot V \quad (2.31)$$

V : La vitesse du vent à la surface de la piscine m/s

### 2.4.5. Pertes par convection :

La convection est un transport de chaleur par transfert de matière, comme le représente la figure 2.3.

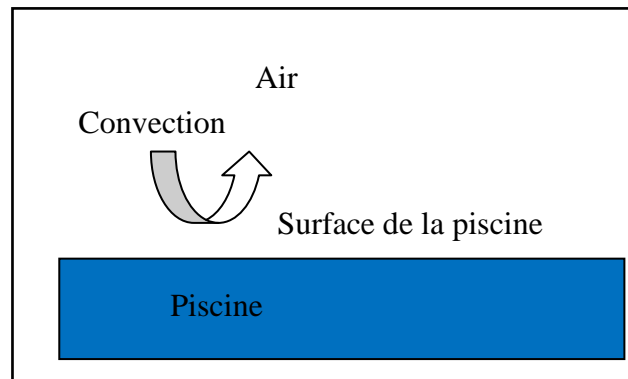


Figure 2.3. Représentation schématique de la convection.

Les pertes de la convection sont définies comme [29]:

$$P_{cv} = A_s \times h_{ca} \times (T_p - T_a) \quad (2.32)$$

$h_{ca}$ : Coefficient de transfère de chaleur par convection ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$V$ : La vitesse du vent (m/s)

Coefficient de transfèretde chaleur est donné par l'expression suivante [29].

$$h_{ca} = 3.1 + 4.1 \times v^{0.8} \quad (2.33)$$

Avec :

$T_a$ : La température ambient. [29]

$A_s$ : Surface d'échange

Deuxième méthode pour calculer les pertes par convection sont estimées en utilisant l'équation citée par Hahne et Kübler [27]:

$$P_{cv} = h_{con} \cdot (T_p - T_a) \quad (2.34)$$

$h_{conv}$  le coefficient de transfert thermique par convection donné par :

$$h_{\text{conv}} = 3.1 + 4.1 \cdot V \quad (2.35)$$

### 2.4.6 Pertes par conduction :

Les pertes par conduction sont souvent négligeables par rapport aux autres pertes. Dans le modèle Retscreen pour projets de chauffage solaire de l'eau, les pertes par conduction  $P_{\text{cond}}$  sont supposées égales à 5 % des autres pertes [30] :

$$P_{\text{cond}} = 0.05 \times (P_{\text{ray}} + P_{\text{ev}} + P_{\text{cv}} + P_{\text{renouv}}) \quad (2.36)$$

L'énergie perdue par conduction lorsque le réservoir est isolé thermiquement du sol par l'incorporation d'une couche de polystyrène dans la structure des parois, l'expérience montre que l'énergie horaire perdue par conduction représente moins de 1% de l'énergie perdue par la piscine par rayonnement. Nous allons utiliser cette approximation pour la présente étude. Cependant, l'algorithme pour l'évaluation des pertes de conduction est en construction.

### 2.4.7 Pertes thermiques par renouvellement de l'eau de la piscine :

De l'eau est ajoutée à la piscine pour compenser les pertes par évaporation, les pertes associées à l'activité des baigneurs et les renouvellements volontaires d'eau.

Le taux de remplacement d'eau entré par l'utilisateur, exprimé comme une fraction du volume de la piscine renouvelé chaque semaine, (kg/s) est donnée par [30]:

$$P_{\text{renouv}} = P_{\text{éva}} + f_{\text{renouv}} \times [(\rho \cdot V_p) / (7 \cdot 86400)] \quad (2.37)$$

$\rho$ : La masse volumique de l'eau ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_p$ : Le volume de la piscine ( $\text{m}^3$ )

Ce dernier volume est calculé à partir de la surface de la piscine en considérant une profondeur moyenne de 1,5 m :

$$V_p = 1,5 \cdot S_p \quad (2.38)$$

Le taux d'énergie nécessaire pour réchauffer l'eau ajoutée  $E_{\text{renouv}}$  est donnée par : [30]

$$E_{\text{renouv}} = P_{\text{renouv}} \cdot C_p \cdot (T_p - T_c) \quad (2.39)$$

$T_c$  : La température froide fournie par le réseau municipal

### 2.5.1 RENDEMENT INSTANTANE DU CAPTEUR PLAN :

Le rendement instantané est défini comme étant le rapport de la puissance thermique utile récupérée par le fluide caloporteur ( $P_u$ ) et la puissance solaire arrivant sur le plan incliné du capteur ( $P_{ab}$ ).

Le rendement instantané donné par la relation suivante : [31]

$$\eta_i = \frac{P_u}{P_{ab}} = \frac{P_u}{G_I \times A_c} \quad (2.40)$$

$P_{ab}$  : La puissance solaire arrivant sur le capteur.

$P_u$  : La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur.

$A_c$  : Surface du capteur.

$G_I$  : Flux solaire global incident sur le capteur.

Le rendement instantané du capteur en fonction du débit massique est donné par [31]:

$$\eta_i = \frac{m C_p (T_{fs} - T_{fe})}{G_I A_c} \quad (2.41)$$

Avec :

$m$  : Débit massique du fluide caloporteur

$C_p$  : Chaleur spécifique de l'eau.

$T_{fs}$  : Température de sortie du fluide.

$T_{fe}$  : Température d'entrée du fluide.

## 2.6. CONCLUSION

Le présent chapitre a été consacré à la modélisation et le bilan thermique d'une piscine à l'extérieure avec ses différentes pertes thermique. Dans ce chapitre, nous avons surtout détaillé les pertes par évaporation qui reste un paramètre très important dans le chauffage de tels systèmes.



## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous sommes intéressé par la simulation de notre système et connaître les performances et le rendement ainsi que sa rentabilité, tout cela, l'utilisant un logiciel de simulation nommé TRANSOL sous TRNSYS.

