



UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



MEMOIRE

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Spécialité : conversion thermique

INTITULÉ

**Etude technico-économique d'un Système De Chauffage D'eau Solaire
Pour Une Habitation Résidentielle En Algérie**

PRESENTE PAR : FERGUENE ABOU-BAKEUR ESSEDIK

Devant le jury composé de :

Dr M. Mustapha Professeur U. Blida 1 Président

Dr DJ. Lafri MCB U. Blida 1 Examineur

Dr N. Khelalfa MCB U. Blida 1 Examinatrice

M K. Kaci MAA U. Blida 1 Promoteur

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mon directeur de recherches, Monsieur KARIM KACI, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance. Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Je voudrais également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Je tiens aussi à remercier monsieur DJAMEL LAFRI le chef du département des énergies renouvelable ainsi que tout le personnel et les enseignants du département pour leur soutien inestimable.

A tous mes enseignants qui m'ont initié aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect et d'un profond amour.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de nos études,

A mes chères sœurs, Imane et Asma, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mon chers frère Khaled pour son appui et son encouragement,

A mes chers amis, sans exception

A toute la promo Conversion Thermique 2019/2020.

A tous ceux qui m'ont aidé durant mes études universitaires.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de notre parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Résumé :

Le but de ce travail consiste à une étude technico-économique d'une installation de chauffe-eau solaire à circulation forcée pour une résidence située dans la région de Draria (Alger), l'installation se compose essentiellement d'un champ de captation des capteurs thermique plan, Les données météorologiques sont fournies par le logiciel METEONORM

La partie dimensionnement a été réalisée sur un logiciel de dimensionnement sous Matlab utilisant la méthode F-chart, pour une fraction solaire de 80 %. La surface de captation et la capacité de stockage ont été déterminés.

La simulation dynamique a été réalisée par le logiciel TRNSYS. Les résultats ont permis de déterminer les paramètres optimums du système (configuration, débit, et inclinaison). Le travail est complété avec une étude économique en utilisant les prix réels des composants dans le marché, les résultats ont montré un LEC de 8.5 DA, une valeur encourageante pour de tels systèmes par contre un temps de retour de 12 ans.

Les résultats n'est étaient satisfaisant ceci est dû essentiellement aux tarifs bas d'électricités en Algérie

Abstract :

The goal of this work is to make a techno-economical study of a forced circulation solar water heater installation for a residence located at Deraria (Algiers) the installation consists of a collection field of flat thermal collectors, the meteorological data are provided from the software METEONORM

The sizing part was carried out on a sizing software in Matlab using the F-chart method, for a solar fraction of 80 % where we determine the capture surfaces and stocking capacity needed.

The dynamic simulation was carried out by the software TRNSYS. The results made it possible to determine the optimum parameters of the system (configuration, flow, and inclination). The work is completed with an economic study using the real prices of the components in the market; the results showed an LEC of 8.5 DA, an encouraging value for such systems on the other hand time of return 12 years.

The results were not very satisfactory because of the low electricity tariffs in Algeria

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو القيام بدراسة تقنية واقتصادية لتركيب سخان مياه شمسي بالتدوير القسري لمنزل يقع في دراريا (الجزائر العاصمة) يتكون التركييب بشكل أساسي من حقل تجميع لأجهزة الاستشعار الحرارية المسطحة وتم توفير بيانات الأرصاد الجوية بواسطة برنامج METEONORM

تم تنفيذ جزء التحجيم برنامج تحجيم في MATLAB باستعمال تقنية F-chart بكسر شمسي بنسبة 80% اين تم تحديد سطح الالتقاط وسعة التخزين.

تم إجراء المحاكاة الديناميكية بواسطة برنامج TRNSYS. جعلت النتائج من الامكان تحديد المعلمات المثلى للنظام (ترتيب، تدفق، ميل). اكتمل العمل بدراسة اقتصادية باستخدام الأسعار الحقيقية للمكونات في السوق، وأظهرت النتائج LEC بقيمة 8.5 دج، وهي قيمة مشجعة لهذه الأنظمة من ناحية أخرى وقت رجوع الاستثمار 12 عامًا.

