

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE



Projet de fin d'Etudes

Pour l'obtention de Diplôme de master en génie Mécanique

Spécialité Energétique

Thème :

*Chauffage solaire d'une
Piscine intérieure semi- olympique*

Présenté par :

MEBARKA ABDELGHAFOUR

REDAOUIA RIADH

Devant le jury composé de :

H. ABDI	MCA	Université de Blida 1	président
O. KETFI	MCA	Université de Blida 1	Examineur
K. KACI	MCB	Université de Blida 1	Promoteur
S. SAMI	MRA	CDER	Co-Promotrice

Année universitaire 2023 /2024

المخلص:

يتعلق هذا العمل بدراسة اداء تركيب منشأة شمسية ذات سعة كبيرة تهدف إلى تلبية احتياجات حوض سباحة داخلي شبه أولمبي يقع ببني تامو البليدة.

تم إنشاء توازن حراري عام على النظام، مما يدل على أن خسائر التبخر هي الأكبر الأمر الذي يتطلب استخدام غطاء للمسبح.

تم فحص الجدوى التقنية والمالية للنظام وأظهرت النتائج أن معدل التغطية الشمسية للتركيب هو 60%.

علاوة على ذلك، تظهر النتائج الاقتصادية أن مدة استرداد الاستثمار تقدر بـ 14 سنة، وتعتبر هذه المدة مرضية نسبياً، مع تخفيض في الانبعاثات بمقدار 12 طن من ثاني أكسيد الكربون.

Abstract:

This work concerns the study of the performances of a large capacity solar installation intended to satisfy the needs of a semi-Olympic indoor swimming pool located in Beni Tamou in the Blida site.

An overall heat balance on the system was established, which shows that evaporation losses are the greatest, which requires the use of covers.

The technical and financial viability of the system were examined and the results show that the solar coverage rate of the installation is 60%.

Furthermore, the economic results show that the investment payback time was estimated at 14 years, this duration is considered relatively satisfactory, and an emission reduction of 12 tons of CO₂.

Résumé :

Le présent travail porte sur l'étude des performances d'une installation solaire de grande capacité destinée à la satisfaction des besoins d'une piscine intérieure semi olympique située à Beni Tamou dans le site de Blida.

Un bilan thermique globale sur le système a été établis, ce qui montre que les pertes par évaporation sont les plus importante ce qui nécessite l'utilisation des couvertures.

Les viabilités techniques et financières du système ont été examinées et les résultats montrent que le taux de couverture solaire de l'installation est de 60 %.

Par ailleurs, les résultats économiques montrent que le temps de retour d'investissement a été estimé à 14 ans, cette durée est considérée relativement satisfaisante, et une réduction d'émission de 12 tonnes en CO₂.

Dédicace

Avant tout, nous exprimons notre gratitude à Dieu pour nous avoir accordé le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

A Nos chers parents

A toute nos familles

A nos Promoteurs

A nos très chers amis

Remerciements

Au terme de la rédaction de se mémoire, c'est un devoir agréable d'exprimer en quelque lignes la reconnaissance qu'on doit à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

Nous remercions en premier lieu dieu tout puissant pour nous avoir accordé la puissance et la volonté de terminer ce travail.

*Nous attribuons nos chaleureux et vifs remerciements à notre promoteur Docteur **KACI KARIM** pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail ainsi que Docteur **Sami Sabrina** du CDER, pour ses précieux conseils et à notre chef département Docteur **KETFI OMAR**.*

Nous voulons adresser nos sincères remerciements à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont accordé.

Nous exprimons notre gratitude envers notre famille, nos amis et tous ceux qui ont joué un rôle déterminant dans notre parcours jusqu'à présent. Votre soutien et votre présence ont été inestimables. Merci du fond du cœur.

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
V_p	Le volume de la piscine	m^3
\dot{Q}	La chaleur perdue	W/m^2
λ_w	La conductivité thermique	$W/m.K$
S_c	L'épaisseur de la couverture	m
T_c	La température de la surface externe du couvercle	$^{\circ}C$
A_p	La superficie de la piscine	m^2
m	La masse de l'eau	kg
T_w	La température de l'eau de la piscine	$^{\circ}C$
T_a	La température ambiant	$^{\circ}C$
G_s	L'irradiation solaire	kW/m^2
$c_{\rho,\omega}$	La chaleur spécifique de l'eau	$kJ / kg K$
T_p	La température de la surface de la piscine	$^{\circ}C$
T_{sur}	La température de la surface environnante intérieure	$^{\circ}C$
T_{dew}	La température du point de rosée	$^{\circ}C$
h_{cv}	Coefficient de transfert de chaleur par convection	$W/m^2 ^{\circ}C$
L	La longueur de la piscine	m
N_u	Le nombre de Nusselt	
R_a	Le nombre de Rayleigh	
g	L'accélération de la pesanteur	m/s^2

G_r	Nombre de Grashof	
P_r	Nombre de Prandtl	
H_e	La chaleur latente résultant de l'évaporation de l'eau	kJ/kg
E_e	Le taux d'évaporation de l'eau de la piscine	
p_s	Pression saturée de vapeur	Atm
p_a	Pression partielle de l'air ambiante	Atm
F_a	Le facteur d'utilisation de la piscine	
A_m	Superficie de la piscine de chaque nageur	m^2
N_e	Le nombre de nageurs	
F_{re}	Le pourcentage de renouvellement quotidien de l'eau	
T_{re}	La température d'eau renouvelé	$^{\circ}C$

Symboles Grecque

ρ_w	La densité de l'eau	kg/m^3
α_s	Capacité d'absorption solaire	
ε_p	L'émissivité à ondes longues de la surface de la piscine	
δ	La constante de Stefan – Boltzmann	$W/m^2.K^4$
β	Le coefficient de dilatation thermique volumique	K^{-1}
α	La diffusivité thermique	m^2/s
ν	La viscosité cinématique	m^2/s

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 :RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. INTRODUCTION	4
1.2. ETAT DE L'ART.....	4
1.3.LES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE CONTEXTE INTERNATIONAL ET NATIONAL.....	8
1.3.1. La production des énergies renouvelables dans le monde	8
1.3.2. La production des énergies renouvelables en Algérie	10
1.3.3. La production des différents types d'énergies renouvelables en Algérie	11
1.3.4. Capacité mondiale des énergies renouvelables :.....	12
1.3.5. Capacité mondiale des différents types des énergies renouvelables par le monde	13
1.3.6. Capacité installée en énergies renouvelables en Algérie :	14
1.3.7. Capacité des différents types des énergies renouvelables en Algérie	14
1.4. DIFFÉRENTS TYPES DE CHAUFFAGE DES PISCINES	15
1.4.1. Le chauffage solaire.....	15
1.4.2. Le réchauffeur électrique des piscines	16
1.4.3. La pompe à chaleur	17
1.4.4. Échangeur de chaleur pour piscine	19
1.4.5. La chaudière.....	20
1.5.LES DIFFERENT COMPOSANT D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE SOLAIRE D'UNE PISCINE.....	21
1.5.1. La pompe de piscine	21
1.5.2. L'échangeur thermique de la piscine	22
1.5.3. Filtre de piscine.....	23
1.5.4. Les capteurs chauffage solaire des piscines.....	24
1.5.5. Couverture de la piscine.....	26
1.6. PROBLEMATIQUE	27
1.7. CONCLUSION	28
CHAPITRE 2 :MODELISATION DE LA PISCINE	29
2.1. INTRODUCTION	30
2.2. PRÉSENTATION DU SYSTÈME	30
2.3. HYPOTHESES.....	31
2.4. BILAN ENERGETIQUE DE LA PISCINE	31

2.4.1. L'énergie thermique fournie par le système de chauffage	32
2.4.2. Energie auxiliaire	Error! Bookmark not defined.
2.4.3. Pertes radiatives	33
2.4.4. Pertes par convection	34
2.4.5. Pertes par évaporation.....	35
2.4.6. Pertes par renouvellements	36
.2.4.7 Pertes par conduction	36
.2.5 CONCLUSION	37
CHAPITRE 3 :RESULTATS ET DISCUSSIONS	38
3.1. INTRODUCTION	39
3.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	39
3.2.1. Présentation des données météorologiques et radiométriques du site	40
3.2.1.1. Variation de température ambiante	40
3.2.1.2. Variation d'humidité relative	41
3.2.1.3. Variation du rayonnement global sur le plan horizontal	42
3.3. PRESENTATION DU SYSTEME TRANSOL SOUS TRNSYS	43
3.4. SIMULATION	47
3.5. RESULTATS ET DISCUSSIONS	47
3.5.1. Besoins en eau chaude sanitaire.....	47
3.5.2. Besoins énergétiques de la piscine.....	48
3.5.3. Présentation du bilan énergétique	49
3.5.4. Evolution des pertes thermiques du système	53
3.5.5. Analyse économique et environnementale	53
3.5.5.1. Analyse économique	53
3.5.5.2. Résultat de l'analyse économique	54
3.5.5.3. Impact environnemental	55
3.6. CONCLUSION	55
CONCLUSION GENERALE.....	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Capacité de production d'énergie renouvelable nette installée en 2022	8
Figure 1.2 : La production mondiale des énergies renouvelables.	9
Figure 1.3 : La production des énergies renouvelables en Algérie.....	10
Figure 1.4 : La production des différentes énergies renouvelables en Algérie.	11
Figure 1.5 : La capacité mondiale des énergies renouvelables.....	12
Figure 1.6 : La capacité des différents types des énergies renouvelables dans le monde.	13
Figure 1.7 : La capacité des énergies renouvelables dans l'Algérie.....	14
Figure 1.8 : La capacité des différents types des énergies renouvelables en Algérie.....	14
Figure 1.9 : Chauffage piscine par l'énergie solaire.....	15
Figure 1.10 : Installation de system réchauffeur électrique pour piscine.	16
Figure 1.11 : Réchauffeur électrique.....	17
Figure 1.12 : Pompe à chaleur.....	17
Figure 1.13 : Schéma d'installation de système pompe à chaleur.	18
Figure 1.14 : Echangeur de chaleur.....	19
Figure 1.15 : Système d'installation de la chaudière de piscine.	20
Figure 1.16 : Chaudière de piscine.....	20
Figure 1.17 : Pompe de piscine	22
Figure 1.18 : Echangeur thermique de la piscine	22
Figure 1.19 : Filtre d'une piscine	23
Figure 1.20 : Capteur plan.....	25
Figure 1.21 : Capteur non vitrée.....	25
Figure 1.22 : Installation d'un capteur non vitrée.....	26
Figure 1.23 : Volets de piscine.....	26
Figure 1.24 : Abris de piscine	27
Figure 2.1 : Bilan thermique de la piscine.....	30
Figure 2.2: Bilan énergétique d'une piscine intérieure : (a) découverte ; (b) couvert	32
Figure 2.3 : Diagramme psychrométrique.....	34
Figure 3.1 : Situation géographique de la région	39
Figure 3.2 : Représentation de la zone d'étude	40
Figure 3.3 : Variation de température ambiante	40
Figure 3.4. : Variation d'humidité relative.....	41
Figure 3.5 : La variation du rayonnement global en fonction des mois	42
Figure 3.6 : Présentation du système.....	43
Figure 3.7 : Photo de la Piscine LADJLAT BENI TAMOU	45
Figure 3.8 : La simulation dynamique.....	47
Figure 3.9 : Les moyennes mensuels du besoin énergétique en eau chaude sanitaire.....	48
Figure 3.10: Les moyennes mensuels du besoin énergétique de la piscine.....	48
Figure 3.11 : Les moyennes mensuels du besoin et apport de l'ECS	49
Figure 3.12 : La fraction solaire de l'eau chaude sanitaire	50
Figure 3.13 : Les moyennes mensuels du besoin et apport énergétique de la piscine.....	51
Figure 3.14 : Fraction solaire de la piscine.....	52
Figure 3.15: Les pertes thermiques dans les différents éléments de l'installation.....	53

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Les dimensions de la piscine.....	45
Tableau 3.2 : Les différents paramètres économiques du système.....	54
Tableau 3.3 : Les résultats de l'étude économique.....	54
Tableau 3.4 : Impact environnemental.....	55

INTRODUCTIONS GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Pendant de nombreuses années, l'humanité s'est largement appuyée sur les énergies fossiles. Cependant, leur coût élevé, leur impact environnemental et leur raréfaction croissante ont poussé à explorer des alternatives plus durables. Ainsi, l'énergie solaire, une ressource naturelle disponible depuis toujours, est devenue une solution attrayante.

Grâce aux progrès technologiques, elle est désormais utilisée de manière plus efficace pour améliorer notre quotidien tout en réduisant les coûts. Avec ses nombreux avantages, tels que sa rentabilité, sa facilité d'utilisation et son caractère propre et inépuisable, l'énergie solaire s'affirme comme une valeur sûre.

Combinée au chauffage le solaire thermique est essentiellement utilisée pour l'eau chaude sanitaire ce qui est courant aujourd'hui ou la plupart des pays ont su en tirer plus de cette application en l'employant pour le chauffage de piscine ce qui n'est pas encore le cas de l'Algérie

L'Algérie avantager par sa position géographique bénéficie de 3000h/ans d'ensoleillement, soit assez pour produire suffisamment d'énergie et s'alimenter tout en exportant vers l'étranger et se démarquer des autres pays.

Le chauffage de piscine pourrait s'avérer être rentable pour l'Algérie ce qui est le cas pour les autres pays l'employant de par le fait que les capteurs restent actifs à basses température (de l'ordre de 27 °C), la durée de vie des capteurs est assez importante malgré le coût de l'installation relativement onéreux.

Des techniques de conception (thermorégulations) sont développer afin de réduire la perte de chaleur pour encore plus de performances, alors l'aspect humain et financier du chauffage de piscine offre à l'Algérie de grande perspective pour le futur. Pour cela nous avons pensé à réaliser ce travail.

Notre étude est structurée en trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre se concentre sur l'étude bibliographique, en établissant les bases théoriques du sujet. Nous explorons les différentes approches et les travaux sur le chauffage des piscines, en mettant en lumière les composants et les paramètres essentiels d'une installation de chauffage solaire pour une piscine intérieure.

- Le deuxième chapitre est dédié à l'évaluation thermique du chauffage de la piscine. Nous effectuons un bilan détaillé des flux thermiques impliqués dans le processus de chauffage, en analysant les différents facteurs qui influent sur l'efficacité du système. Différentes équations et approches pour calculer les composants du modèle de transfert de chaleur de la piscine, y compris la perte de chaleur due à l'évaporation, à la convection, au rayonnement, à la conduction, sont développés.
- Le chapitre 3 portera sur le dimensionnement puis sur la simulation dynamique sous le logiciel TRNSYS. Finalement le mémoire se terminera par une synthèse des résultats obtenus ou les performances annuelles du système optimisé sont discutées plus en détail avec sa viabilité économique et environnementale et des perspectives de développement.

CHAPITRE 1 :
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. INTRODUCTION :

Dans ce début de chapitre, nous allons dresser une liste des principaux travaux effectués à travers le monde concernant les systèmes de chauffage pour piscines intérieures, en les organisant selon leur chronologie. De plus, nous fournirons des données statistiques sur l'utilisation des énergies renouvelables en Algérie et à l'échelle mondiale. Enfin, nous examinerons les différents types de systèmes de chauffage utilisés pour les piscines.

1.2. ETAT DE L'ART

La technologie de chauffage d'eau solaire (SWH) est actuellement utilisée dans de nombreux grands pays pour les factures d'électricité quotidiennes et pour les foyers [1]. En utilisant des énergies renouvelables, les propriétaires de piscine peuvent profiter de températures d'eau confortables tout en réduisant leur consommation d'énergie et leurs coûts. Les capteurs solaires pour piscines sont de différents types, notamment les capteurs solaire plans, les capteurs à tubes sous vide et les capteurs non vitrés. Chaque type a ses propres caractéristiques de conception et de performance, permettant aux propriétaires de piscine de choisir l'option la plus appropriée en fonction de leurs exigences spécifiques et des conditions environnementales [1].

De nombreux chercheurs se sont intéressés à l'étude des meilleures performances des piscines.