### 3. 2.PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

Notre zone d'étude est la région de Bordj El Kiffan, située à environ à 10 Km de l'est d'Alger (Algérie)

- Latitude :  $36^{\circ} 44' 55''$  Nord
- Longitude :  $3^{\circ} 11' 32''$  Est
- Altitude : 11 m

Sa position géographique est représentée par la figure 3.1

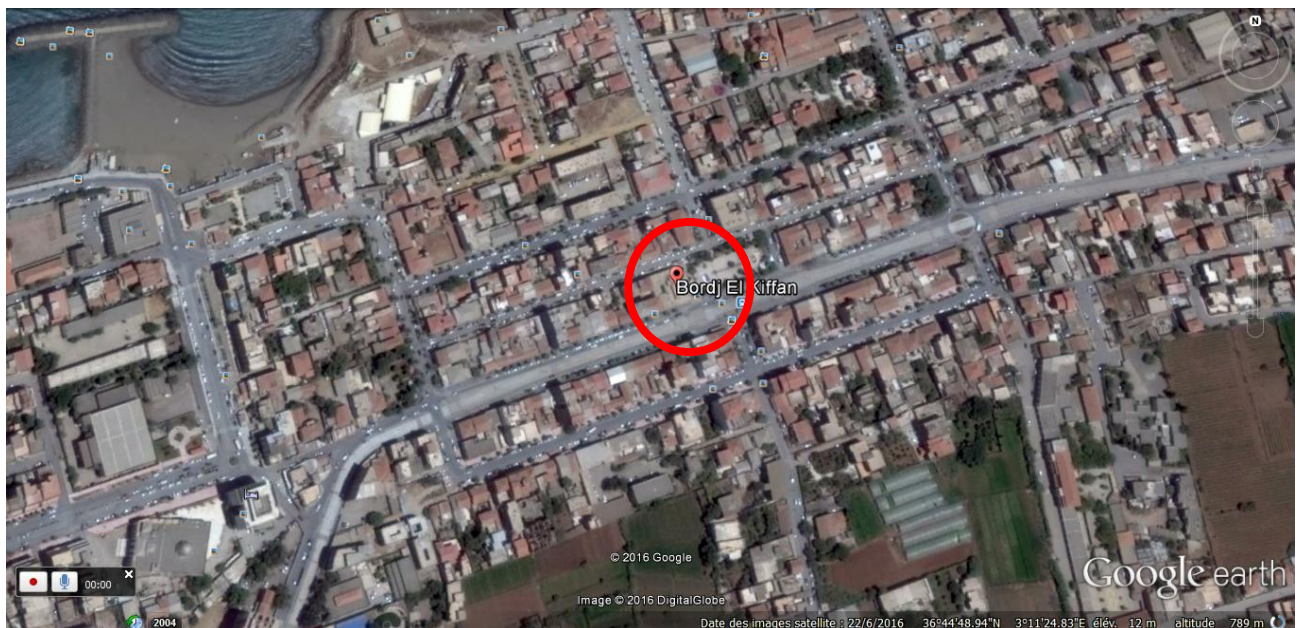


Figure 3.1: Représentation de la zone d'étude

### Dimension de la piscine

- Longueur = 8 m
- Largeur = 4 m
- Surface = 32 m<sup>2</sup>
- Profondeur = 1.5 m
- Volume = 48 m<sup>3</sup>



### 3.3. PRESENTATION DU LOGICIEL

Le logiciel utilisé appelé TRANSOL est développé par le laboratoire CSTB (France) il utilise la puissance du moteur de simulation sous TRNSYS destiné pour la simulation dynamique des systèmes thermique basse température, l'interface de ce logiciel est représenté sur la figure 3.2

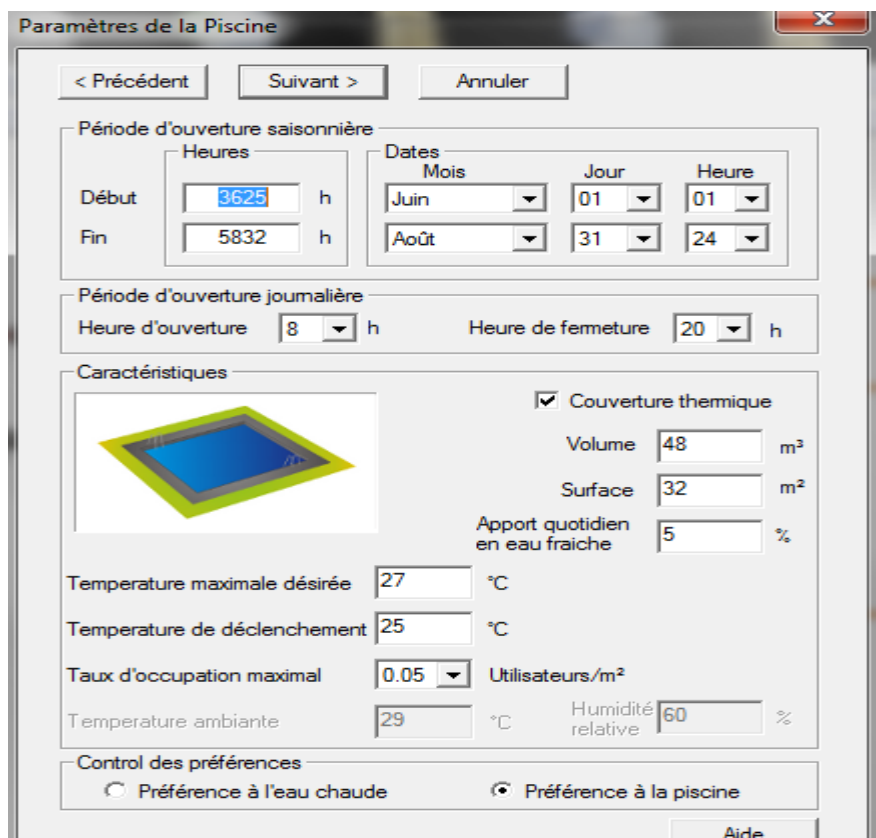


Figure 3.2. Interface du logiciel

### 3.4. DESCRIPTION DU SYSTEME UTILISE

L'originalité de l'étude est le chauffage solaire qui est non seulement destiné au chauffage de la piscine mais également au chauffage d'eau sanitaire de notre habitation. Le système se compose essentiellement d'un ensemble de capteurs solaires thermiques qui fournissent de l'énergie au ballon d'eau chaude sanitaire à partir d'un échangeur de chaleur externe et à la piscine au travers d'un autre échangeur de chaleur externe.