لم تكن النتائج جد مرضية، ويرجع ذلك أساسًا إلى انخفاض سعر الكهرباء في الجزائر

Nomenclature

Symbole	Signification	Unité
τ_c	Facteur de transmission de la couverture transparente	
α_p	Facteur d'absorption de la plaque absorbante	
G_t	L'éclairement global incident sur le capteur	$w.m^{-2}$
Ac	surface d'échange des collecteurs	m^2
U_L	coefficient global de pertes thermiques des collecteurs	$w.m^{-2}K^{-1}$
T_a	température ambiante	K
T_{pm}	température de la plaque absorbante	K
\dot{Q}_u	L'énergie utile récupérée par un capteur solaire	W
S	L'irradiation solaire absorbée par un capteur par unité de surface d'absorbeur	$Wh.m^{-2}$
m	Débit massique d'eau	$Kg.s^{-1}$
NTU	nombre de transfert unité	
C	nombre adimensionnelle de taux de capacité	
ϵ	L'efficacité	
X	valeur adimensionnelle de la méthode f-chart	
X_c	valeur adimensionnelle corrigée de la méthode f-chart	
Y	valeur adimensionnelle de la méthode f-chart	
Y_c	valeur adimensionnelle corrigée de la méthode f-chart	
Z	valeur adimensionnelle de la méthode f-chart	
$(U \cdot A)_L$	coefficient d'échange global de l'échangeur	$W.m^2K^{-1}$
FR'	facteur modifié d'évacuation de la chaleur du capteur solaire	
\bar{H}_t	moyenne mensuelle du rayonnement solaire incident quotidien dans le plan des capteurs	$w.m^{-2}$
\bar{T}_a	moyenne mensuelle de la température ambiante	C°

T_{ref}	valeur empirique de référence	K
L	charge de chauffage totale mensuelle	W
N	nombre de jours dans le mois considéré	
$(\bar{\tau}\alpha)$	moyenne mensuelle du produit de la transmissivité et de l'absorptivité du capteur	
Δt	nombre de seconds par mois	s
f_i	charge totale de chauffage a fournie par l'énergie solaire dans un mois	W
L_i ,	charge de chauffage totale mensuelle	W
$\sum l_i$	Charge annule	W
F	la fraction de satisfaction mensuelle des besoins énergétiques grâce à l'apport solaire	

Liste des figures

Chapitre I : L'état de l'art et problématique

Figure 1.1 : Evaluation de la consommation d'énergie et des émissions de c02.....	4
Figure 1.2 : Consommation mondiale d'energie primaire en 2019.....	5
Figure 1.3 : Consommation d'energie par grande zone géographique.....	5
Figure 1.4 : Top 20 pays avec nouvelle installation des chauffe-eau solaire.....	7
Figure 1.5 : Capacité éolien et nouvelle installation.....	7
Figure 1.6 : Capacité géothermie et nouvelle installation.....	8
Figure 1.7 : Structure de la production d'énergie primaire.....	10
Figure 1.8 : Structure de la consommation nationale d'énergie total.....	11
Figure 1.9 : Comparaison de capacité total énergies renouvelables.....	12
Figure 1.10 : Comparaison de capacité total énergies renouvelables.....	12
Figure 1.11 : Comparaison de la production l'énergie solaire	12
Figure 1.12 : Comparaison de la production l'énergie solaire	12
Figure 1.13 : Programme national des énergie renouvelable.....	13

Chapitre II : Modélisation

Figure 2.1 : Schéma chauffe-eau solaire	23
Figure 2.2 : Schéma de la cuve	26

Chapitre III: Présentation Du Projet Et Dimensionnement Du Système

Figure 3.1 : Situation géographique de la ville d'Alger.....	36
Figure 3.2 : Situation de la commune de Draria	37
Figure 3.3 : Rayonnement moyen globale et diffus	37
Figure 3.4 : Valeurs journalières de la température	38
Figure 3.5 : Moyennes journalières du rayonnement global	39
Figure 3.6 : Plan de situation du projet	39
Figure 3.7 : Façade du bloc a étudié	40