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

MADAN SINGH, G.N et al en 1987 en INDE ont étudié l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage des piscines, d'après cette étude, ils sont parvenus à plusieurs résultats, notamment que la température de l'eau de la piscine augmente avec l'augmentation de la superficie de la piscine et l'augmentation du facteur d'évacuation de la chaleur de la piscine. [2]

G. N. TIWARI et al en 1990, ont étudié les paramètres de conception pour le chauffage d'une piscine par énergie solaire. D'après cette étude ils ont conclu que les collecteurs non vitrés seront plus économiques et plus flexibles à utiliser que les autres collecteurs. [3]

S. A SHERIF et al 1992, ont analysé les performances d'un système de chauffage de piscine par le solaire à MIAMI pour un centre aquatique à l'aide du logiciel de simulation TRNSYS. Il a été démontré que le sous-système d'eau chaude sanitaire est plus sensible à la zone du capteur

que le sous-système de piscine. D'un point de vue économique, il a été démontré aussi que des économies de cycle du système à assistance solaire étaient plus sensibles. [4]

J. L. DUOMARCO et al en 2005, ont vérifié des modèles analytiques pour calculer le système de chauffage solaire pour piscines couvertes et découvertes. Les résultats ont démontré que la mise en place d'un système hybride diesel-solaire s'est révélée à la fois efficace et économique, et l'utilisation d'une couverture. [5]

S. SHARMA en 2011 a évalué les pertes de chaleur d'une piscine à l'institut national technologique de Rourkela, en Inde. Cette étude portait sur les pertes par évaporation et a utilisé des équations dérivées de la relation Clausius-Clapeyron. Les résultats ont montré que, pour une humidité constante, les pertes par évaporation augmentent avec la température ambiante. [6]

HANG et COLL (2012) ont mené une étude théorique sur les impacts environnementaux et économiques de chauffage de l'eau de diverses manières, dont les plus importantes sont les capteurs solaires plans, les capteurs solaires à tubes sous vide en présence de sources d'énergie supplémentaires tels que l'énergie électrique, le gaz naturel et les appareils de chauffage traditionnels qui fonctionnent au gaz naturel et à l'énergie électrique. L'étude a été menée dans trois villes des États-Unis d'Amérique (Los Angeles, Atlanta et Chicago) et les résultats ont montré que les capteurs solaires plans sont les plus performants de tous les types, avec un délai de récupération de moins de six mois.

En même année une autre étude porte sur les performances thermiques et le coût du cycle de vie énergétique de l'utilisation de l'énergie solaire pour une piscine dans le centre de l'Irak, à Kirkouk, a été présentée. Il a été pris en considération plusieurs solutions pour réduire les pertes de chaleurs. [1]

KAMPEL et COLL (2013) ont collecté les données sur la consommation d'énergie annuelle sur 41 installations en Norvège entre 1998 et 2011. Ils ont conclu que la consommation d'énergie annuelle moyenne d'une installation était d'environ 3 991 kWh/m². Ils ont également signalé que le climat n'était pas le principal facteur affectant la consommation d'énergie des installations de la piscine, mais que la consommation d'eau de la piscine avait une relation étroite avec la consommation d'énergie des installations. [7]

A. ABOUSHI et al en 2015, ont étudié un système de chauffage d'une piscine intérieure à l'énergie solaire avec des capteurs solaires en Jordanie. Cette étude a examiné la viabilité d'installer un système solaire pour chauffer une piscine couverte. Des capteurs solaires à tubes sous vide ont été choisis. L'installation du système solaire a entraîné une réduction d'énergie d'environ 75%. Il a été observé aussi que 77% de l'énergie est perdue en raison de l'évaporation, ce qui souligne l'importance de couvrir le bassin la nuit pour réduire cette perte. Cela peut être accompli en utilisant une couverture en film mince. La période de récupération du système solaire est inférieure à un an. [8]

En 2015, **MOUSIA el al** ont mené une étude sur les performances d'énergie consommée par les piscines en Grèce, ils ont étudié et analysé les caractéristiques de plusieurs piscines et les émissions de chaque type de chauffage. La plupart des types sont des chaudières traditionnelles qui fonctionnent au fioul et au gaz pour couvrir leurs besoins en chaleur. Afin de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour préserver et obtenir des avantages financiers et environnementaux, la consommation annuelle d'énergie électrique et thermique et les émissions de carbone de chaque type de piscine ont été calculées pour plusieurs régions. [1]

K. KACI et al en 2017 ont présenté une étude sur la simulation dynamique d'une piscine olympique solaire en ALGÉRIE, selon cette étude ils ont montré que les capteurs sans couverture ont montré de meilleures performances que ceux en verre. [9]

DANNEMAND. M et al en 2017 au DENMARK, ont étudié un système de chauffage des piscines couvertes en utilisant des capteurs solaires thermiques. Il a été montré que les systèmes thermiques peuvent atteindre des périodes de récupération plus courtes en particulier, les capteurs simples non vitrés. Malgré un coût initial d'investissement élevé, les systèmes thermiques peuvent offrir une meilleure économie sur l'investissement sur une période de 20 ans. Cependant, les systèmes PV/PVT permettent des économies totales plus importantes après 20 ans. [10]

D. KATSAPRAKAKIS et al en 2018 ont étudié un système solaire-combiné pour la production d'eau chaude et chauffage des piscines du Stade Pancretan en Grèce. Il est prouvé que l'exploitation combinée du rayonnement solaire et de la biomasse peut garantir une couverture à 100% des besoins thermiques de grande taille. La période de retour sur investissement est remarquablement courte, dans ce cas inférieure à 5 ans. [11]

J.P. DELGADO et al en 2019, ont étudié un système de contrôle prédictif pour améliorer l'efficacité énergétique des piscines intérieures utilisant l'énergie solaire thermique en Espagne. D'après cette étude, le système de contrôle de la température de l'eau des piscines, augmentera leur efficacité énergétique et réduisant leurs coûts d'exploitation. [12]

R.S. GONÇALVES et al en 2019 ont réalisé une étude d'analyse de chauffage solaire de piscine en utilisant l'utilisabilité pour prédire les performances énergétiques à long terme des systèmes de chauffage solaire de piscine pour quatre villes brésiliennes. Les capteurs solaires non vitrés ont montré de meilleures performances que celles des capteurs solaires vitrés. [13]

Y. LI et al en 2020 ont étudié un système de chauffage solaire d'une piscine, d'après cette étude ils ont montré que pour les piscines intérieures, les activités et le nombre de baigneurs affecteront sur la charge thermique des installations, donc la consommation d'énergie des installations de piscine dépend aussi d'autres facteurs, tels que l'emplacement, le climat et la durée de fonctionnement. [14]

En 2020, LI et al ont mené une étude théorique sous TRNSYS pour étudier l'amélioration des performances des pompes à chaleur à air en termes de performances économiques en utilisant les coûts annuels du cycle de vie (ALCC) pour le confort thermique et les performances de la technologie, utilisant des réservoirs contenant des matériaux à changement de phase (PCM). Les résultats ont montré que les économies d'énergie peuvent atteindre 72 % par rapport à la conception traditionnelle, et que l'étude économique et technique est importante pour les projets de chauffage de piscine. [15]

En 2023, E. ALLAW et al, ont présenté un travail de faisabilité d'un système de capteur solaire pour chauffer une piscine dans la ville de Kirkouk - Irak, ainsi que l'effet de la mise en place de plusieurs types de couvertures pour réduire et limiter pertes pour réduire les heures de travail avec le capteur solaire afin d'amener l'ensemble à un confort thermique. Un an et demi est la période initiale de recouvrement des coûts.[1]

1.3. LES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE CONTEXTE INTERNATIONAL ET NATIONAL

1.3.1. La production des énergies renouvelables dans le monde :

L'énergie solaire a continué de dominer la capacité mondiale de production d'électricité nouvellement ajoutée en 2022, occupant ainsi une nouvelle année la première place parmi les sources d'énergie renouvelables. Sur les 362 GW de nouvelle capacité renouvelable ajoutées l'année dernière, l'énergie solaire photovoltaïque représentait 66 %, connectant 239 GW au réseau (voir Figure 1.1). La part de l'énergie solaire dans la nouvelle capacité renouvelable a considérablement augmenté par rapport aux 56 % apportés en 2021. Cela met en évidence l'importance croissante de l'énergie solaire dans la transition énergétique mondiale, installant environ deux fois plus de capacité que toutes les autres technologies renouvelables réunies. [16]

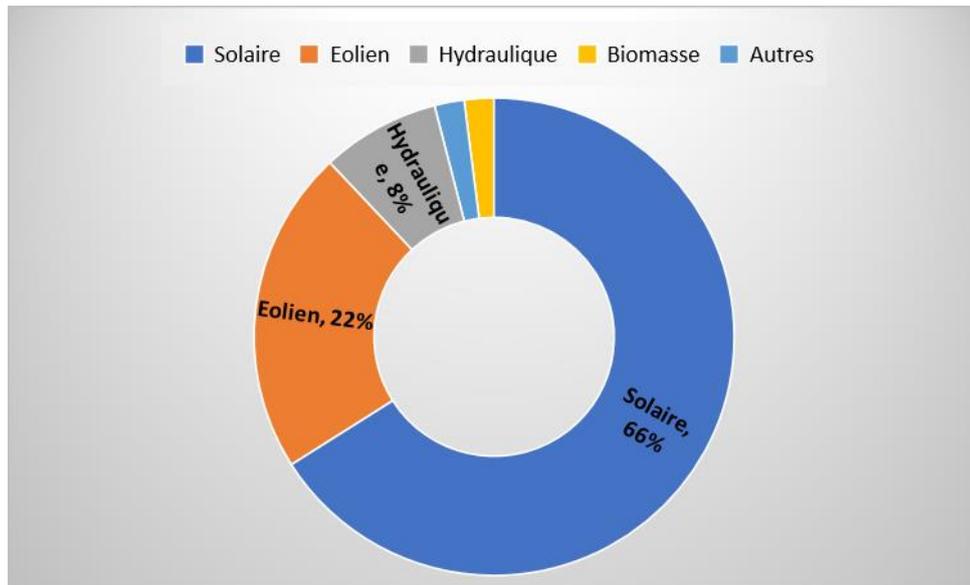


Figure 1.1 : Capacité de production d'énergie renouvelable nette installée.

La tendance générale en matière d'ajout de capacités renouvelables a été constamment à la hausse ces dernières années, poussée par la crise énergétique mondiale et le soutien politique. Les ajouts totaux de capacités renouvelables sont de 56 GW de plus que l'année dernière, soit une augmentation de 18 % par rapport aux 306 GW de 2021. L'essor de l'énergie solaire photovoltaïque en 2022 a plus que couvert la diminution des installations éoliennes annuelles, passant de 95,3 GW en 2020 à 93,6 en 2021. 2021, jusqu'à 77,6 GW en 2022.

La figure 1.2 montre la production des énergies renouvelables dans le monde. [16]

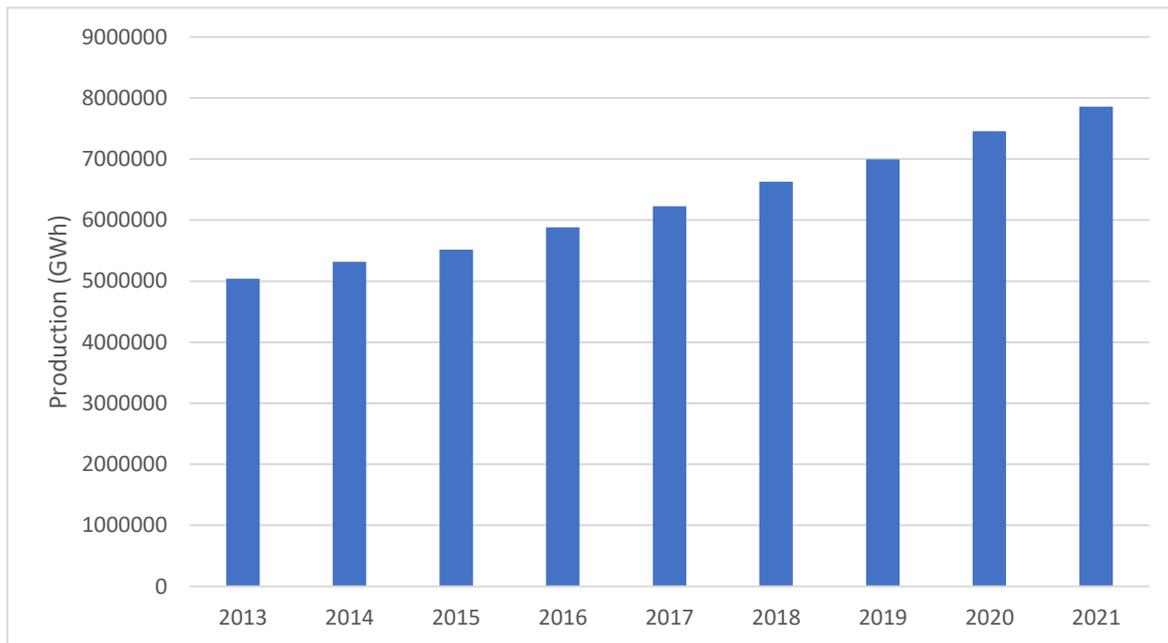


Figure 1.2 : La production mondiale des énergies renouvelables.

Cette tendance à la hausse témoigne de l'engagement croissant des nations du monde entier à adopter des sources d'énergie plus durables et respectueuses de l'environnement. La croissance régulière de la production d'énergies renouvelables indique une transition progressive vers une économie mondiale plus verte et plus durable.

1.3.2. La production des énergies renouvelables en Algérie :

La figure 1.3 montre la production des énergies renouvelables dans l'Algérie. [16]

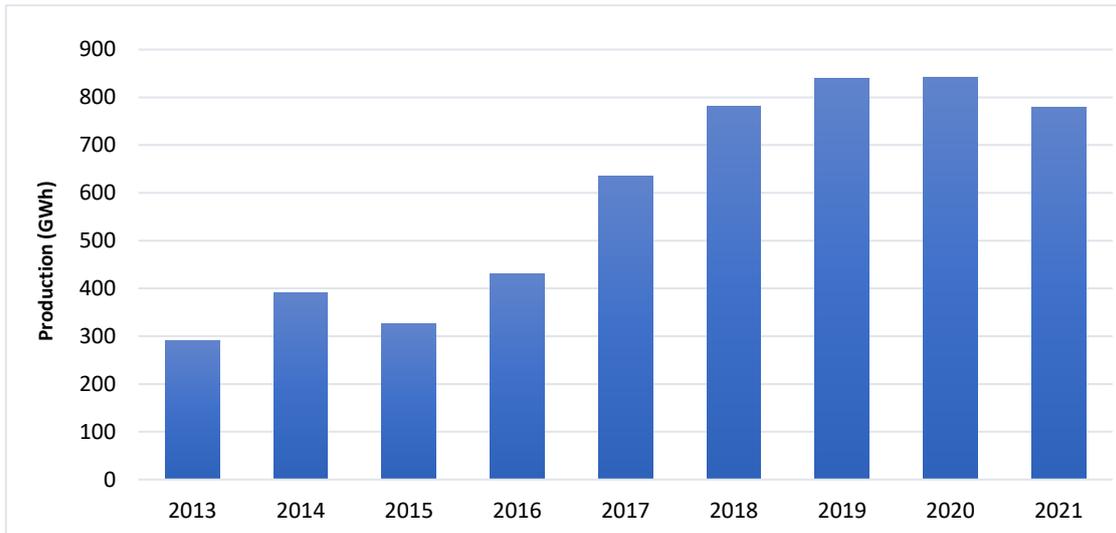


Figure 1.3 : La production des énergies renouvelables en Algérie.

L'historique montre une évolution variable de la production d'énergies renouvelables en Algérie au cours de la période de 2013 à 2021. La production semble avoir connu des fluctuations au fil des ans, avec des augmentations et des diminutions observées d'une année à l'autre.

En 2013, la production était de 291 GWh, suivie d'une augmentation notable en 2014 à 391 GWh. Cependant, cette tendance à la hausse n'a pas été maintenue de manière constante, car la production a diminué en 2015 à 327 GWh, pour ensuite augmenter à nouveau en 2016 à 431 GWh. Une augmentation significative est observée en 2017, où la production a atteint 635 GWh, indiquant peut-être des investissements ou des initiatives spécifiques dans le domaine des énergies renouvelables cette année-là.

Par la suite, une croissance régulière est observée de 2018 à 2020, avec la production atteignant 841 GWh en 2020. Cependant, en 2021, il y a une légère baisse de la production à 780 GWh.