La stratégie utilisée pour le contrôle du système donne la priorité à la piscine (le ballon solaire n'est chauffé que si la piscine a atteint sa température maximum). La piscine n'est jamais chauffée en dehors de sa période de fonctionnement, comme le représente la figure 3.3.

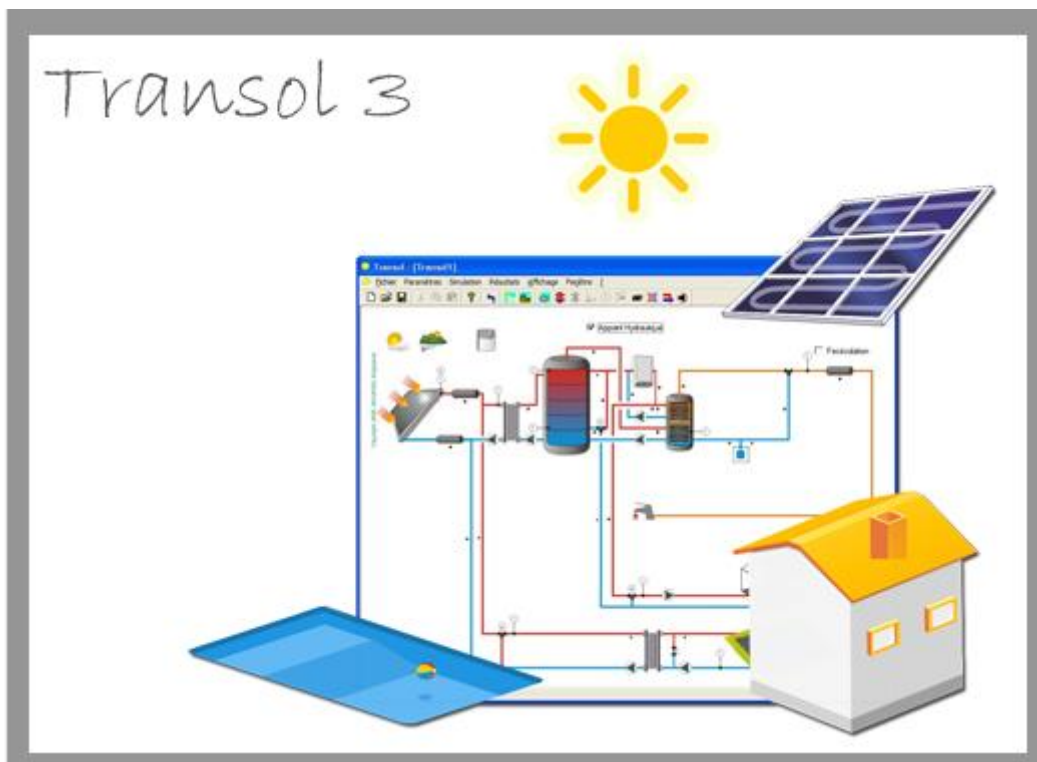


Figure 3.3. Présentation du système

### 3.5. RESULTATS ET DISCUSSIONS :

#### 3.5.1. Données météorologiques

Les données météorologiques sont fournies par le logiciel METEONORM

##### 3.5.1.1. Variation de température ambiante :

La variation de température ambiante est donnée sur la figure 3.4

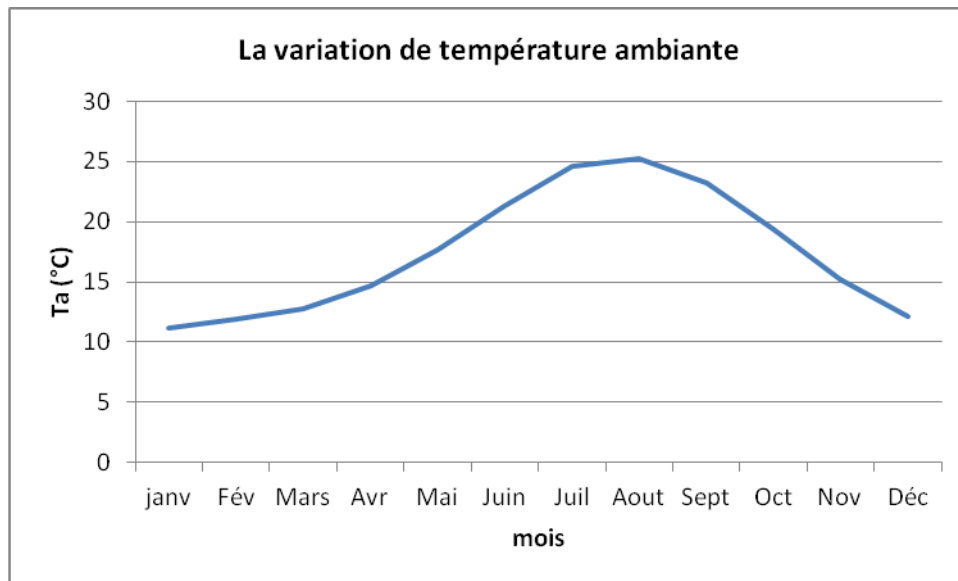


Figure 3.4. Variation de température ambiante

On remarque que la température ambiante sur ce site suit une forme de cloche, elle atteint leurs maximums en été avec 25°C et leurs minimums en hiver avec une moyenne mensuelle de 11 °C