Chapitre IV : Résultat et discussions

Figure 4.1 : Paramètres du capteur	43
Figure 4.2 : Paramètres d'entrée du ballon de stockage.	44
Figure 4.3 : Paramètres d'entrée de la pompe	44
Figure 4.4 : Paramètres d'entrée du climat.....	45
Figure 4.5 : Variation des températures de sortie du capteur pendant l'année.....	46
Figure 4.6 : Variation de la chaleur utile pendant l'année.....	46
Figure 4.7 : Evolution des températures par rapport au débit	47
Figure 4.8 : Evolution de la chaleurs utiles par rapport au débit.....	47
Figure 4.9 : Evaluation rayonnement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison.....	48
Figure 4.10 : Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison.....	49
Figure 4.11 : Evaluation rayonnement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison.....	49
Figure 4.12 : Evaluation De La Chaleur Utile Par Rapport à L'inclinaison.....	50
Figure 4.13 : Evaluation rayonnement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison.....	51
Figure 4.14 : Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison.....	51
Figure 4.15 : Evaluation rayonnement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison.....	52
Figure 4.16 : Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison.....	52

Liste des Tableaux

Chapitre I : L'état de l'art et problématique

Tableau 1.1 : Les chiffres clés du pétrole et du gaz naturel en 2019.....	6
Tableau 1.2 : Indicateurs d'énergie renouvelable 2019	8
Tableau 1.3 : Production d'énergie primaire	9
Tableau 1.4 : Consommation nationale totale.....	10
Tableau 1.5 : Programme national des energie renouvelable.....	13

Chapitre V : Etude économique et Conclusion

Tableau 5.1 : La consommation annuelle de l'énergie électrique avec appoint et sont appoint.....	55
Tableau 5.2 : Quantité des gaz réduits par l'énergie électrique.....	55

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Nomenclature

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Table des matières

Introduction.....1

Chapitre I : L'état de l'art et problématique

I.1 Situation énergétique dans le monde.....4

I.1.1 La consommation mondiale d'énergie primaire :4

I.1.2 Les énergies fossiles : 84,3% de l'énergie consommée dans le monde.....4

I.1.3 La consommation d'énergie par grande zone géographique.....5

I.1.3 Les chiffres clés du pétrole et du gaz naturel.....6

I.1.4 Situation énergie renouvelable dans le monde :6

I.1.4.1 Chauffage thermique solaire et refroidissement.....6

I.1.4.2 Énergie éolienne.....7

I.1.4.3 Puissance géothermique et chaleur.....8

I.1.4 Indicateurs d'énergie renouvelable8

I.2 Situation énergétique dans l'Algérie.....9

I.2.1 Production nationale d'énergie.....9

I.2.1.1 Production d'énergie primaire.....9

I.2.1.2 Consommation nationale totale.....10

I.2.2 Energie renouvelable en Algérie.....11

I.2.2.1 Situation passée :11

I.2.2.2 Situation actuelle :11

I.2.2.3 Programme nationale :12

I.3. Etat de l'art.....14

I.3.1 Les travaux réalisés dans le monde :14

I.3.2 Les Travaux Réalisé En Algérie :18

I.3.3 Problématique.....	21
--------------------------	----

Chapitre II : Modélisation

II.1 Modélisations de système.....	23
II.1.1 Modélisation de capteur.....	23
II.1.1.1 Bilan énergétique du capteur.....	23
II.1.1.2 Hypothèses simplificatrices du modèle.....	23
II.1.1.3 Rendement du capteur.....	24
II.1.2 Modélisation de la cuve.....	26
II.1.2.1 Bilan dans la cuve	27
II.1.3 Modélisation de l'échangeur	28
II.1.4 Modélisation de la pompe et du régulateur	29
II.1.5 Modélisation de la charge.....	30
II.1.6 Système auxiliaire	31
II.2 Méthode f-Chart.....	32
II.2.1 Introduction.....	32
II.2.2 Cas des systèmes à circulations des liquides.....	33
II.2.2.1 Cas d'utilisation d'une cuve de de stockage.....	33
II.2.2.2 Cas d'utilisation d'un échangeur De Chaleur.....	34

Chapitre III: Présentation Du Projet Et Dimensionnement Du Système

III.1 Présentation De La Zone D'étude.....	36
III.1.1 Situation géographique.....	36
III.1.2 Potentiel énergétique de la zone d'étude.....	37
III.1.2.1 Variation du rayonnement solaire moyen mensuel	37
III.1.2.2 Variation de la température journalière.....	38
III.1.2.3 Variation de la durée d'insolation journalière.....	38
III.2 Présentation du projet et dimensionnement	39
III.2.1 Présentation du projet.....	39
III.2.2 Dimensionnement de l'installation.....	40