1.3.3. La production des différents types d'énergies renouvelables en Algérie :

La figure 1.4 montre les différents des énergies renouvelables dans l'Algérie. [16]

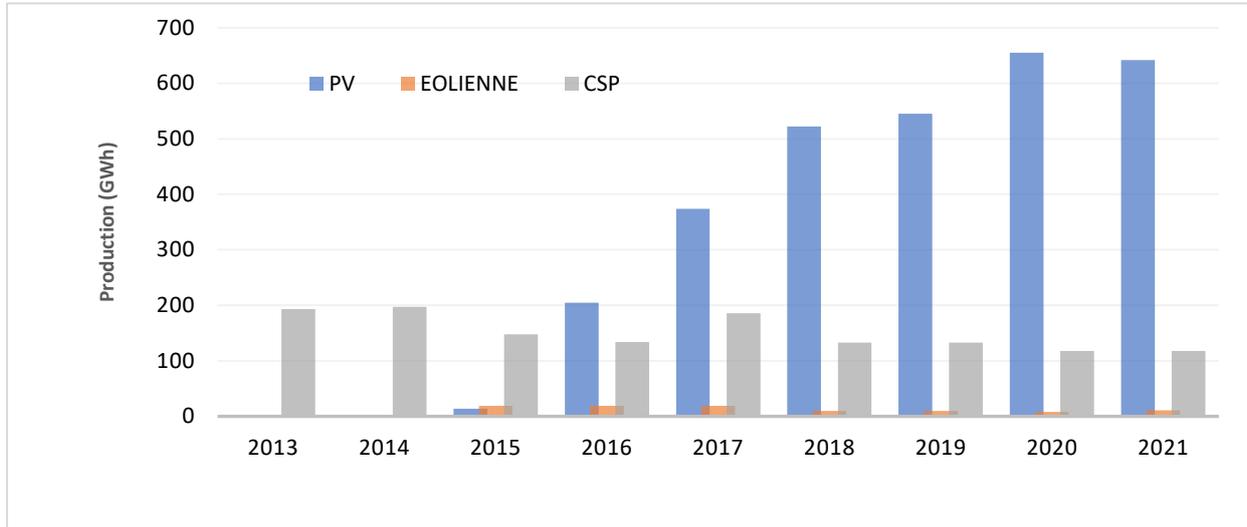


Figure 1.4 : La production des différentes énergies renouvelables en Algérie.

L'historique présente la production des trois principales sources d'énergie renouvelable en Algérie : l'énergie photovoltaïque (PV), l'énergie éolienne et l'énergie solaire concentrée (CSP), pour les années 2013 à 2021.

On observe une augmentation générale de la production d'énergies renouvelables au fil des ans, avec des fluctuations dans les quantités produites pour chaque type d'énergie.

Pour l'énergie photovoltaïque (PV), la production semble avoir augmenté de manière significative au cours de la période, passant de 0 GWh en 2013 à 642 GWh en 2021. Cette croissance progressive pourrait être le résultat d'investissements dans les installations solaires photovoltaïques et de l'amélioration de la technologie solaire.

En ce qui concerne l'énergie éolienne, bien qu'il y ait eu des variations d'une année à l'autre, la production semble relativement stable, avec des niveaux de production oscillant entre 0 et 11 GWh au cours de la période. Cela pourrait indiquer une certaine constance dans les capacités éoliennes installées en Algérie, avec des projets qui ont peut-être été mis en œuvre à un rythme plus lent que ceux pour l'énergie photovoltaïque.

Quant à l'énergie solaire concentrée (CSP), la production semble avoir fluctué au fil des ans, atteignant son niveau le plus élevé en 2017 avec 186 GWh, puis diminuant les années suivantes.

Ces fluctuations pourraient être dues à divers facteurs, tels que la disponibilité de ressources financières pour les projets CSP ou les conditions météorologiques.

1.3.4. Capacité mondiale des énergies renouvelables :

La figure 1.5 montre la capacité des énergies renouvelables dans le monde. [16]

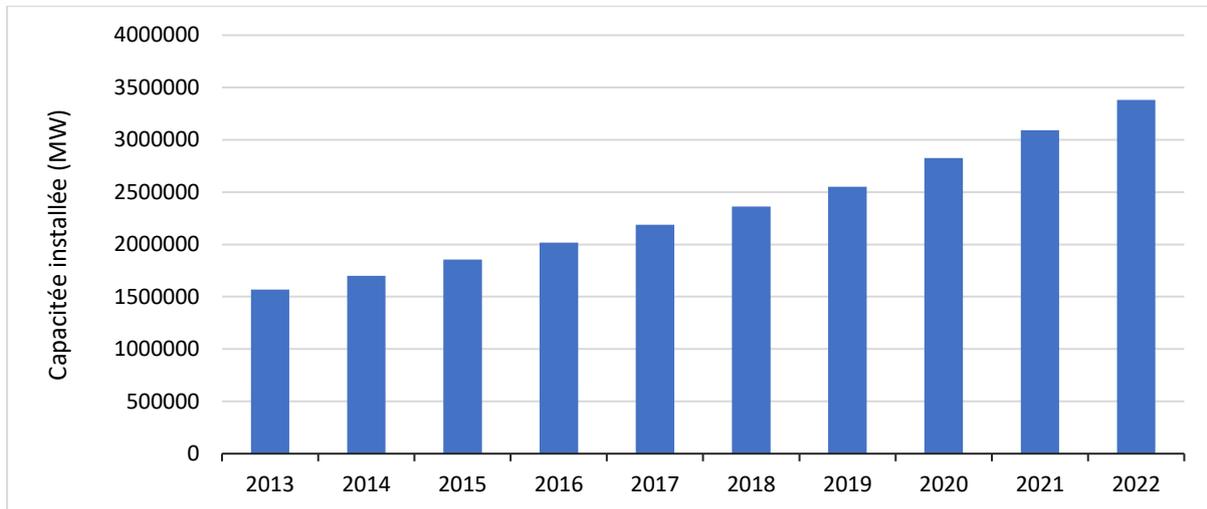


Figure 1.5 : La capacité mondiale des énergies renouvelables.

Cette statistique montre comment la capacité d'énergie renouvelable dans le monde évolue chaque année. Elle semble avoir augmenté chaque année et a atteint son pic en 2022 avec 3 381 758 MW.

Cela prouve que le monde s'intéresse aux énergies renouvelables et les développe chaque année avec une augmentation de la production, et cela est dû au profit financier et qu'elles ne nuisent pas à l'environnement.

1.3.5. Capacité mondiale des différents types des énergies renouvelables par le monde :

La figure 1.6 montre la capacité des différents types des énergies renouvelables dans le monde. [16]

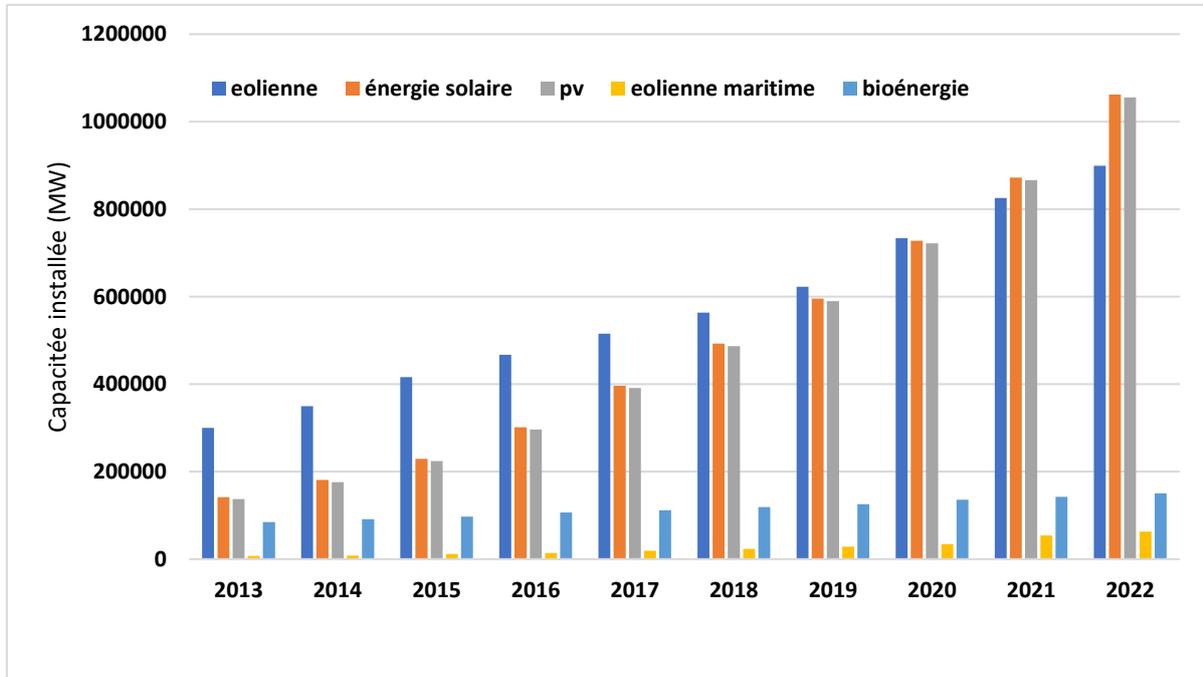


Figure 1.6 : La capacité des différents types des énergies renouvelables dans le monde.

Cette analyse présente l'évolution annuelle des capacités des différents énergies renouvelables dans le monde, y compris l'énergie éolienne, solaire, photovoltaïque (PV), éolienne maritime et bioénergie (biomasse) de 2013 à 2022 en MW. Elle a atteint son apogée en 2022.

On observe une augmentation annuelle de toutes les énergies, avec les énergies solaires et la bioénergie en tête, dépassant toutes deux 1 000 000 MW, tandis que l'énergie éolienne a atteint 900 000 MW. En revanche, l'énergie éolienne maritime a culminé à seulement 100 000 MW et la bioénergie à environ 200 000 MW. Ces deux dernières énergies n'ont pas connu un développement aussi important que les autres.

1.3.6. Capacité installée en énergies renouvelables en Algérie :

La figure 1.7 montre la capacité des énergies renouvelables dans l'Algérie. [16]

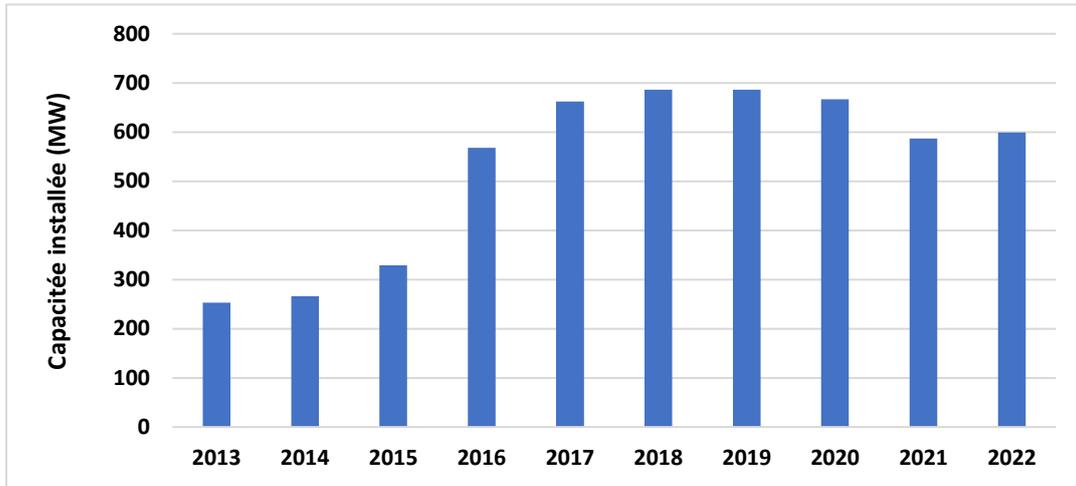


Figure 1.7 : La capacité des énergies renouvelables dans l'Algérie.

Cette statistique montre la capacité des énergies renouvelables en Algérie à connaître une évolution intéressante entre 2013 et 2022, atteignant un pic de 686 MW en 2018 et 2019. Cependant, malgré cet apogée, son impact reste relativement limité. On observe une tendance à la hausse jusqu'en 2019, suivie d'une légère diminution entre 2020 et 2022, avec une capacité de 599 MW.

1.3.7. Capacité des différents types des énergies renouvelables en Algérie :

La figure 1.8 montre la capacité des différents types des énergies renouvelables dans l'Algérie. [16]

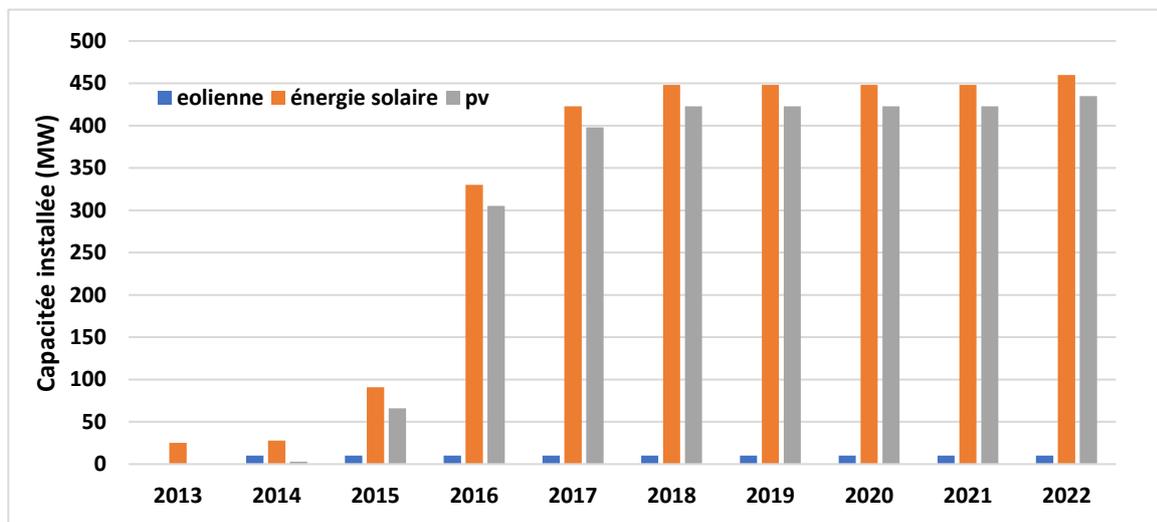


Figure 1.8 : La capacité des différents types des énergies renouvelables en Algérie.

Cette analyse des statistiques met en lumière les variations de la capacité des énergies renouvelables en Algérie, notamment dans le solaire, l'éolien et le photovoltaïque (PV), mesurées en mégawatts par an. Entre 2013 et 2015, on observe une faible contribution de ces énergies. Cependant, à partir de 2016 jusqu'en 2022, les énergies solaire et photovoltaïque ont atteint leur pic, tandis que la part de l'énergie éolienne n'a montré aucun changement depuis 2014.

1.4. DIFFÉRENTS TYPES DE CHAUFFAGE DES PISCINES

Il existe plusieurs types de chauffage piscines, les plus connus sont les suivants :

1.4.1. Le chauffage solaire : Le chauffage solaire est une option écologique pour chauffer l'eau d'une piscine intérieure. Ces panneaux sont constitués de tubes ou de canaux par lesquels circule l'eau de la piscine. Pendant ce processus, l'eau est chauffée par l'énergie solaire absorbée par les panneaux. L'échangeur transfère la chaleur de l'eau des panneaux solaires à l'eau de la piscine, augmentant ainsi la température de l'eau.

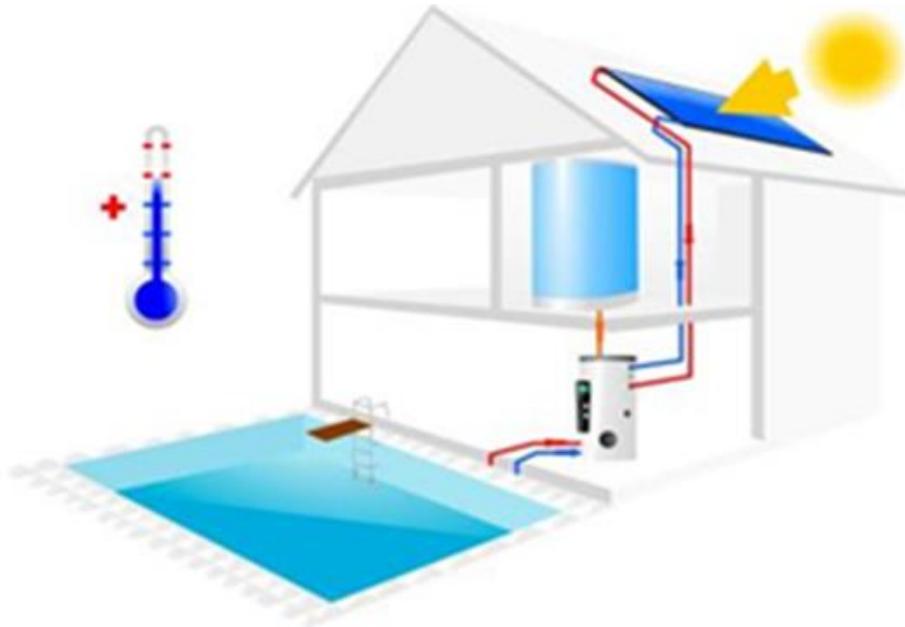


Figure 1.9 : Chauffage des piscines par l'énergie solaire.

Les avantages du chauffage piscine solaire :

- Économique et écologique.
- Durabilité et l'adaptabilité.
- Simple à installer.

Les inconvénients du chauffage piscine solaire :

- Dépendance aux conditions météorologiques.
- Coût initial élevé.
- Dépendance à l'orientation et à l'inclinaison.