### 3.5.1.2. Variation d'humidité relative

La variation d'humidité relative est donnée sur la figure 3.5

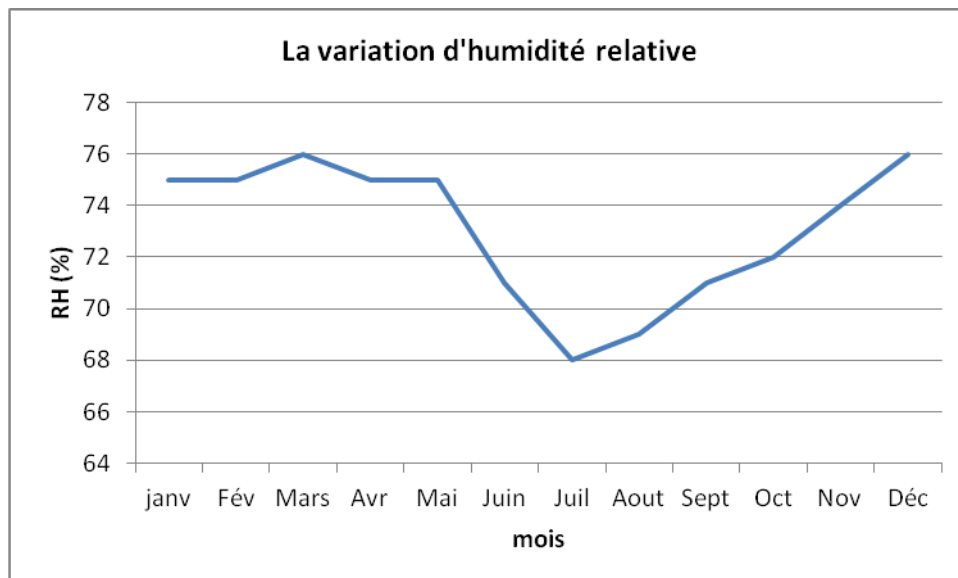


Figure 3.5. Variation d'humidité relative

On constate que le taux d'humidité relative sur le site de bordj el kiffan est très variable. Etant donné que c'est une région côtière, le taux d'humidité est supérieur à 68 % durant toute l'année, ce qui influe considérablement sur la piscine.

### 3.5.1.3. Variation de vitesse du vent :

La variation de vitesse du vent est donnée sur la figure 3.6

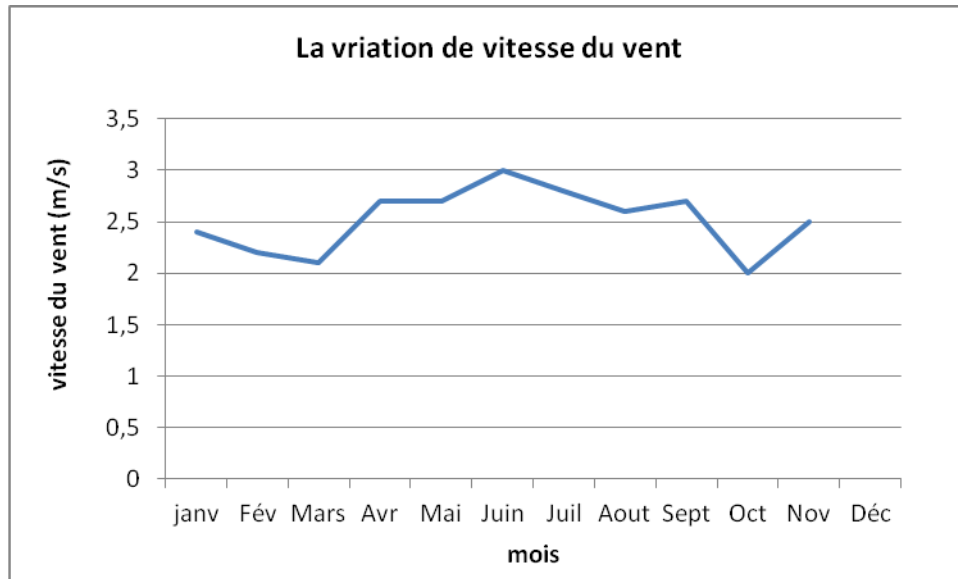


Figure 3.6 Variation de vitesse du vent

On constate que la vitesse du vent est entre 2 et 3 m/s, une vitesse relativement importante surtout en été, une période correspondante à la période d'utilisation ce qui influe négativement sur les pertes thermiques par convection.

### 3.5.1.4. Variation du rayonnement global :

La variation du rayonnement global sur plan horizontale sur le site de bordj el kiffan et donnees sur la figure 3.7

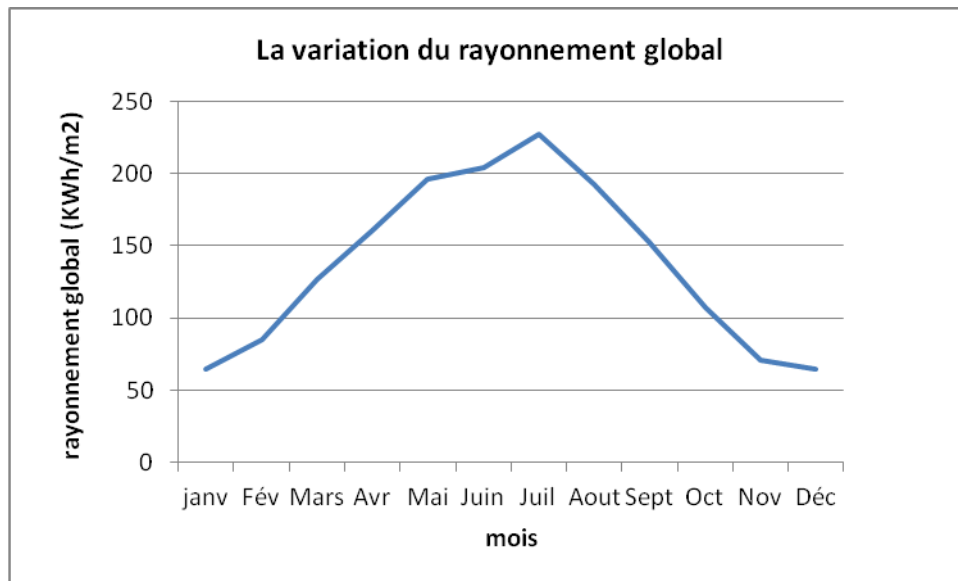


Figure 3.7 Variation Variation du rayonnement global

On remarque que le rayonnement global sur ce site suit une forme de cloche, elle atteint leurs maximums en été avec  $230 \text{ kWh/m}^2$  et leurs minimums en hiver avec une moyenne mensuelle de  $51 \text{ kWh/m}^2$ , on peut dire que c'est un potentiel très important pour ce genre d'applications

### 3.5.2. Besoins en eau chaude sanitaire:

Après simulation sous le logiciel TRANSOL, les résultats sont comme suit

Les besoins en consommation annuel pour l'eau chaude sanitaire sont représentés en figure 3.8