Chapitre IV : Résultat et discussions

IV.1 Présentation du logiciel TRNSYS.....	42
--	-----------

IV.1.1	Création de notre système sur l'interface TRNSYS.....	42
IV.1.2	Caractéristiques des différents éléments, et conditions initiales	43
IV.1.2.1	Le capteur solaire	43
IV.1.2.2	La cuve de stockage	43
IV.1.2.3	La pompe de circulation	44
IV.2	Résultats et discussions	45
IV.2.1	Simulation du système :	45
IV.2.2	Interprétation des résultats.....	45
IV.2.2.1	Evaluation de la température et de la chaleur utile par rapport à la configuration	45
IV.2.2.2	Evaluation de la température et de la chaleur utile en fonction du débit.....	48
IV.2.2.3	Evaluation du rayonnement global et de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison.	48
Chapitre V : économique et environnementale		
V.1	Etude économique du projet.....	54
V.1.1	Calcul du levelized electricity costs (LEC).....	54
V.1.2	Calcul du temps de retour à l'investissement(TRB).....	54
V.1.3	Calcul de l'impact environnemental.....	55
Conclusion générale		57
Références Bibliographiques.....		58
Annexes.....		64

Introduction Générale

En raison d'une demande mondiale d'énergie croissante, notamment dans le domaine du bâtiment, les ressources d'énergies fossiles voire fissiles se réduisent progressivement. Ainsi, les gisements de pétrole brut et de gaz naturel seront pratiquement épuisés à plus ou moins long terme. De plus, la forte utilisation de combustibles fossiles et de bois est la cause de graves dommages environnementaux et d'un réchauffement climatique au niveau mondial. Les conséquences économiques des chocs pétroliers des années 1970 ont attiré l'attention sur ces problèmes et sur les solutions pouvant être apportées. De plus, elles ont lancé, bien que faiblement le développement de la technologie solaire dans de nombreux pays, l'énergie solaire étant une source inépuisable d'approvisionnement en énergie. Ces dernières années, plusieurs pays ont intensifié leurs mesures en faveur de l'utilisation de l'énergie solaire. Ces pays ont notamment institué des taxes environnementales, des programmes de subventions et d'autres incitations en faveur des systèmes liés aux énergies renouvelables.

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateaux à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie qui utilisent des ressources naturelles considérées comme inépuisables : vent, soleil, marées, chutes d'eau, terre, végétaux... Ces énergies ne produisent pas de gaz à effet de serre, de rejets polluants, et n'engendrent pas ou peu de déchets. Ils n'utilisent pas les ressources fossiles de la planète, comme le gaz naturel ou le pétrole. Leur utilisation est le moyen de conjuguer la production d'énergie et le respect de l'environnement.

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables qui a été adopté par le Gouvernement en février 2011 et révisée en mai 2015. L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

Le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22.000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent.

Notre étude comporte essentiellement cinq chapitres, une introduction ainsi qu'une conclusion générale constituent l'ossature de ce travail ; le premier chapitre sera consacré à l'état de l'art et problématique plus la situation énergétique dans l'Algérie et le monde. Puis le chapitre suivant consistera à la modélisation de système de chauffage d'eau solaire. Puis le chapitre suivant sera une Présentation Du Projet Et Dimensionnement Du Système en utilisant la méthode f-Chart sur matlab. Puis le chapitre suivant ont présente les résultats de notre simulation qui a été faite sur TRNSYS, Et le dernier chapitre sera consacré à l'étude économique et environnementale de système



Chapitre 1

L'état de l'art et problématique



I.1 situation énergétique dans le monde

I.1.1 La consommation mondiale d'énergie primaire :

La consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 1,3% en 2019 (contre 2,8% en 2018). Cette hausse de la consommation a concerné « *pour les trois quarts les énergies renouvelables et le gaz naturel* », indique BP. Toutefois, le pétrole reste de loin la principale source d'énergie consommée dans le monde (33,1% de la consommation mondiale d'énergie primaire en 2019), devant le charbon (27%).