1.4.2. Le réchauffeur électrique des piscines :

Fonctionnement d'un réchauffeur électrique pour piscine intérieure est relativement simple. Ces appareils utilisent l'électricité pour générer de la chaleur et augmenter la température de l'eau de la piscine. Cette résistance est responsable de la conversion de l'électricité en chaleur. L'eau de la piscine circule à travers l'unité de chauffage, permettant à l'élément chauffant de transférer de la chaleur à l'eau.

Ce thermostat permet de régler la température souhaitée de l'eau de la piscine. Une fois que la température de l'eau atteint le niveau désiré, le thermostat peut couper l'alimentation électrique pour éviter une surchauffe. Cette chaleur est transférée à l'eau circulant à travers l'unité. Ces dispositifs peuvent inclure des thermostats de sécurité qui coupent l'alimentation électrique en cas de température excessive.

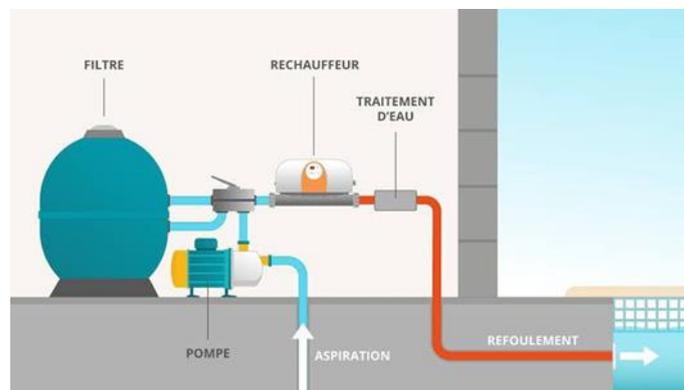


Figure 1.10 : Installation des systèmes de réchauffeur électrique pour piscine.



Figure 1.11 : Réchauffeur électrique pour piscine.

Les avantages du réchauffeur électrique piscine :

- Chauffage rapide et puissant.
- Facile à installer.
- Rendement élevé.

Les inconvénients du réchauffeur électrique piscine :

- La consommation d'énergie plus élevée.

1.4.3. La pompe à chaleur :

Ce système fonctionne en prélevant l'air extérieur pour le chauffer et ensuite en utilisant cette chaleur pour chauffer l'eau de la piscine.



Figure 1.12 : Pompe à chaleur pour piscine.

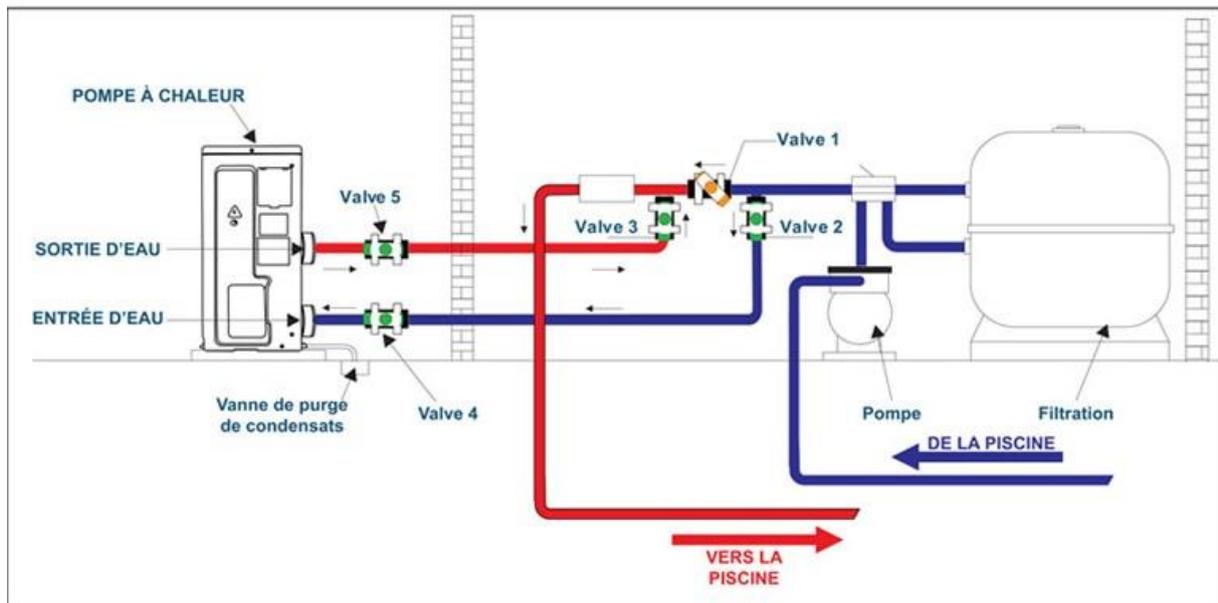


Figure 1.13 : Schéma d'installation de système pompe à chaleur pour piscine.

Les avantages

- Système de chauffage efficace et très économique.
- Facile à installer.
- Écologique.

Les inconvénients

- Un coût d'installation élevé.
- Temps de chauffage prolongé.
- Système plus ou moins bruyant.

1.4.4. Échangeur de chaleur pour piscine :

Un échangeur thermique, aussi appelé échangeur de chaleur, est un appareil permettant de chauffer piscine enterrée ou hors-sol à partir de la chaudière (gaz ou fioul)



Figure 1.14 : Echangeur de chaleur pour piscine .

Les avantages :

- Transfert efficace de chaleur.
- Économique et écologique.
- Augmentation de la durée de vie des équipements.
- Adaptabilité et polyvalence.

Les inconvénients :

- Coût initial élevé.
- Besoin d'entretien régulier.
- Perte de charge.

1.4.5. La chaudière

Une chaudière est un appareil conçu pour chauffer l'eau. De nombreuses utilisations, y compris les piscines à des températures confortables. Elle utilise généralement une source d'énergie telle que le gaz, l'électricité pour chauffer l'eau et maintenir une température adéquate, permettant ainsi aux utilisateurs de profiter de leur piscine tout au long de l'année, quelle que soit la saison.

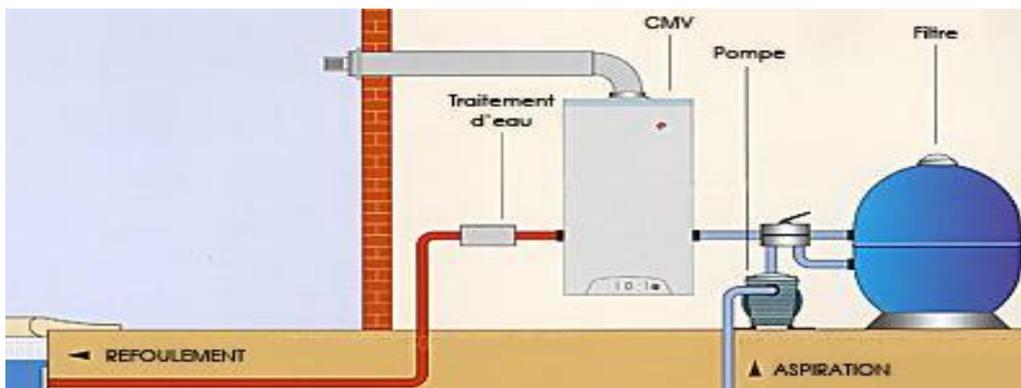


Figure 1.15 : Système d'installation de la chaudière de piscine.



Figure 1.16 : Chaudière pour piscine.

1.4.5. Les avantage

Elle peut utiliser diverses technologies : classique, basse température, à condensation. Toutes technologies confondues, la chaudière au gaz peut fonctionner avec du gaz naturel ou avec du gaz propane, un premier avantage en termes de flexibilité d'utilisation

1.4.5. Les inconvénients

La consommation en énergie par rapport aux autres équipements de chauffage électrique. Les consommations en électricité peuvent grimper facilement, en fonction de l'utilisation qui est faite de cet équipement de chauffage, et de la surface à chauffer

1.5.LES DIFFERENT COMPOSANT D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE SOLAIRE D'UNE PISCINE :

Une installation de chauffage solaire pour piscines comprend généralement plusieurs composants essentiels pour collecter, stocker et distribuer la chaleur solaire vers l'eau de la piscine. Les principaux composants sont :

1.5.1. La pompe de piscine :

Une pompe de piscine est principalement constituée d'un moteur électrique qui fait tourner un rotor à l'intérieur d'un boîtier. Le rotor crée un flux d'eau qui est dirigé à travers un système de filtration pour nettoyer l'eau de la piscine. Un panier de préfiltration retient les gros débris avant qu'ils n'atteignent le rotor. Les entrées et sorties permettent à l'eau d'entrer et de sortir de la pompe, connectées aux tuyaux du système de filtration. En somme, la pompe aspire, filtre et renvoie l'eau propre dans la piscine pour maintenir sa propreté

La pompe de piscine est un élément essentiel du système de filtration d'une piscine. Elle est conçue pour aspirer l'eau de la piscine à travers un système de skimmer ou de bonde de fond, puis la propulser à travers un filtre pour éliminer les impuretés telles que les débris, les feuilles, les insectes et les particules fines. Une fois filtré, l'eau est ensuite renvoyée dans la piscine, assurant ainsi sa propreté et sa clarté.

La pompe de piscine est généralement constituée d'un moteur électrique et d'un rotor qui crée un flux d'eau en rotation à l'intérieur de la pompe. Elle est installée à proximité de la piscine et reliée au système de filtration par des tuyaux. La capacité de la pompe, mesurée en débit (en litres par minute ou par heure), détermine sa capacité à traiter le volume d'eau de la piscine.

En résumé, la pompe de piscine est responsable de la circulation de l'eau dans le système de filtration, ce qui permet de maintenir une eau propre et saine pour la baignade.

Pour choisir la bonne pompe à eau solaire, il est essentiel de déterminer vos besoins en eau, de sélectionner le type de pompe approprié, de prendre en compte l'emplacement et l'ensoleillement, vérifier la puissance et l'efficacité, d'évaluer les caractéristiques supplémentaires et de consulter les avis et les recommandations.



Figure 1.17 : Pompe pour piscine.

1.5.2. L'échangeur thermique de la piscine :

Un échangeur thermique de piscine est un dispositif conçu pour transférer la chaleur entre l'eau de la piscine et un fluide chauffant ou refroidissant, généralement pour maintenir une température confortable de l'eau. Ces échangeurs sont souvent utilisés dans les systèmes de chauffage de piscine pour augmenter la température de l'eau pendant les périodes plus fraîches ou pour refroidir l'eau pendant les périodes chaudes.



Figure 1.18 : Echangeur thermique de la piscine.

Les échangeurs thermiques de piscines peuvent prendre différentes formes, telles que les échangeurs à plaques, les échangeurs à tubes et les échangeurs à coques et tubes, chacun offrant des avantages spécifiques en termes d'efficacité, de coût et de maintenance. Ils jouent un rôle crucial dans le maintien de la température de l'eau de la piscine pour garantir une expérience agréable et sûre pour les nageurs.

1.5.3. Filtre de piscine :

Dans une piscine, qu'elle soit privée ou publique, la filtration et la désinfection sont des processus essentiels. La filtration repose sur l'utilisation d'un filtre qui élimine les impuretés et les débris de l'eau. Ce filtre agit en passant l'eau à travers un média filtrant, tel que du sable, du verre ou des cartouches, afin de capturer les particules fines, les feuilles, les insectes et autres contaminants. En éliminant ces impuretés, le filtre maintient l'eau propre, claire et sûre pour la baignade. De plus, les skimmers et le panier préfiltre de la pompe éliminent les débris les plus gros, assurant ainsi un nettoyage efficace de l'eau.



Figure 1.19 : Filtre d'une piscine.

Il existe plusieurs types de filtres :

Le filtre à sable, le filtre à cartouche, le filtre à diatomées, le filtre à zéolithe, le filtre à poche, le filtre à billes de verre, le filtre à charbon actif et le filtre hydro-anthracite.

1.5.4. Les capteurs chauffage solaire des piscines :

Un capteur solaire pour piscine est un dispositif conçu spécifiquement pour chauffer l'eau d'une piscine en utilisant l'énergie solaire. Ces capteurs sont généralement des panneaux plats ou des tubes noirs montés sur le toit ou à proximité de la piscine. L'eau de la piscine circule à travers ces capteurs solaires, où elle absorbe la chaleur du soleil avant de retourner dans la piscine. Grâce à ce processus, les capteurs solaires pour piscine permettent d'augmenter la température de l'eau de manière écologique et économique, en réduisant la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles telles que l'électricité ou le gaz.

Pour collecter efficacement les rayons du soleil avec un capteur solaire plan, il est important de positionner le capteur de manière à ce qu'il soit orienté vers le soleil. Idéalement, le capteur solaire doit être installé avec une inclinaison et une orientation appropriée par rapport à la trajectoire du soleil dans le ciel. Cela maximisera l'exposition aux rayons solaires et donc une bonne quantité d'énergie collectée.

De plus, il est essentiel de maintenir la surface du capteur propre et exempte de tout obstacle qui pourrait bloquer la lumière solaire, tel que la saleté, la poussière ou les feuilles.

Enfin, il peut être utile d'utiliser des dispositifs de suivi solaire qui ajustent automatiquement l'angle et l'orientation du capteur en fonction de la position actuelle du soleil dans le ciel, optimisant ainsi la collecte d'énergie solaire tout au long de la journée.

Et il existe plusieurs capteurs solaires :

1.5.4.1. Capteur solaire plan :

Un capteur solaire plan est un type de capteur solaire qui utilise des panneaux plats pour collecter l'énergie solaire. Ces panneaux sont généralement constitués de plaques métalliques ou de matériaux absorbants recouverts de verre ou de plastique transparent. Lorsque la lumière solaire frappe la surface du capteur solaire plan, elle est absorbée et convertie en chaleur. Cette chaleur peut ensuite être utilisée pour le chauffage de l'eau dans des systèmes de chauffage solaire domestique ou industriel, ou pour d'autres applications de chauffage. Les capteurs solaires plans sont largement utilisés en raison de leur simplicité de conception, de leur efficacité et de leur coût relativement bas.

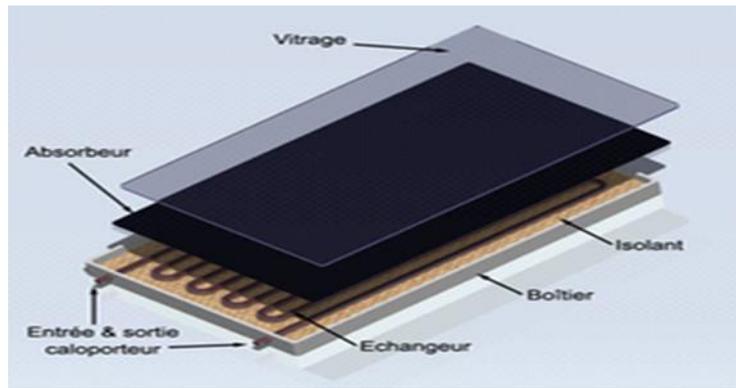


Figure 1.20 : Capteur plan.

1.5.4.2. Capteur solaire non vitré :

Un capteur solaire non vitré est un type de capteur solaire qui ne comporte pas de couche de verre ou de matériau transparent sur sa surface de capture. Contrairement aux capteurs solaires vitrés, qui ont une couche de protection en verre pour maximiser l'absorption de chaleur et protéger les composants internes, les capteurs solaires non vitrés sont conçus pour absorber directement la lumière solaire sans barrière transparente.

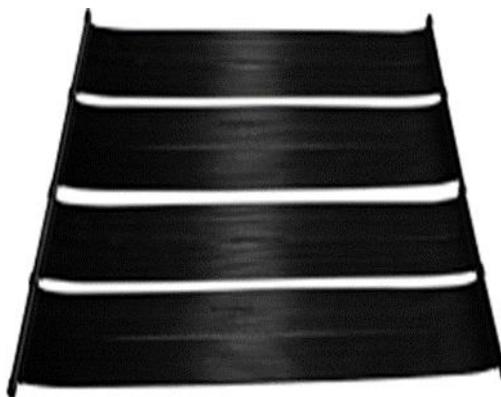


Figure 1.21 : Capteur non vitré.

Ces capteurs sont souvent utilisés dans des applications où la température de fonctionnement n'est pas critique ou lorsque la protection contre les éléments n'est pas nécessaire. Par exemple, ils sont couramment utilisés dans les systèmes de chauffage de piscine, les chauffe-eaux solaires pour les régions chaudes où les risques de gel sont faibles, et dans les systèmes de séchage solaire pour les aliments et les matériaux. Les capteurs solaires non vitrés peuvent être plus simples et moins coûteux à fabriquer que leurs homologues vitrés, mais ils peuvent également avoir une efficacité légèrement inférieure dans certaines conditions.