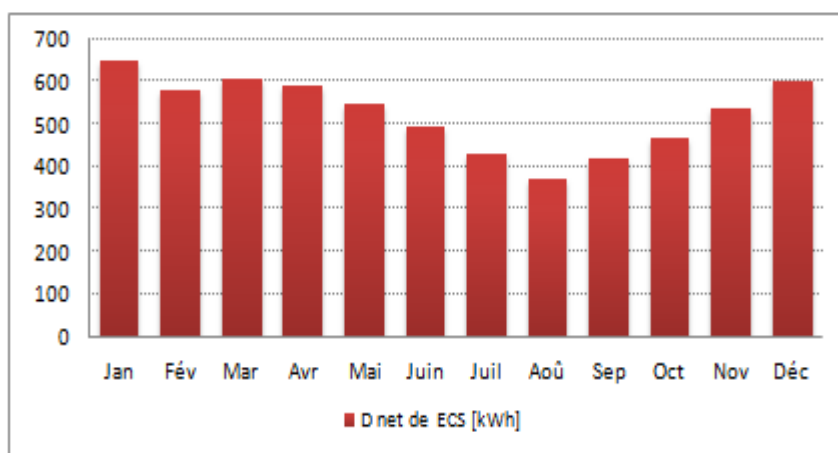


Figure 3.8 Besoin énergétique net en ECS

La figure représente les besoins net de consommation d'eau chaude sanitaire en fonction des mois de l'année, la consommation décroissant pour les mois estivaux, le minimum est pour le mois d'Aout (autour de 370 kWh) et croissant pour les mois d'hiver, ou le maximum est atteint à plus de 630kWh, les besoins varient selon les habitudes des occupants et période de l'année (le climat).

### 3.5.3. Besoins en piscine

Les besoins en consommation pour une petite piscine domestique sont donnés par la figure

3.9

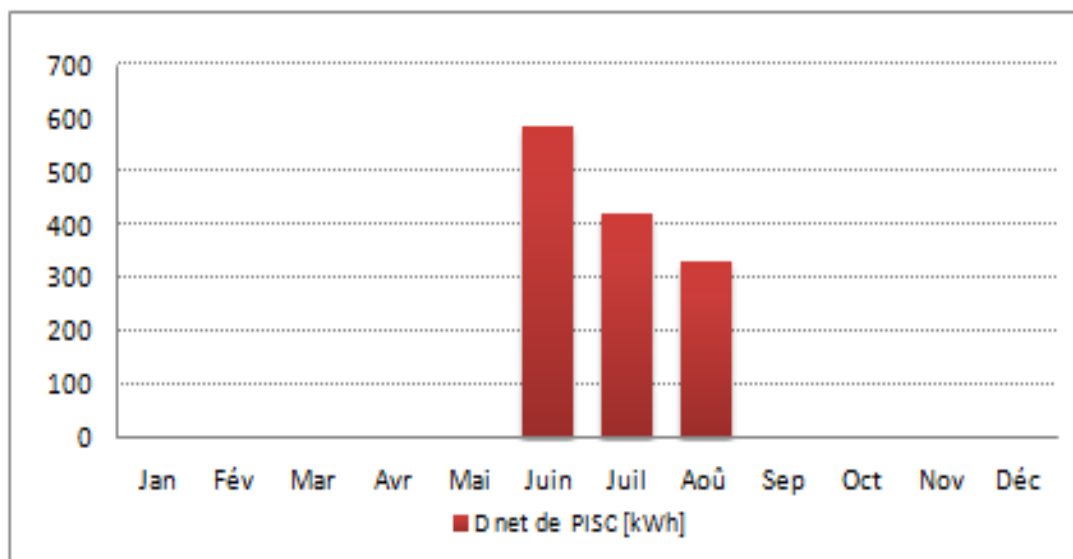


Figure 3.9 Besoin énergétique en piscine

la figure représente le besoins en chauffage de la piscine en (kWh) en fonction des mois de l'été (période d'utilisation), on remarque qu'il a une grande hausse de besoins pour le premier mois de l'été avec un maximum atteint avec plus de 600 kWh puis décroît progressivement jusqu'à atteindre la moitié de la consommation en mois d'aout environ 300 kWh, un besoin relativement faible ceci est due au volume de la piscine (volume très petit: piscine domestique) et un fort potentiel au mois d'août ainsi que l'inertie thermique du système.

### 3.5.4. Présentation du bilan énergétique :

Les résultats énergétiques globaux du système solaire combiné, piscine et en eau chaude CS obtenus grâce à la simulation sous le logiciel TRANSOL.



### 3.5.4.1. Résultat énergétique du système de chauffage d'eau sanitaire :

Résultat énergétique du système solaire thermique sont donné en figure 3.10

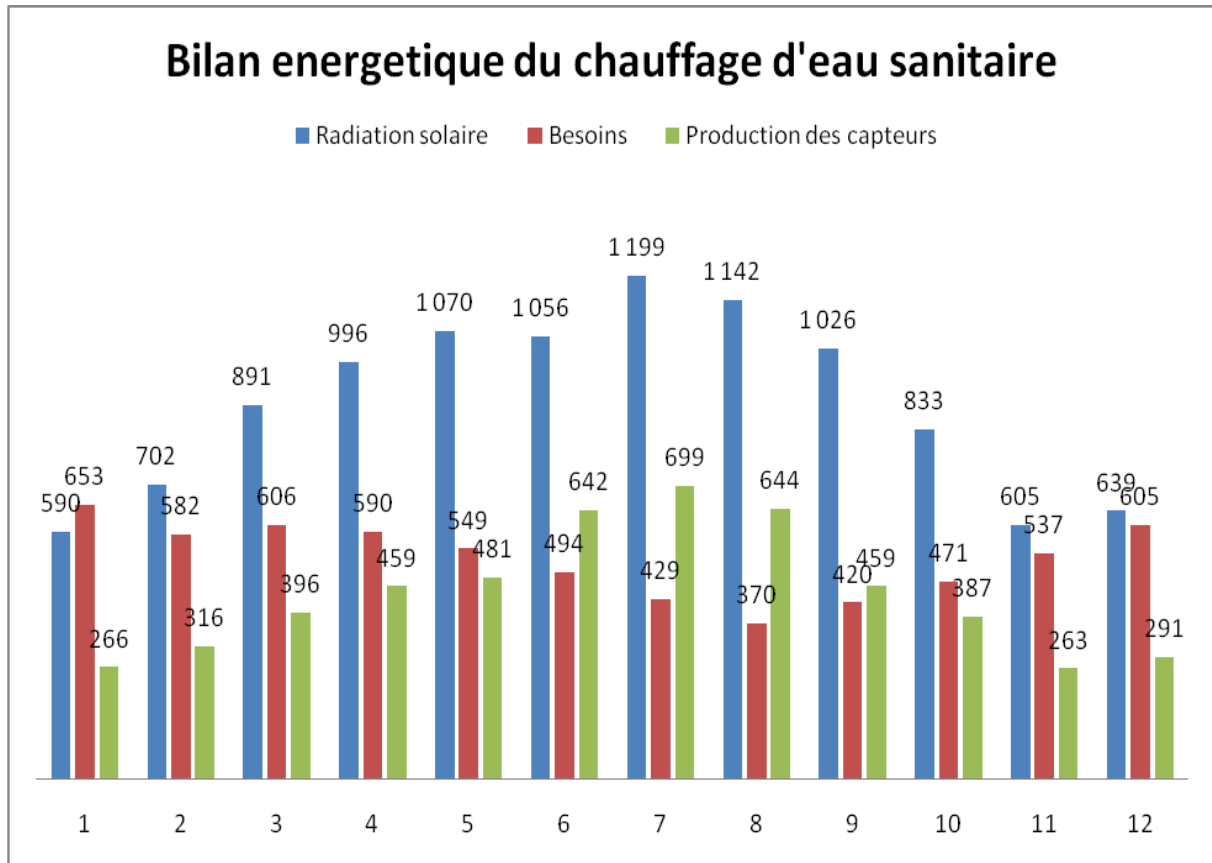


Figure 3.10. Résultats énergétique du chauffage d'eau sanitaire

On remarque que les besoins en eau chaude sanitaire durant toute l'année sont relativement régulière et continue (autour de 600 kWh) selon les habitudes des occupants de cette habitation, en plus d'un potentiel solaire suffisamment important pour couvrir les besoins de cette habitation, mais le choix des capteurs de production national lors de la simulation rendent une production énergétique très réduite qui donne une fraction solaire en hiver moins importante (fraction solaire annuel autour de 50 %).

### 3.5.4.2. Résultat énergétique du chauffage de la piscine :

Les résultats énergétiques du système solaire thermique sont donné en figure 3.11



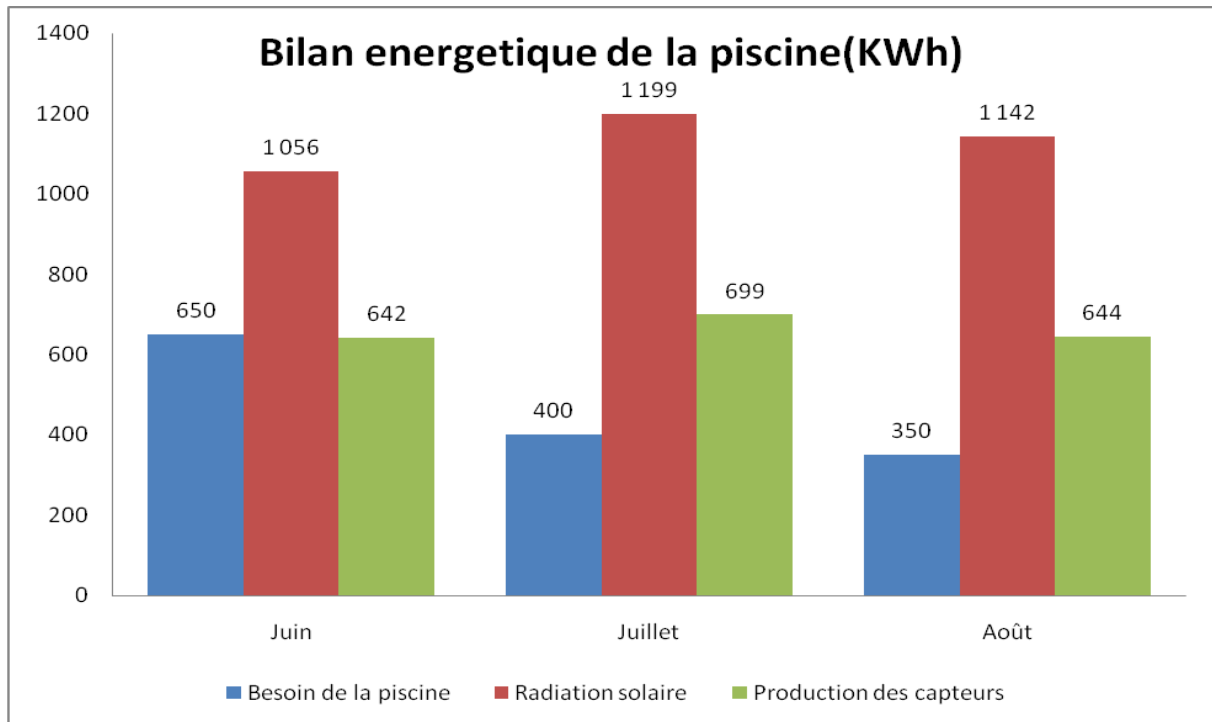


Figure 3.11 Bilan énergétique de la piscine

On remarque que les besoins de la piscine pour la période d'utilisation (été) sont variables d'un mois à un autre contrairement au potentiel ainsi que la production énergétique des capteurs utilisés qui reste relativement constante. On constate que cette dernière peut couvrir la totalité de ces besoins malgré les différentes pertes dans le système (fraction solaire moyenne donnée par la simulation est de 95.6 %). Ce qui prouve l'intérêt de l'utilisation des systèmes solaires dans de tels sites.

### 3.5.5. Evolution des pertes thermiques du système :

La figure 3.12 résume la part des pertes thermiques dans différents éléments de l'installation solaire sur l'année.