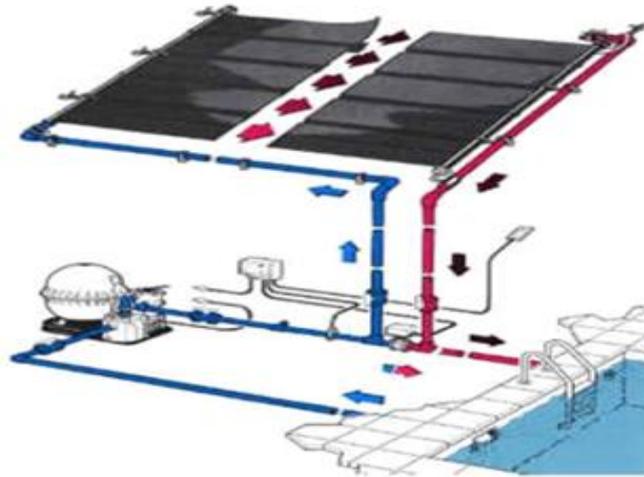


Figure 1.22 : Installation d'un capteur non vitré.

1.5.5. Couverture de la piscine

La couverture de la piscine a une importance et un rôle dans Conserver la température de l'eau, protéger l'eau de la piscine et même assurer la sécurité de la piscine, telles sont les principales fonctions des bâches de piscine.

Il existe plusieurs des types de couverture

- Abris de piscine télescopiques, abris bas et hauts.
- Volets hors sol ou immergés.
- Bâches à barres, couvertures de sécurité piscine.
- Bâches d'été, couvertures thermiques
- Bâches d'hiver filtrantes ou opaques.
- Enrouleurs piscine, pour enrouler les bâches.



Figure 1.23 : Volets de piscine.



Figure 1.24 : Abris de piscine.

1.6. PROBLEMATIQUE :

Les performances journalières d'une installation solaire de chauffage d'eau de grande capacité dépendent principalement des paramètres météorologiques qui sont aléatoires, des constituants du système et des différentes configurations pour l'implantation des capteurs solaires. Le grand problème de l'énergie solaire est dans son intermittence et son irrégularité.

L'étude porte sur une installation à base de capteurs solaires plans devront chauffer une piscine semi olympique d'un volume de 1050m³ à la température de 27°C, situé à Beni Tamou dans la région de Blida.

Pour cela on doit d'abord dimensionner cette installation afin de déterminer le choix optimum de cette installation en termes de surfaces, de débit, d'inclinaison puis déterminer les performances thermiques sous le logiciel TRNSYS et surtout de voir comment intégrer les dispositifs solaires thermique dans le chauffage de grande capacité et évaluer essentiellement la rentabilité de ces systèmes

1.7. CONCLUSION

Ce chapitre traite d'abord du contexte énergétique mondial et Algérien et la situation face à la croissance économique. Les principaux travaux de la littérature sur le domaine des applications de chauffage solaire des piscines ont été présentés, en essayant d'identifier les modèles d'estimations, les potentiels et les contraintes.

La majorité des systèmes utilisent différents types des capteurs solaires pour le chauffage des piscines, ils ont été présentés ainsi que leurs composants.

CHAPITRE 2 :
MODELISATION DE LA PISCINE

MODELISATION DE LA PISCINE

2.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre porte essentiellement sur la modélisation du système basé sur la réponse aux besoins journaliers en eau chaude solaire pour une piscine. C'est le premier paramètre à connaître pour le dimensionnement d'une installation de chauffage solaire. Il y a aussi d'autres paramètres très importants tels que la surface d'installation des capteurs solaires, ainsi que les différentes configurations des capteurs. Pour cela un bilan thermique générale sur le système va être réalisé pour la détermination des paramètres essentiels de ce système.

2.2. PRÉSENTATION DU SYSTÈME :

Le système étudié se compose essentiellement d'une piscine publique semi olympique intérieure, 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

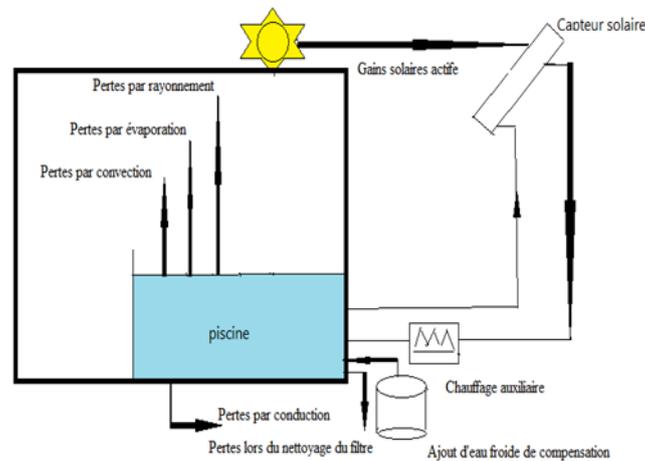


Figure 2.1 : Bilan thermique de la piscine.

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.
- Il n'y a pas de pertes énergétiques entre capteur, piscine (l'énergie captée par le capteur est entièrement transmise à la piscine).
- La masse volumique et la chaleur volumique de l'eau évoluent dépend de la température.

2.4. BILAN ENERGETIQUE DE LA PISCINE :

L'expression de bilan énergétique de la piscine est donnée par [17] :

$$V_p \cdot \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot \frac{dT_w}{dt} = \dot{Q}_{solar} + \dot{Q}_{aux} - (\dot{Q}_{eva} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{re} + \dot{Q}_{rad}) \quad (2.1)$$

- V_p : Le volume de la piscine
- ρ_w : La densité de l'eau
- $c_{p,w}$: La chaleur spécifique de l'eau
- \dot{Q}_{aux} : La chaleur fournie par le système auxiliaire.
- $\dot{Q}_{solaire}$: Les gains de chaleur dus à l'irradiation solaire
- \dot{Q}_{eva} : La chaleur perdue par évaporation
- \dot{Q}_{conv} : La chaleur perdue par convection
- \dot{Q}_{rad} : La chaleur perdue par radiation
- \dot{Q}_{cond} : La chaleur perdue par conduction
- \dot{Q}_{re} : La chaleur perdue par renouvellements

Dans le cas d'une piscine était couverte donc \dot{Q}_c qui représente la puissance transmise par conduction à travers la couverture jusqu'à l'eau de la piscine, peut être exprimée par la relation suivante [17] :

$$\dot{Q}_c = \left(\frac{k_c}{S_c}\right) \cdot (T_c - T_w) \cdot A_p \quad (2.2)$$

k_c : La conductivité thermique de la couverture

S_c : L'épaisseur de la couverture

T_c : La température de la surface externe du couvercle

A_p : La superficie de la piscine.



Figure 2.2: Bilan énergétique d'une piscine intérieure : (a) découverte ; (b) couverte

2.4.1. L'énergie thermique fournie par le système de chauffage solaire :

L'expression de l'énergie thermique fournie par le système de chauffage solaire est donnée par l'équation suivante :

$$\dot{Q}_{\text{solar}} = F_R \tau \alpha \cdot I_g \cdot A_g - F_R U_g (T_e - T_a) \quad (2.3)$$

I_g : Gain solaire actif

$F_R \tau \alpha$: Le rendement optique du capteur

$F_R U_g$: Le coefficient des pertes de chaleur des capteurs

A : La surface du capteur.

2.4.2. Energie auxiliaire :

L'énergie auxiliaire est donnée par :

$$\dot{Q}_{\text{aux}} = m_w \cdot c_{pw} \cdot \Delta T \quad (2.4)$$

Avec :

$$\text{Avec : } \begin{cases} \Delta T = T_w - T_a \\ m_w = \rho_w \cdot V_w \end{cases}$$

m_w : La masse de l'eau

ρ_w : La masse volumique de l'eau

V_w : Le volume d'eau

c_{pw} : La chaleur spécifique de l'eau

T_w : La température de l'eau de la piscine

T_a : La température ambiante.

Donc les gains actifs du système de chauffage sont donnés par :

$$\dot{Q}_{\text{heat}} = \dot{Q}_{\text{solar}} + \dot{Q}_{\text{aux}} \quad (2.5)$$

2.4.3. Pertes radiatives :

L'expression des pertes radiatives est donnée par l'équation suivante [18] :

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = A_p \sigma \varepsilon_p (T_p^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad (2.6)$$

ε_p : L'émissivité à ondes longues de la surface de la piscine 0.95. [17]

σ : La constante de Stefan – Boltzmann.

T_p : La température de la surface de la piscine.

T_{sur} : La température de la surface environnante intérieure T_{sur}

Elle peut être calculer par l'équation suivant (Smith et al.1994) [18] :

$$T_{sur} = (T_a + 273) \cdot \left(0.8 + \frac{T_{dew}}{250}\right)^{0.25} - 273 \quad (2.7)$$

T_a : La température ambiante.

T_{dew} : La température du point de rosée.

D'après les données météorologiques fournies par le logiciel METEONORM on prend une e de la température ambiante moyenne ($T_a = 18^\circ C$) et un taux d'humidité relative (HR= 80%) [19] donc on aura d'après le tableau psychrométrique :

La température de rosée $T_{dew} = 14.5^\circ C$

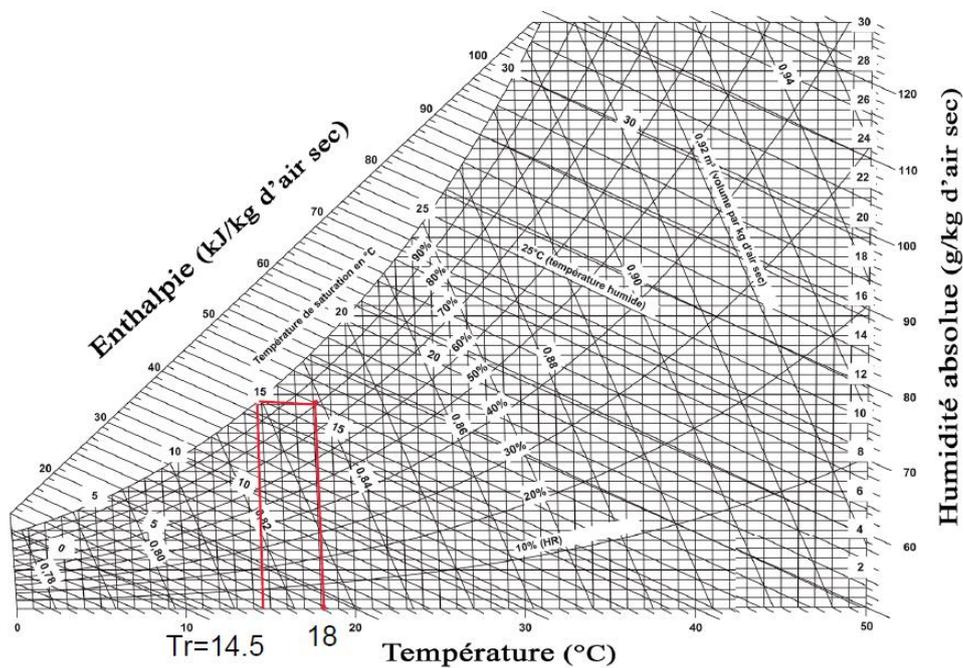


Figure 2.3 : Diagramme psychrométrique

2.4.4. Pertes par convection :

Les pertes de la convection sont définies comme suit [18] :

$$\dot{Q}_{conv} = h_{cv} A_P (T_w - T_a) \quad (2.8)$$

T_w : La température de la piscine

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

T_a : La température ambiante

Dans le modèle ISP (indoor swimming pool), le h_{cv} est calculé selon l'équation suivante (WINTERTON 1999) [18] :

$$h_{cv} = \frac{\lambda_w N_u}{L_c} \quad (2.9)$$

λ_w : La conductivité thermique de l'eau

L_c : La longueur caractéristique de la piscine

N_u : Le nombre de Nusselt, exprimé par l'équation suivante (Bergman et al., 2011) [18] :

Avec :

$$N_u = 0.14 \times R_a^{1/3} \quad (2.10)$$

R_a : Le nombre de Rayleigh, exprimé par l'équation suivante [20] :

$$R_a = G_r \cdot P_r = \frac{\Delta T \cdot g \cdot \beta \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu} \quad (2.11)$$

β : Le coefficient de dilatation thermique volumique.

g : L'accélération de la pesanteur.

L_c : La longueur de la piscine.

α : La diffusivité thermique.

ν : La viscosité cinématique.

2.4.5. Pertes par évaporation :

L'expression des pertes par évaporation \dot{Q}_{eva} est donnée par l'équation suivante [18] :

$$\dot{Q}_{eva} = H_e \cdot A_p \cdot E_e \quad (2.12)$$

H_e : La chaleur latente résultant de l'évaporation de l'eau

A_p : La surface de la piscine

E_e : Le taux d'évaporation de l'eau de la piscine.

Pour un bassin occupé l'expression de E_e est donné par :(Shah 2012) [18] :

$$E_e = 0.113 - \frac{7.9 \times 10^{-5}}{F_a} + 5.9 \times 10^{-5} \cdot \Delta P \quad (2.13)$$

Avec : $\Delta p = p_s - p_a$

ΔP : La différence entre pression saturé de vapeur à la surface de l'eau et vapeur partielle pression de l'air ambiante.

F_a : Le facteur d'utilisation de la piscine ; donné par l'équation suivante (Shah 2003) [18] :

$$F_a = \frac{N_e \cdot A_m}{A_p} \quad (2.14)$$

A_m : Superficie de la piscine de chaque nageur lorsque le nombre de nageurs est maximum, chaque nageur occupe 1 (m²). [21]

N_e : Le nombre de nageurs

2.4.6. Pertes par renouvellements :

L'expression des pertes par renouvellements est donnée par l'équation suivante [17] :

$$\dot{Q}_{re} = \left(\frac{V_p \cdot F_{re}}{86400} \right) (T_w - T_{re}) \cdot c_{pw} \quad (2.15)$$

F_{re} : Le pourcentage de renouvellement quotidien de l'eau (entre 2,5 et 5 % du volume d'eau de la piscine est rejeté quotidiennement). [22]

c_{pw} : La chaleur spécifique de l'eau.

T_{re} : La température d'eau renouvelé.

V_p : Le volume de la piscine.

T_w : La température de la piscine.

2.4.7. Pertes par conduction :

Les pertes par conduction sont estimées à 5% des pertes totales [9] :

$$\dot{Q}_{cond} = 0.05 \times (\dot{Q}_{eva} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{con} + \dot{Q}_{re}) \quad (2.16)$$

2.5. CONCLUSION

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

CHAPITRE 3 :
RESULTAT ET DISCUSSIONS

RESULTAT ET DISCUSSION

3.1. INTRODUCTION :

Après avoir modélisé le système, nous sommes intéressés dans ce chapitre d'abord à la simulation du système ensuite aux résultats de l'installation afin de connaître les performances, le rendement et le choix optimale des paramètres. La rentabilité de l'installation est traitée en fin de chapitre.

3.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

Notre zone d'étude est la région de BENI TAMOU, qui se situe à environ 6 km au nord de Blida et à environ 45 km au sud-ouest d'Alger, comme le représente la figure 3.1.



Figure 3.1 : Situation géographique de la région.

Les coordonnées géographiques du site étudié sont :

- Latitude : 36°31'11" Nord.
- Longitude : 2°48'41" Est.
- Altitude : 124 m.

La position géographique du site étudié est représentée par la figure (3.2) :



Figure 3.2 : Représentation de la zone d'étude.

3.2.1. Présentation des données météorologiques et radiométriques du site

Les données météorologiques sont fournies par le logiciel METEONORM

3.2.1.1. Variation de température ambiante :

La variation de température ambiante est représentée dans la figure (3.3) :

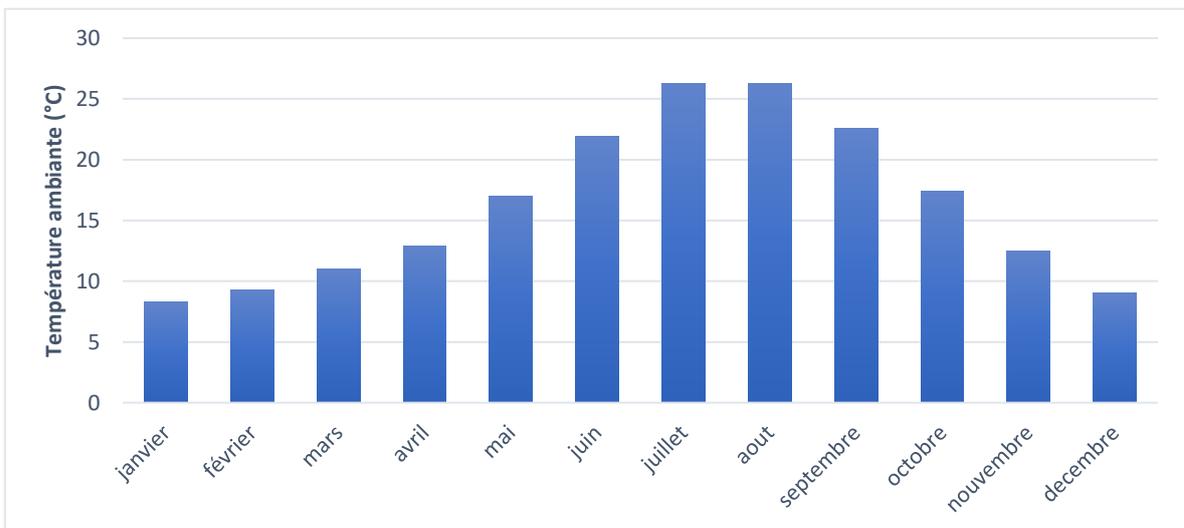


Figure 3.3 : Les moyennes mensuels de la température ambiante.