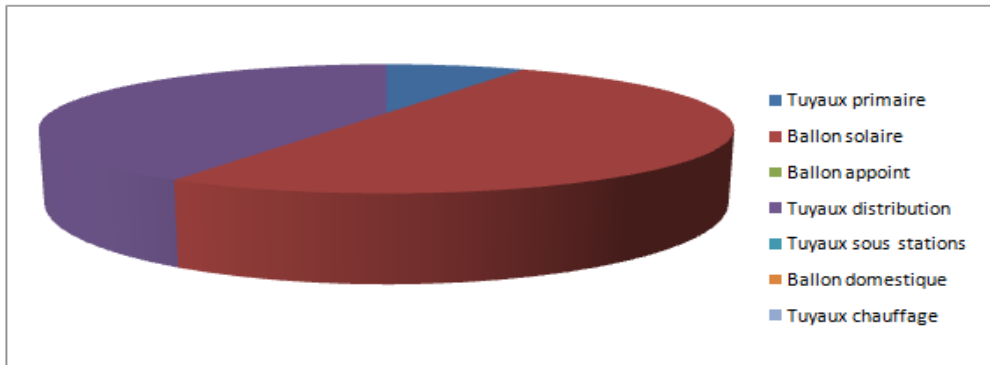


Figure 3.12 Les pertes thermiques dans les différents éléments de l'installation.

On remarque que le ballon solaire et les tuyaux distribution du circuit représentent les pertes plus importants (plus de 80 %), ceci est dû à une isolation de la cuve assez moyenne, par contre les pertes dans les tuyaux de distribution sont dus essentiellement à la distance assez éloigné des capteurs par rapports à la piscine, sans oublié l'isolation assez moyenne utilisé par ces tuyaux (Armaflex).

### 3.5.6. Analyse économique et environnementale :

Afin de connaître les avantages et les inconvénients du système que nous étudions, une comparaison a été réalisée avec et sans le système solaire, analyse a donné le tableau ci-dessous.

Tableau 3.1. Analyse économique et environnementale

<b>Paramètres économiques</b>	<b>Unité</b>	<b>Avec système solaire</b>	<b>Sans système solaire</b>
Investissement:	[DA]	1700000	650000
Subventions:	[DA]	0	0
Coût de maintenance:	[DA]	29000	6000
Période d'exploitation:	(années)	25	25
Consommation énergie primaire	[kWh]	5 540	11 301
Conso. parasite énergie primaire	[kWh]	387	205
Retour sur investissement	(ans)	8	
VAN		3 725	
<b>Bilan environnemental</b>			
Taux en Co2	[kg]	0	824

Le tableau 3.1 de l'analyse économique présenté, a comparé entre un système avec et sans système solaire. On remarque que dans un système solaire si la VAN est positif ce qui signifie que ce système est plus rentable et plus avantageux que le second système (VAN: est l'une des méthode de comparaison entre deux systèmes en terme d'actualisation), les résultats ont donné aussi un temps de retour de 8 ans , un temps relativement intéressant, le fait du bas prix du kWh conventionnel et le prix élevé de l'investissement. L'analyse économique et en bilan environnemental donne le première système nulle en émission de co2 et le second système avec 824 kg émission de Co2, donc on peut dire qu'un système solaire peut éviter un taux très important des gaz à effets de serres. Donc on peut dire aussi que d'après les résultats précédents, nous concluons que le système solaire est plus rentable et plus intéressant, malgré

un investissement initial important mais en cours des années l'investissement est amortit et delà le système devient très compétitifs.

### **3.6. CONCLUSION**

On peut dire que les résultats de la simulation thermique donnent des résultats assez satisfaisants (fraction solaire de 95%). Le choix d'un système combiné est très judicieux le fait d'utiliser les capteurs solaires tout le long de l'année (chauffage de la piscine en été et le chauffage de l'eau sanitaire pour le reste de l'année).

Même sur le plan écologique, nous avons remarqué qu'on peut éviter un taux très important de CO<sub>2</sub>.

## **CONCLUSION GENERALE**

L'étude d'une installation de chauffage solaire destinée pour une piscine domestique à l'extérieure, nous a permis d'abord d'améliorer nos connaissances et notre compréhension au sujet des énergies renouvelables, surtout celles concernant le chauffage en énergie solaire thermique.

Dans notre travail, nous avons cité les principaux travaux internationaux sur le domaine du chauffage solaire des piscines à l'extérieure ainsi que les différents types de chauffage des piscines, qui recommande, la pompe à chaleur comme alternatif très rentable

Notre travail nous permis aussi de dresser un bilan thermique global afin de produire des modèles de calcul des pertes de chaleur due à la convection, rayonnement et surtout à l'évaporation, dans les piscines extérieures qui reste toujours une problématique.

Le modèle montre que pour des piscines de chauffage où la réduction de coûts du chauffage est désirée devraient avoir une couverture pour réduire des pertes d'évaporation.

Du point de vue technique, nous avons utilisé un logiciel TRANSOL sous TRNSYS, qui nous a permis de dimensionner et à évaluer les performances de notre installation en fonction de plusieurs paramètres.

Les résultats donnent un taux de couverture à l'ordre de 95% pour le chauffage des piscines dans la période d'utilisation, ce qui signifie une fraction solaire très importante dans ce site, ce qui encourage ce genre d'installation pour des sites similaires. Ces capteurs solaires couvrent aussi presque la moitié des besoins en eau chaude sanitaire durant toute l'année pour un système combiné.

La simulation a montré aussi que le chauffage des piscines extérieures est une des applications les plus rentables de l'utilisation de l'énergie solaire surtout pour ce genre de site, et cela pour plusieurs raisons. La période pendant laquelle les piscines sont utilisées correspond à un meilleur ensoleillement (mai à septembre). La disponibilité et l'efficacité des capteurs solaires thermique utilisés pour ce type de système sachant que la température de l'eau de baignade est d'environ 26°C.

Cette étude n'est qu'une initiation au chauffage solaire destinée pour les piscines, elle permet d'offrir la possibilité de généraliser l'utilisation de ce dernier et d'interpeller les pouvoirs publics à sensibiliser et à exploiter l'énergie solaire thermique et de contribuer aux diminutions de l'exploitation des énergies fossiles et réduction des gaz à effets de serre.