La figure représente la variation de la température ambiante en fonction des mois de l'année, Il est clair qu'aux mois de juin, juillet, août et septembre, la température ambiante est élevée et le maximum atteint à 26,3°C dans le mois juillet et aout, et La température est modérée pendant les mois d'octobre et mai, Le reste des mois, la température est basse et atteint un minimum 8,3°C dans le mois janvier.

3.2.1.2. Variation d'humidité relative :

L'évolution de d'humidité relative toute au long de l'année est représentée sur la figure (3.4) :

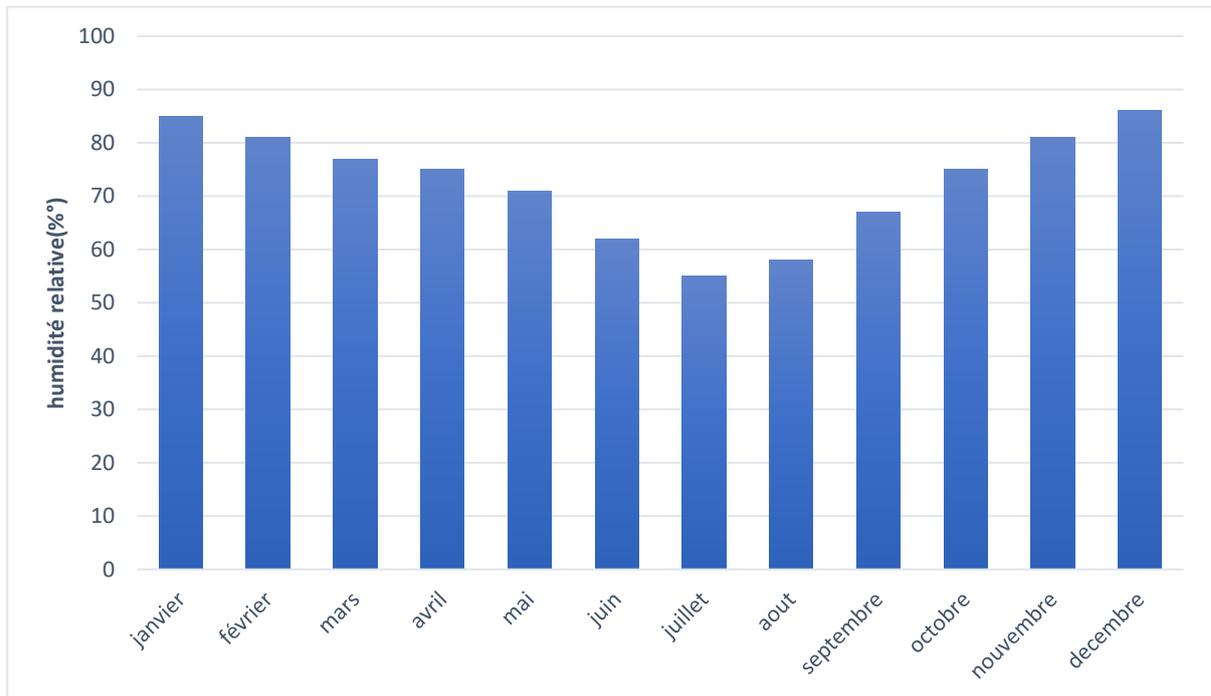


Figure 3.4. : Les moyennes mensuels d'humidité relative.

Dans cette figure est représentée la variation de l'humidité relative tout au long de l'année, d'octobre à mai, l'humidité est confinée entre 86 % et 71 %, atteignant son maximum en décembre et janvier, puis descendant à partir de juin jusqu'en septembre, se situant entre 67% et 55 %. La valeur la plus basse est observée en juillet.

3.2.1.3. Variation de l'irradiation globale sur le plan horizontal :

La variation de l'irradiation globale sur un plan horizontal est représentée dans la figure (3.5) afin de mettre en évidence le potentiel solaire du site étudié

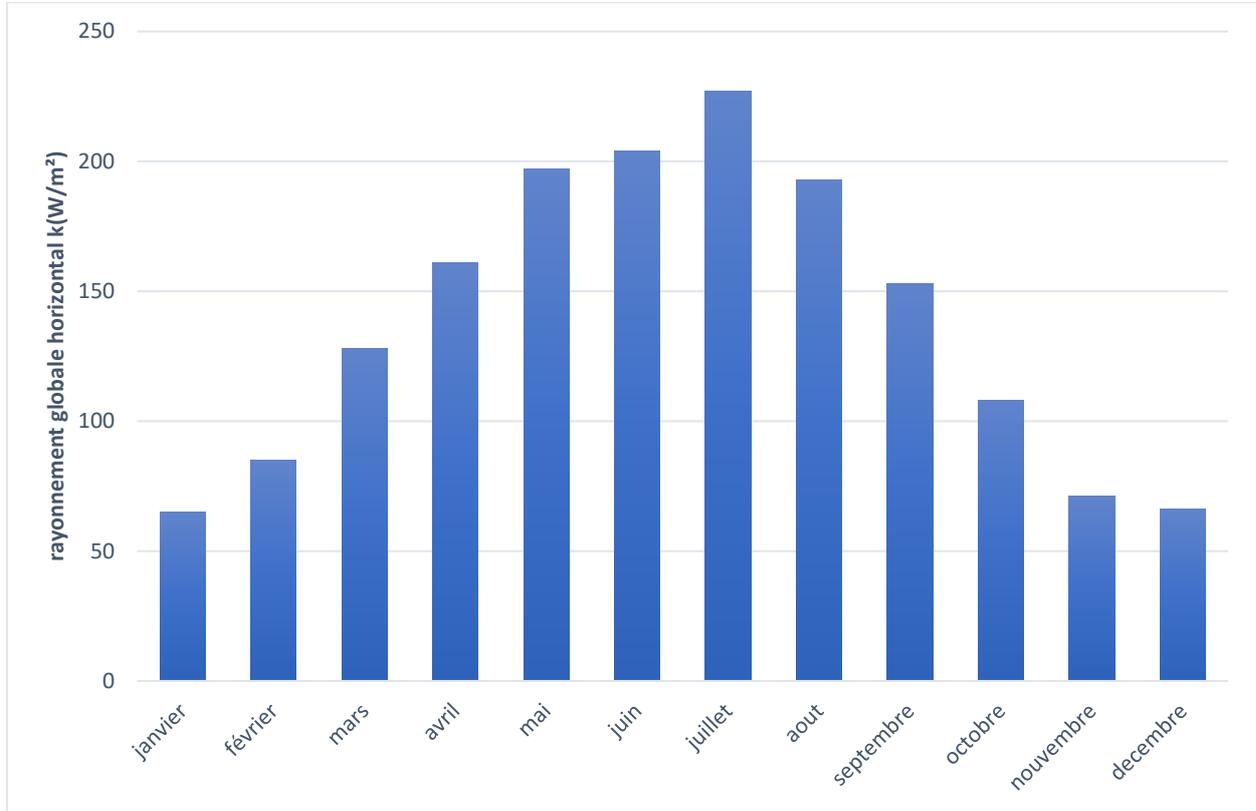


Figure 3.5 : Les moyenne mensuels de l'irradiation solaire.

La figure représente la variation du rayonnement global en fonction des mois de l'année. Pendant la période de mai à août, on remarque qu'un pic de rayonnement atteignant son maximum en juillet avec 227 kWh/m². Les mois de septembre, octobre, avril et mars présentent des niveaux modérés de rayonnement, allant de 108 kWh/m² à 161 kWh/m². La quantité de rayonnement est la plus faible en hiver (la période de novembre jusqu'à février) avec 65 kWh/m², la valeur la plus basse étant observée en janvier et en décembre.

3.3. PRESENTATION DU SYSTEME TRANSOL SOUS TRNSYS

Le système se compose d'un ensemble de capteurs solaires qui fournissent de l'énergie au ballon d'eau chaude sanitaire à travers un échangeur de chaleur externe et à la piscine à travers un autre échangeur de chaleur externe. Les deux ballons sont connectés en série. L'énergie fournie au ballon auxiliaire peut aussi provenir d'un chauffage auxiliaire hydraulique à travers un échangeur de chaleur situé dans la zone haute du ballon.

Il est possible de disposer d'un circuit de recirculation afin d'obtenir la température d'eau chaude sanitaire d'utilisation souhaitée, avec une vanne thermostatique à trois ou quatre voies, qui mélange l'eau de la boucle de recirculation avec l'eau chaude du ballon. Ceci permet de réduire le débit d'eau chaude provenant du ballon solaire, comme le montre la figure 3.6.

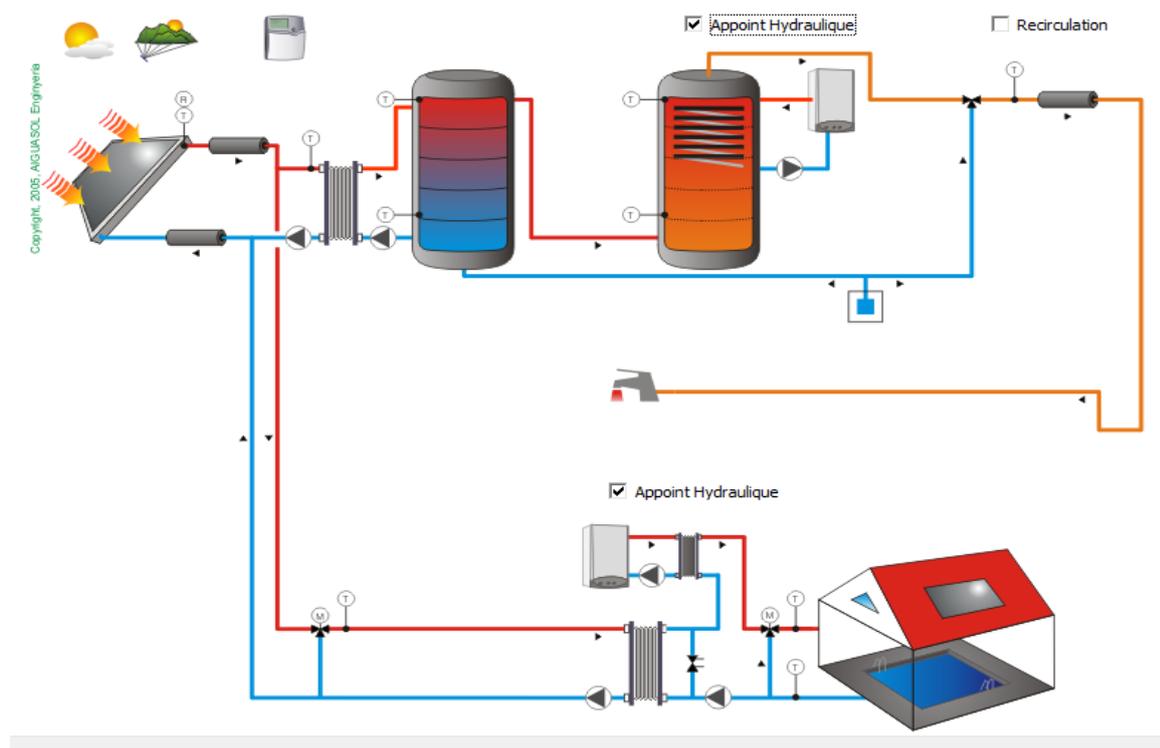


Figure 3.6 : Présentation du système.

La régulation du circuit primaire peut être réalisée par la mesure de l'ensoleillement ou par la mesure d'un différentiel de température. La régulation par l'ensoleillement est effectuée en mesurant les radiations arrivant sur les capteurs. La régulation par la mesure du différentiel de température compare la température du capteur et la température de la partie inférieure du ballon. La boucle secondaire peut être contrôlée de manière croisée avec la boucle primaire ou

de manière indépendante en comparant la température du côté chaud de l'échangeur avec celle en bas du ballon. La pompe secondaire ne peut être activée que si le circuit primaire est connecté à l'eau chaude sanitaire. Dans tous les cas, le débit de la pompe peut être fixe.

Le système arrête la circulation si la température du ballon ou celle du capteur est supérieure aux températures maximales de sécurité respectives ou si la température de la piscine a atteint le maximum autorisé. Il est également possible d'utiliser un dissipateur de chaleur dans la boucle primaire.

Le système d'appoint fonctionne si la température du ballon est inférieure à la température de consigne. Cette valeur de température de consigne doit être plus haute que la température d'eau chaude sanitaire requise pour la consommation.

Il y a 2 stratégies de contrôle : priorité à l'eau chaude sanitaire (la piscine n'est chauffée que si le ballon a atteint la température maximum), ou 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. Nous avons choisi la priorité au chauffage de piscine.

L'appoint de la piscine fonctionne si la piscine est utilisée et que sa température est inférieure à la température de consigne. Afin de permettre de l'énergie solaire vers la piscine, la boucle solaire peut chauffer la piscine 2°C au-dessus de sa température de consigne.

3.3.1. Données de la piscine :

La piscine se situe dans la région de Beni Tamou, elle est une piscine semi olympique comme la représente la figure 3.9



Figure 3.7 : Photo de la Piscine LADJLAT BENI TAMOU

Les dimensions de la piscine sont données par le tableau 3.1, (voir l'annexe 1) :

Tableau 3.1 : Les dimensions de la piscine.

Paramètres	Dimensions
Longueur	25 m
Largeur	21 m
Surface	525 m ²
Profondeur moyenne	2 m
Volume	1050 m ³

3.3.1.2. Résultat du dimensionnement du système

Les paramètres de dimensionnement sont donnés selon le propriétaire de la piscine, ils sont comme suit :

- La période de travail (baignade) est divisée en deux périodes : la première période s'étend du 1er janvier au 30 juin, et la deuxième période s'étend du 1er septembre au 31 décembre. (Les 2 mois sont consacrés à la maintenance et l'entretien de la piscine)
- Durée de travail : de 06 h à 21h.
- Une profondeur moyenne de 2 m.
- Piscine sans couverture.
- Nombre de baigneur : 200 nageurs

En prenant :

- Un ratio de 0.5 de la surface globale de la piscine [23]
- Fraction solaire moyenne de 0.6
- La surface du capteur utilisée : 2m^2 [24]
- $Fr \tau \alpha = 0.72$
- $Fr U_g = 4.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Inclinaison du capteur : 36° (Latitude du lieu)

Et utilisant le logiciel TRANSOL, un logiciel utilisé aussi pour le dimensionnement de tout type de chauffage solaire, les résultats ont donné une surface de captation de 156 m^2 avec un :

- Nombre de capteur = 78 capteurs
- Nombre de rangées = 13 rangées
- Nombre de capteur en série = 6 capteurs

3.4. SIMULATION

La simulation dynamique a été réalisé par le logiciel TRANSOL sous TRNSYS, utilisant les mêmes paramètres que celle du dimensionnement

La période de simulation étant toute l'année sauf pour le mois de juillet et Aout et ceci pour des raisons de maintenance et d'entretien.

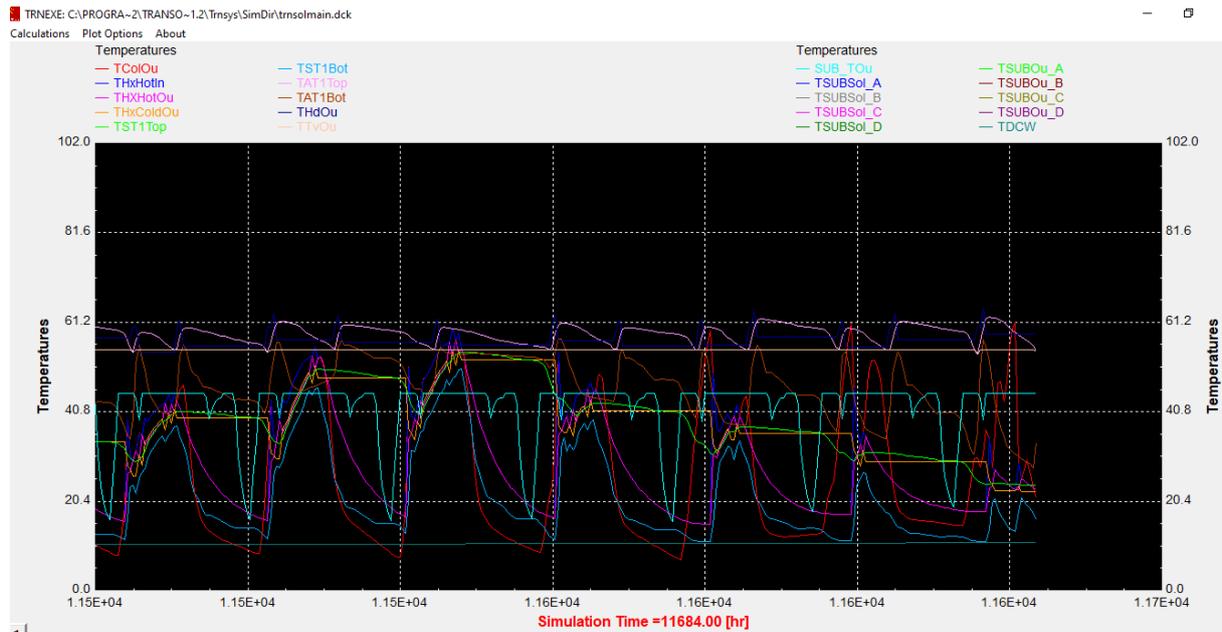


Figure 3.8 : La simulation dynamique.

3.5. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.5.1. Besoins en eau chaude sanitaire

Après simulation sous le logiciel TRANSOL, les besoins en consommation annuel pour l'eau chaude sanitaire sont représentés dans la figure (3.11)

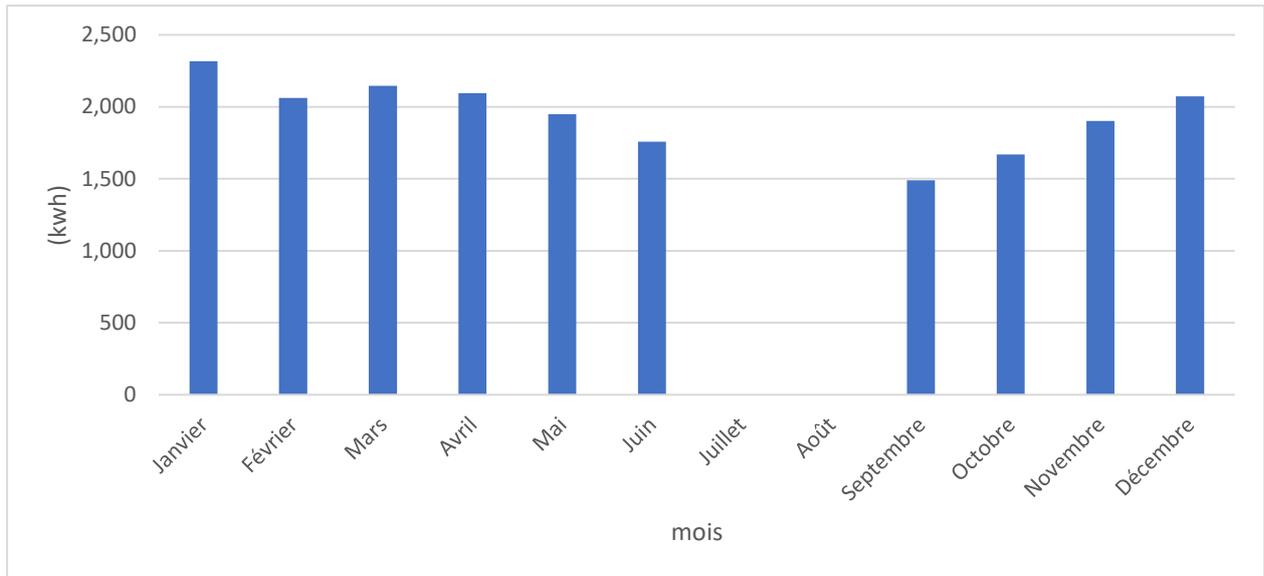


Figure 3.9 : Les moyennes mensuels du besoin énergétique en eau chaude sanitaire.

cette figure représente les besoins énergétiques nets en eau chaude sanitaire en fonction des mois de l'année, évidemment que la consommation décroît pour le mois estival (Mai Juin et septembre, octobre), le minimum est pour le mois de septembre à 1489 KWh. Par contre les besoins énergétiques augmentent pour les mois d'hiver, ou le Maximum est atteint pour le mois de janvier à 2317 kWh. Cette variation est dû certainement aux potentiels de chaque saison de l'année (le climat) ; ceci influe sur la température de l'eau froide.

3.5.2. Besoins énergétiques de la piscine

Les besoins en consommation de la piscine sont donnés par la figure 3.12

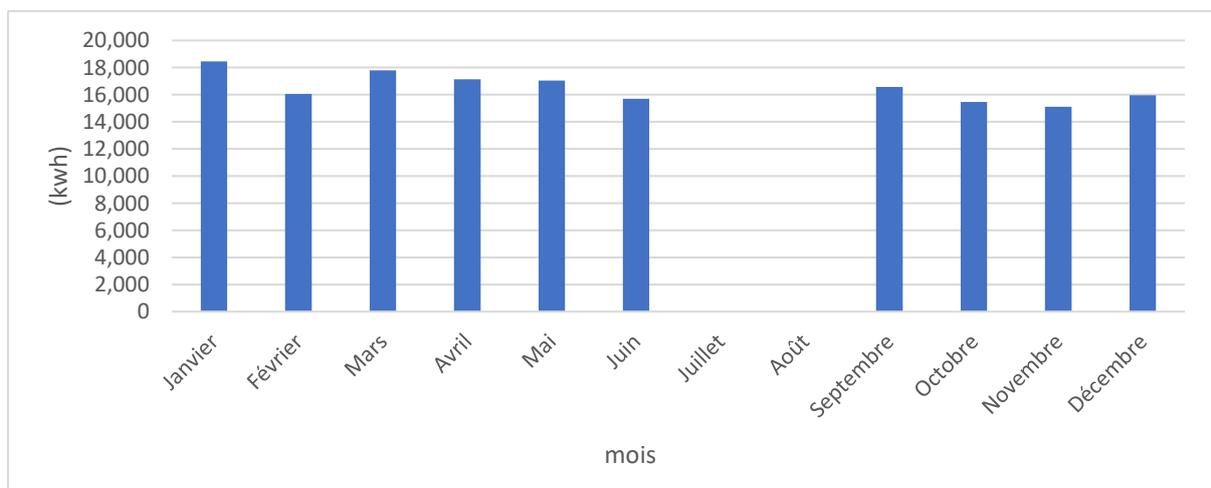


Figure 3.10: Les moyennes mensuels du besoin énergétique de la piscine.

Cet histogramme présente la demande énergétique de la piscine mois par mois. En janvier, la demande atteint son maximum à 18455 kWh. Ensuite, la valeur diminue progressivement pour atteindre environ 17000 kWh dans les mois de février, mars, avril et mai. De juin à décembre, la valeur reste autour de 15000 kWh. La valeur la plus basse est enregistrée en novembre, atteignant 15114 kWh.

3.5.3. Présentation du bilan énergétique

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

3.5.3.1. Résultat énergétique du système ECS

Les résultats énergétiques du système solaire thermique sont représentés sur la figure (3.13), pour cela on retient les remarques suivantes :

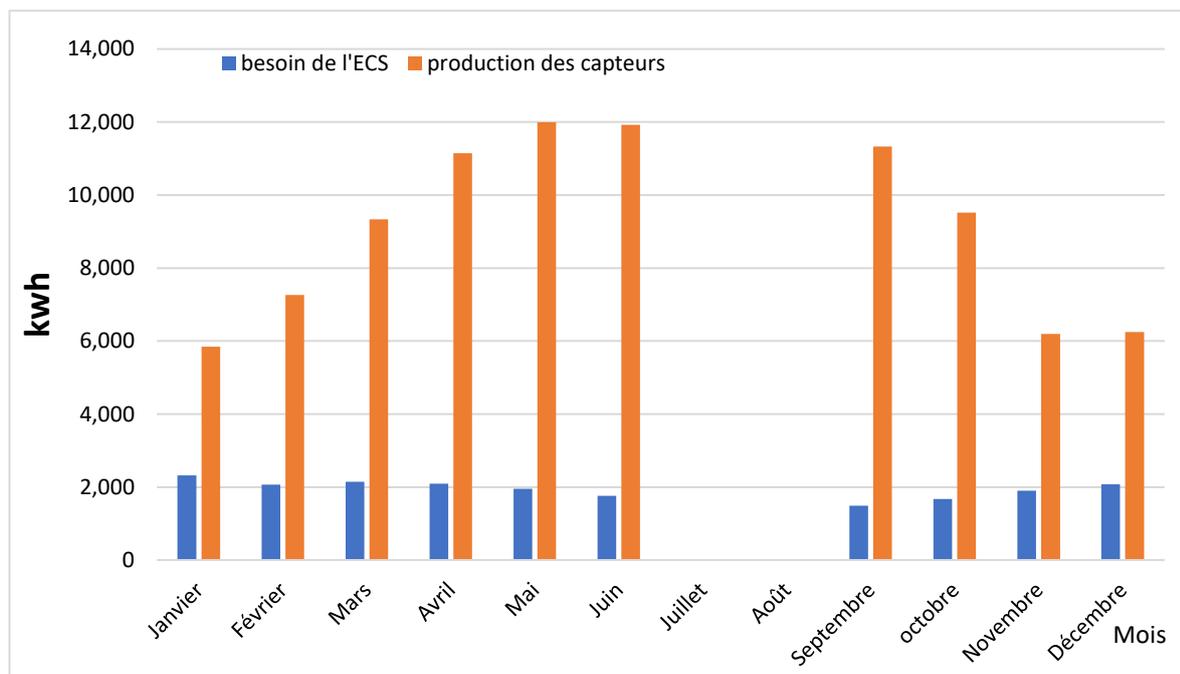


Figure 3.11 : Les moyennes mensuelles du besoins et apports en eau chaude sanitaires.

Cette représentation met en évidence l'écart entre les besoins locaux en eau chaude et la production de capteurs solaires au cours de l'année, mesurée en KWh. La production d'énergie augmente pendant les mois d'été en raison de l'intensité du rayonnement solaire, mais cette dynamique varie pendant les mois froids, et nos besoins sont estimés à environ 2000 kWh par mois, tout au long de l'année, nous constatons un surplus important de production d'énergie par rapport à nos besoins annuels.

3.5.3.2. La fraction solaire de l'eau chaude sanitaire

La figure (3.14) représente la fraction solaire durant l'année de l'eau chaude sanitaire

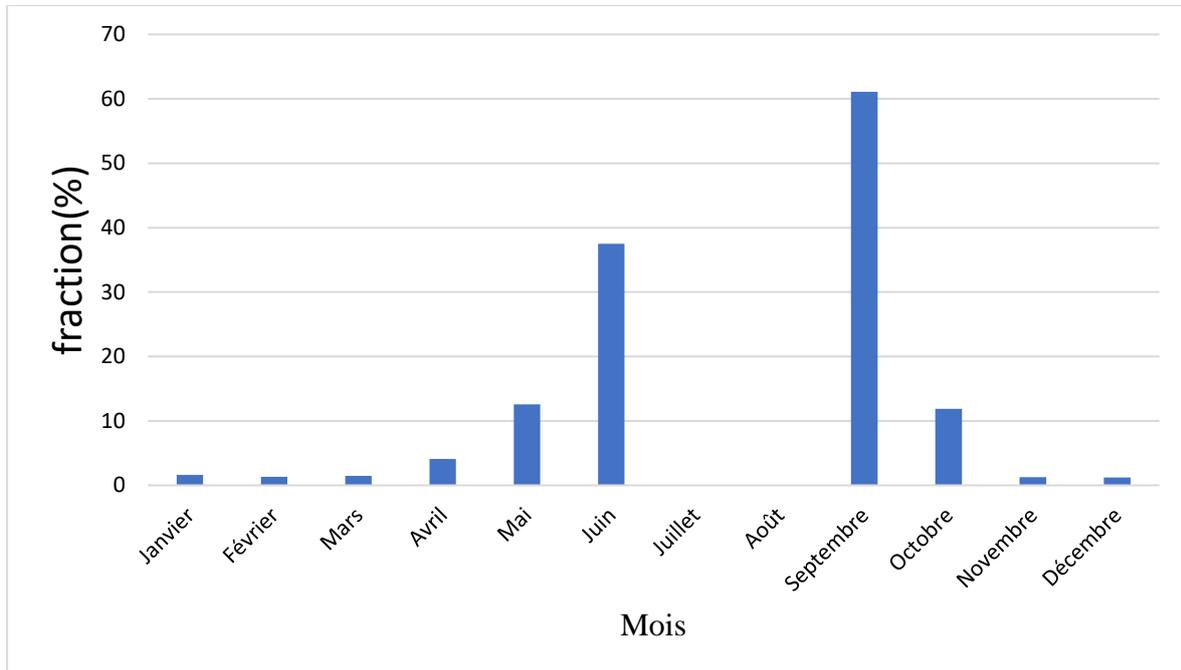


Figure 3.12 : La fraction solaire de l'eau chaude sanitaire.

Cette figure représente la fraction solaire de l'eau chaude sanitaire. Nous avons remarqué que la part solaire de l'eau chaude sanitaire était quasiment inexistante la plupart des mois de l'année, en raison de notre choix de donner la priorité au chauffage de la piscine. Par contre, durant les mois de juin et septembre, cette part a atteint une moyenne de 50 %, ceci est dû au fort potentiel lors de cette période comparativement aux autres mois.

3.5.3.3. Résultat énergétique de la piscine

Les résultats énergétiques de la piscine sont donnés en figure 3.15.

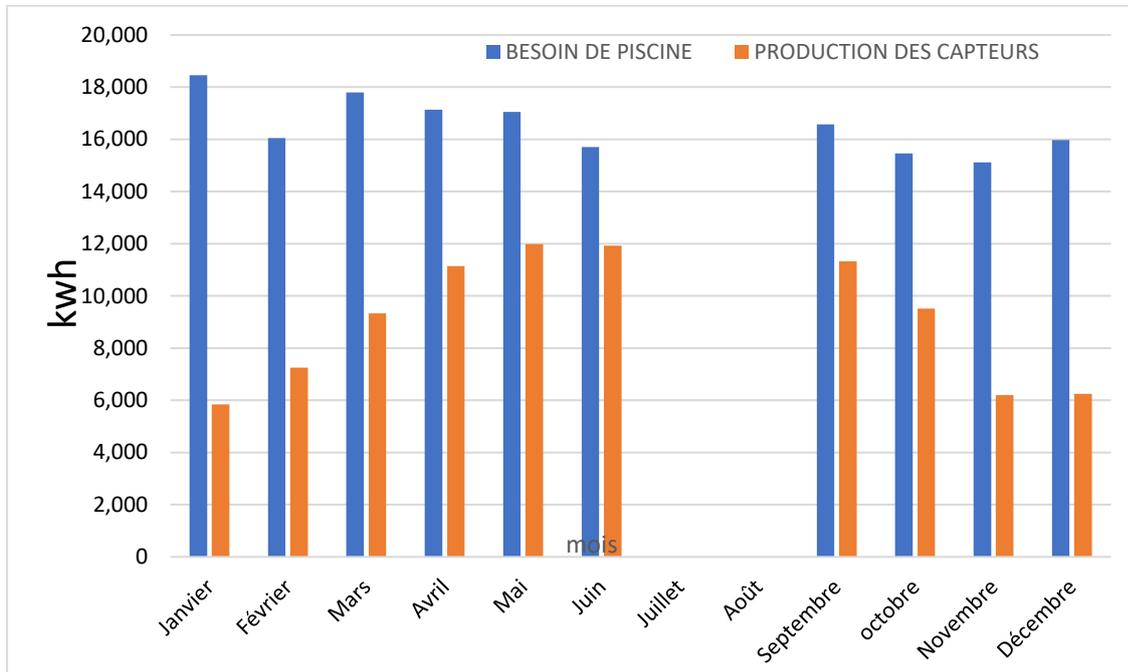


Figure 3.13 : Les moyennes mensuels du Besoin et apport énergétique de la piscine.

Dans la figure (3.15) une comparaison est dressée entre les besoins énergétiques et la production des capteurs pour la piscine, en tenant compte de la période de fonctionnement. Il est remarquable que les besoins en chauffage de la piscine soient moindres pendant les mois d'été par rapport aux mois d'hiver. Mai et juin enregistrent la production la plus élevée, tandis que janvier connaît la production la plus basse. Cette analyse révèle que la production dépasse largement la moitié de nos besoins pendant les mois de mai, juin et septembre, tandis qu'elle est nettement inférieure à la moitié de nos besoins pendant les mois de janvier, décembre et novembre. Pour les autres mois, la production satisfait environ la moitié de nos besoins.