## REFERENCE

- [1] D. Govaer et Y. Zarmi, «Analytical evaluation of direct solar heating of swimming pools,» *Solar Energy* , vol. 27, n° 6, pp. 529-533, (1981).
- [2] Govind ET M. Sodha, «Thermal model of solar swimming pools» *Energy Convers.* vol. 23, n° 3, pp. 171-175, (1983).
- [3] C. Rakopoulos et E. Vazeos, «A model of the energy fluxes in a solar heated swimming pool and its experimental validation » *Energy conversion* , vol. 27, n° 2, pp. 189-195, (1987).
- [4] W. Haaf, U. Luboschik et B. Tesche, «Solar swimming pool heating: description of a validated model» *Solar Energy*, vol. 53, n° 1, pp. 41-46, (1994).
- [5] I. Ahmad y N. ET A. Khan, «Solar swimming pool heating in Pakistan, » *Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I – Vol. V)*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 2033-2037, (2009).
- [6] N. Muñoz, «Obtención de agua caliente para piscinas utilizando colectores solares de placa plana operando por termosifón», trabajo de grado presentado Como requisito para optar al título de Ingeniera Física, universidad tecnológica de pereira (2010)
- [7] S. D. R. Rico, «Diseño del sistema de calefacción de la piscina de la UPB, campus laureles,» *Universit  de Pontificia Bolivariana*, (2010), *Energy\_Procedia*, Volume 57, 2014, Pages 2879-2887 , *ISES Solar World Congress*, (2013)
- [8] J. Woolley, C. Harrington et M. Modera, «Swimming pools as heat sinks for air conditioners: Model design and experimental validation for natural thermal behavior of the pool. » *Building and Environment*, n° 46, pp. 187-195, (2011).
- [9] S. Sharma, « Calculation of heat losses from nit-Rourkela’s swimming pool and a study on evaporative losses using MATLAB. National Institute of Technology », Rourkela, (2011). A report submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of bachelor of technology (chemical engineering), Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela

- [10] H. F. Nouanegue, S. Sansregret, B. Lelostec et A. Daoud, «Energy model validation of heated outdoor swimming pools in cold weather » , Proceedings of Building Simulation ,12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, (2011).
- [11] G. Zsembinski, M. M. Farid et L. F. Cabeza, «Analysis of implementing phase change materials in open-air swimming pools,» Solar Energy , n° 86, p. 567–577, (2012).
- [12] E. T. Santos, L. E. Zárata et E. M. D. Pereira, «Hybrid thermal model for swimming pools based on artificial neural networks,» Expert Systems with Applications, n° 40, p. 3106–3120, (2013).
- [13] I. Luminosu et A. De Sabata, «Feasibility of a Solar Swimming Pool in the Western Part of Romania » , 8th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Timisoara, (2013).
- [14] Heui-Seol Roh, «Heat transfer mechanisms in pool boiling », International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 68, , Pages 332-342, (2014).
- [15] M. Dongellinia, S. Falcionia, A. Martellia et G. L. Morinia, «Dynamic simulation of outdoor swimming pool solar heating». Energy Procedia ,Volume 81, December 2015, Pages 1-10, 69th Conference of the Italian Thermal Engineering Association, ATI (2014)
- [16] C. I. Roldan, S. D. R. Rico, «Study of the homogenization of the water temperature in a heated pool under steady-state conditions to minimize the energy consumption of the heating system», Energy Procedia ,Volume 57, Pages 2879-2887 (2014)
- [17] A. Mousia, A. Dimoud, «Energy performance of open air swimming pools in Greece», Energy and Buildings, Volume 90, 1, Pages 166-172, (2015)

[18] A. Buonomano, G. De Luca, R. D. Figaj et L. Vanoli, «Dynamic simulation and thermo-economic analysis of a Photovoltaic/Thermal collector heating system for an indoor–outdoor swimming pool» , Energy Conversion and Management, Volume 99, 15 , Pages 176-192, (2015)

[19] D. Al. Katsaprakakis, « Comparison of swimming pools alternative passive and active heating systems based on renewable energy sources in Southern Europe», Energy, Volume 81, Pages 738-753, (2015)

[20] I. Luminosu et A. De Sabata, «Feasibility of a Solar Swimming Pool in the Western Part of Romania»,“Politehnica” University of Timisoara/Department of Physics Foundations of Engineering, Timișoara, Romania ,Date of Conference: 23-25 May 2013,Page(s): 375-380

[21] M. Capderou, «Atlas Solaire de l’Algérie», Tome 1, Vol. 1 et 2, Office des Publications Universitaires, Algérie, (1987).

[22] F. Kasten, «The Linke Turbidity Factor based on Improved Values of the Integral Rayleigh Optical Thickness», Solar Energy, Vol. 56, N°3, pp. 239 – 244, (1996).

[23] M. R. Yaiche, A. Bouhanik, S. M. A. Bekkouche, A. Malek. et T. Benouaz, « Estimation du rayonnement solaire global en Algérie pour différents types de ciel » , Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°4 683 – 695, (2010)

[24] P. BIGOT, « Cours sur les bilans thermiques », cours CIRA1<sup>ère</sup> année PASCAL BIGO

[25] E. T. Santos, L. E. Zarate et E. M.D. Pereira «Hybrid thermal model for swimming pools based on artificial neural networks for southeast region of Brazil», Expert Systems with Applications ,Volume 40, Issue 8, 15 June 2013, Pages 3106–3120

[26] B. Florence, J. Duisson, M. Mamri, C. Scoeck, M. Tarabichi et F. Urbain «Modélisation et réalisation d'un dispositif de chauffage en énergie solaire, cas d'une piscine extérieure»., Rapport d'un projet , université libre de Bruxelles , (2006)



- [27] John W.HILL, Ralph H.PETRUCCI, «Chimie générale», (2008)
- [28] R. Dorantes, « Thermal and hydraulic design of a solar collector field for primary school pool », (2014).
- [29] K. Kaci, «Effet de l'angle d'incidence modifié sur les performances d'un capteur solaire plan », These de Magister, ENPA, (2010)
- [30] Centre de technologie d'énergie de CANMET «Analyse des projets de chauffage d'eau », Manuel d'ingénierie et d'étude de cas document Retscreen (2004)
- [31] M. Merzouk, « Protocole et Banc d'Essai l'étude expérimentale des capteurs solaires plans »; Rapport interne, CDER, (1985)