3.5.3.4. La fraction solaire de la piscine :

La figure (3.16) représente la fraction solaire durant l'année :

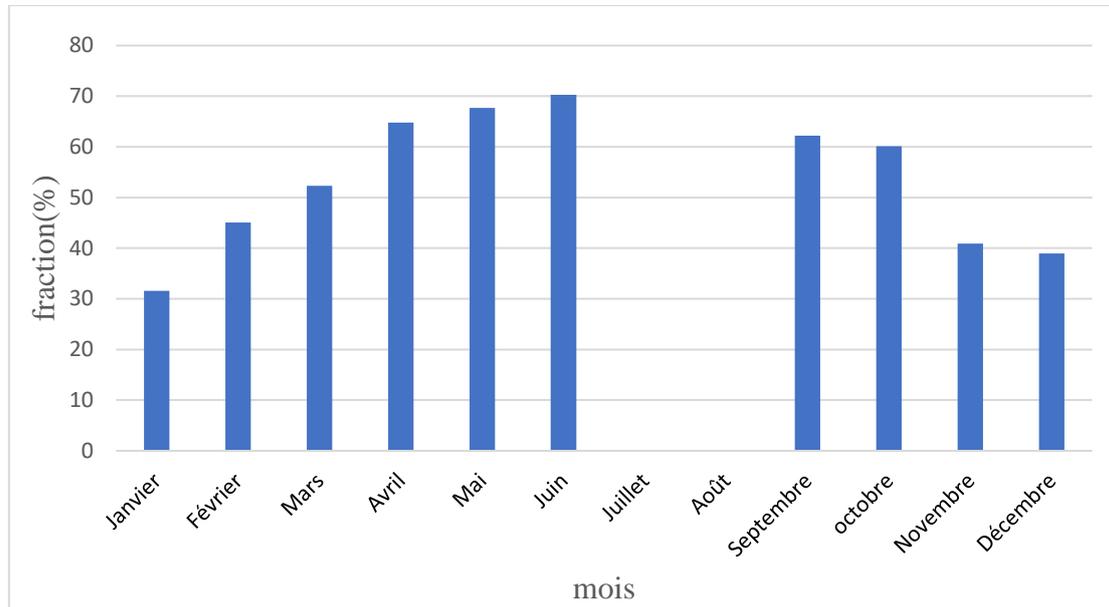


Figure 3.14 : Fraction solaire de la piscine.

Dans cette analyse graphique, nous avons calculé la fraction solaire moyenne annuelle. Il est observé que cette fraction a une moyenne autour de 60%, avec un minimum de 32% enregistré en janvier, et un maximum en juin avec 70 %, ce qui demeure un niveau acceptable, alors qu'elle reste légèrement en dessous de ce seuil pendant les mois froids.

3.5.4. Evolution des pertes thermiques du système

La figure 3.17 résume la part des pertes thermiques dans différent éléments de l'installation solaire sur l'année.

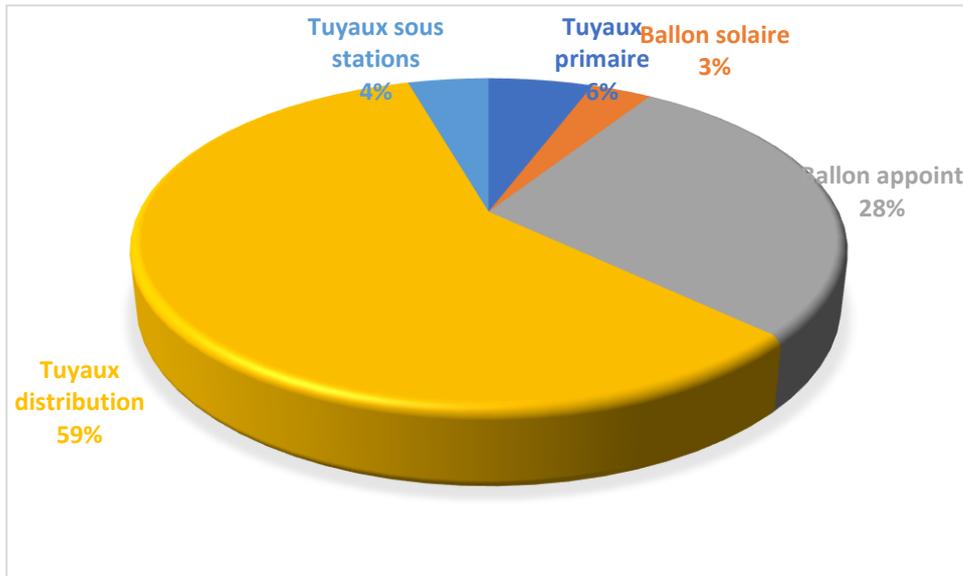


Figure 3.15: Les pertes thermiques dans les différents éléments de l'installation

Dans cette figure on remarque que les pertes de la tuyauterie du circuit sont très élevées, elles représentent 60% de la totalité des pertes, sans oublier les pertes du ballon d'appoint 28 % qui sont aussi assez important ceci est dû au choix de l'isolation.

3.5.5. Analyse économique et environnementale

3.5.5.1. Analyse économique :

Après la phase de conception, le système est étudié du point de vue économique. En effet, les différents coûts des composantes du projet sont estimés

Les différents paramètres économiques du système sont donnés par le tableau 3.2 :

Tableau 3.2 : Les différents paramètres économiques du système.

Paramètres	Avec système solaire	Sans système solaire
Investissement [DA]	14800000	2500000
Subventions (45%) [DA]	8140000	
Cout de maintenance [DA]	74000	15000
Période d'exploitation [années]	25	

3.5.5.2. Résultat de l'analyse économique :

Après introduction de tous les paramètres économiques, la simulation nous a donné les résultats mentionnés par le tableau 3.3 :

Tableau 3.3 : Les résultats de l'étude économique

Paramètres	Avec système solaire
Retour sur investissement [années]	14
Valeur ajoutée nette [DA]	7000000

- Le cout d'investissement d'une installation avec système solaire est très élevé comparant à une installation sans système solaire , en raison du cout élevé des équipements (capteur, ballon d'appoint,ballon solaire ... ect)
- Le temps de retour d'investissement de notre installation de système solaire a été estimé est 14 ans sans subvention et 8 ans avec subvention , cette durée est considérée satisfaisant .
- La valeur ajoutée nette est positive ce qui veut dire dans l'analyse économique que c'est un projet rentable, malgré le temps de retour assez important.

3.5.5.3. Impact environnemental :

Les installations des systèmes chauffages solaires pour les piscines et la production d'eau chaude sanitaire permettent d'éviter une quantité importante d'émissions des gaz à effets de serres ou polluants et déchets. Pour cela le tableau (3.4) dresse un bilan environnemental en termes de CO_2 et les gaz réduit pendant l'année de notre installation.

Tableau 3.4 : Impact environnemental

Emissions de CO_2 évitées [Kg]	12776
----------------------------------	-------

- La quantité d'émission à effet de serre évitée annuellement pour une telle installation solaire est environ de **12776** kg de CO_2 et 20 kg de NO_x qui sont les gaz les plus toxiques ; ce qui contribue aussi à la rentabilité de telle installations.

3.6. CONCLUSION

Le système actuel offre une couverture satisfaisante des besoins de chauffage de la piscine ainsi que les besoins de l'eau chaude sanitaire. Investir dans tels systèmes solaires serait très rentable malgré un retour sur investissement d'environ 14 ans. En outre, l'utilisation de l'énergie solaire contribue de manière significative à la préservation de l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (**12776kg de CO_2**).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail porte sur l'étude de faisabilité d'une installation de chauffage d'eau de grande capacité destinée à répondre aux besoins d'eau chaude d'une piscine intérieure semi olympique à Blida. Cette installation est soumise à des paramètres météorologiques et radiométriques aléatoires.

Le travail réalisé a pour but essentiel d'évaluer la faisabilité d'intégration d'un système de chauffage d'eau solaire à réduire l'utilisation de l'énergie conventionnelle (le gaz) tout en assurant les avantages environnementaux en matière d'émission des gaz à effet de serre.

Après avoir cité les différents travaux réalisés sur les installations et les systèmes de chauffage des piscines fonctionnant à l'énergie solaire, des modèles mathématiques destinés à étudier, le bilan thermique en montrant que les pertes par évaporation est le mode le plus influant.

En respectant les paramètres imposés par le propriétaire, les besoins, la température et la surface disponible sur le toit, le dimensionnement du champ solaire de captation déterminé est une configuration de 6 capteurs en série, 13 rangés et de surface de 156 m².

Les performances à long terme du système que la couverture solaire de l'installation est assurée avec une fraction annuelle de 60% et qui peut atteindre plus en été, d'où l'intérêt d'intégration les procédés solaires thermique dans de telles piscines.

L'analyse de sensibilité montre que le temps de retour est estimé à 14 ans, relativement important.

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, la transition énergétique de l'Algérie est encore freinée par les coûts d'installation relativement élevés des énergies renouvelables par rapport au prix du kWh de l'électricité fossile. Il est donc plus que jamais urgent d'élaborer des plans nationaux de développement économique favorisant la transition énergétique et environnementale et le développement durable.

Concernant l'analyse présentée dans ce travail, on peut conclure aussi que d'autres avantages majeurs de l'installation de chauffage d'eau pour usage industriel; le premier est l'économie générée par le remplacement des énergies conventionnelles et l'autre est d'éviter les coûts liés à la réduction des gaz à effet de serre (GES) et des émissions de polluants (**12776** kg de CO₂

évitée chaque année), par conséquent, ces systèmes doivent être utilisés autant que possible afin de parvenir à un développement durable à l'avenir.

Perspectives :

- Il est important de noter la possibilité d'étudier l'influence des nouveaux types de capteurs solaires avec de nouveaux matériaux (matériaux à changement de phases lors du stockage de la chaleur), on peut proposer comme suite à ce travail d'étudier la possibilité de l'utilisation des capteurs sous vides pour l'alimentation de l'eau chaude, même pour des systèmes combinés le chauffage et le rafraîchissement dans des installations de grandes capacités.
- Il est aussi important de voir aussi que le nombre de baigneurs et la couverture la sélection du capteur pour de telle installation est très important
- Les futurs développements des capteurs devraient se concentrer sur la réduction des coûts pour les capteurs standards utilisés en dessous de 100 °C avec une production locale.
- Étant donné qu'une part importante de la demande de chaleur à basse température est destinée au chauffage des locaux, la combinaison des systèmes solaires thermiques (cogénération) et des pompes à chaleur doit être étudiée pour le chauffage des piscines.
- Plus d'études sur l'analyse technico-économique, des informations complètes sur le coût réel du système.

Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] EMAN A ALLAW, FAYADH M ABED AND HUSSEIN HAYDER MOHAMMED ALI. Heating outdoor swimming pools using flat panel solar collectors and evaluating the economic feasibility, International Journal of Machine Tools and Maintenance Engineering 2023.
- [2] MADAN SINGHI, G. N. TIWARI T AND Y. P. YADAV. solar energy utilization for heating of indoor swimming pool 1989
- [3] G. N. TIWARI and S. B. SHARMA. design parameters for indoor swimming-pool heating using solar energy.1990
- [4] A. I. ALKHAMIS AND S. A. SHERIFF. performance analysis of a solar-assisted swimming pool heating system. 1992
- [5] J. L. DUOMARCO Y M. PÉREZ, «solar heating of swimming pools, » de ninth international ibpsa conference, montréal, 2005.
- [6] 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.
- [7] Swimming pool heating technology: A state-of-the-art review YANTONG LI1, NATASA NORD, GONGSHENG HUANG, XINLI BUILD SIMUL (2021)
- [8] AHMAD ABOUSHI AND ABEERABU RAED. heating indoor swimming pool using solar energy with evacuated collectors .2015
- [9] K. Kaci1, M. Merzouk1, N. Kasbadji, Merzouk, M. El Ganaoui, S. Sami et R. Djedjig. Simulation dynamique d'une piscine olympique chauffée à l'eau hybride-solaire 2017.
- [10] DANNEMAND, MARK; FURBO, SIMON; ANDERSEN, CLAUS AMTRUP; HELLER, ALFRED; MADSEN, HENRIK. heating of indoor swimming pools by solar thermal collectors in summerhouses in denmark.2017

[11] DIMITRIS KATSAPRAKAKIS. introducing a solar-combi system for hot water production and swimming pools heating in the pancretan stadium, crete, greece. 2018

[12] J.P. DELGADO MARIN, F. VERA GARCIA, J.R. GARCIA CASCALES. use of a predictive control to improve the energy efficiency in indoor swimming pools using solar thermal energy.2019

[13] R.S. GONCALVES, ANA I. PALMERO-MARRERO, ARMANDO C. OLIVEIRA. analysis of swimming pool solar heating using the utilizability methode.2019

[15] YANTONG LI1, NATASA NORD, GONGSHENG HUANG, XIN LI. swimming pool heating technology: a state-of-the-art review.2020

[16] Agence internationale pour les énergies renouvelables (International Renewable Energy Agency) IRENA. 2023

[17] ALESSANDRO BUSCEMI, ALESSANDRO BIONDI, PIETRO CATRINI, STEFANIA GUARINO, VALERIO LO BRANO. a novel model to assess the energy demand of outdoor swimming pools 2024

[18] YANTONG LI1, NATASA NORD, GONGSHENG HUANG, XIN LI. technologie de chauffage de piscine .2020

[19] Logiciel de METEONORM

[20] Olivier De Quincey. Nombre de RAYLEIGH : ‘une approche avec les mains’ .2019

[21] MINISTÈRE DES SOLIDARITÉS ET DE LA SANTÉ. Décret n° 2021-656 du 26 mai relatif à la sécurité sanitaire des eaux de piscine.2021

[22] MANCIC, M.V, ŽIVKOVIC, D.S, MILOSAVLJEVIC, P.M, TODOROVIC, M.N., Modélisation mathématique et simulation de la performance thermique d'une piscine intérieure chauffée à l'énergie solaire. 2014

[23] GRAHAM L. MORRISON « solar heating - swimming-pool heating systems - dimensions, design and installation guidelines” report technical first edition 1995-12-15 iso/tr 12596:1995· December 1995.

[24] LADJ LOTFI. Simulation d'un système de chauffage solaire destiné au restaurant universitaire de blida. 2019

Annexes

Annexe 1 :

La figure représente le plan de la piscine

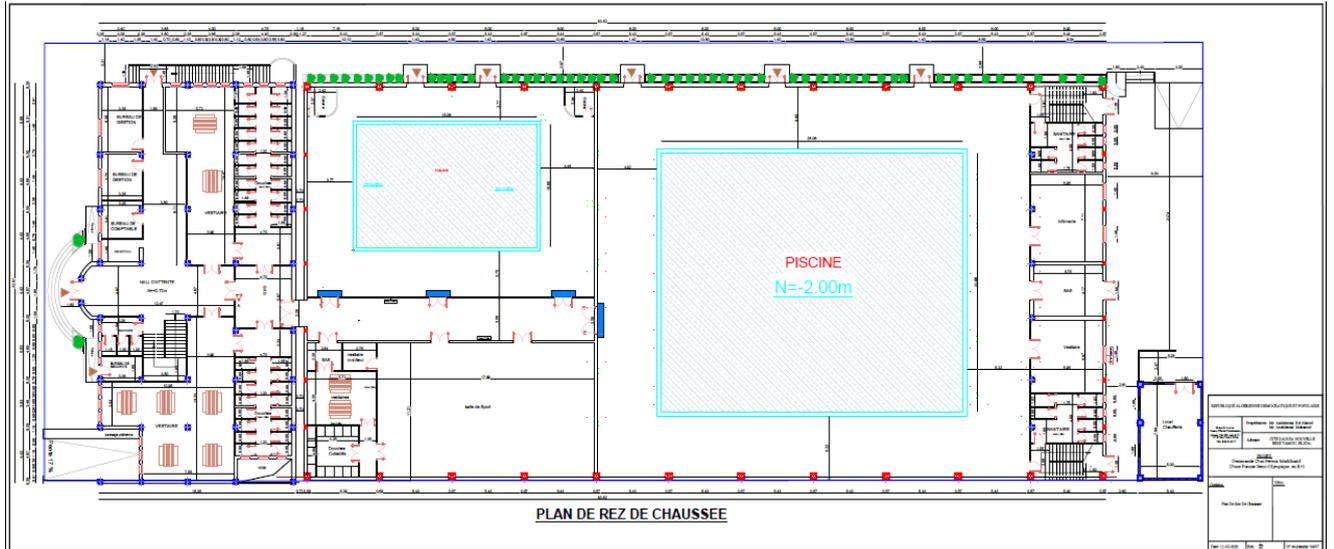


Figure : plan de la piscine

Annexe 2 :

Le tableau suivant les devis estimatifs de l'investissement

Tableau : les devis estimatifs

Ordre	Désignation	Nombre	Prix unitaire [DA]	Prix total [DA]
1	Capteur plan	78	150000	11700000
2	Pompe	6	100000	600000
3	La cuve de stockage	2	100000	200000
4	Echangeur	2	70000	140000
5	Chaudière	2	500000	1000000
6	Tuyauterie et isolation (m)	50	500	25000
7	Fourniture et porte	1	500000	500000
8	Autre			635000
9	Total			14800000