Les émissions mondiales de CO₂ liées à la consommation d'énergie ont pour leur part augmenté de 0,5% en 2019 (contre 1,1% par an en moyenne au cours de la dernière décennie). [1]

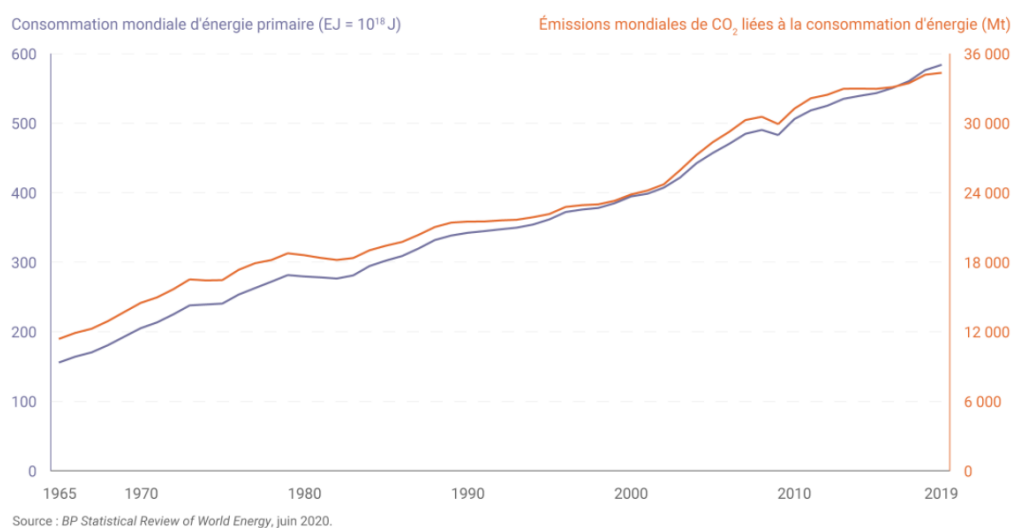


Figure 1.1 : Evaluation de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ [1]

I.1.2 Les énergies fossiles : 84,3% de l'énergie consommée dans le monde

Au total, les énergies fossiles ont encore compté pour 84,3% du mix énergétique mondial en 2019 (contre 84,7% en 2018).

Pour que l'électrification puisse contribuer à la transition énergétique « bas carbone » au niveau mondial, la production électrique doit naturellement être elle-même décarbonée. Or, le charbon est toujours de très loin la principale source d'électricité dans le monde malgré un recul de 2,8% de la production des centrales à charbon l'an dernier : ce combustible a compté pour 36,4% de la production mondiale d'électricité en 2019. [1]

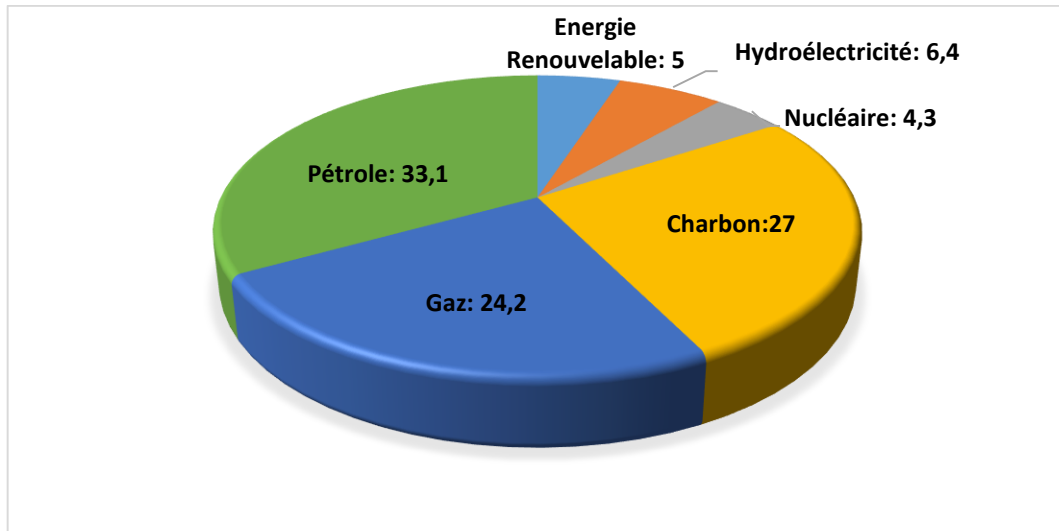


Figure 1.2 : Consommation mondiale d'énergie primaire en 2019 [1]

I.1.3 La consommation d'énergie par grande zone géographique

Les énergies fossiles sont majoritaires dans le mix de toutes les grandes régions du monde mais il apparaît d'importantes différences d'une zone à une autre : pétrole, gaz naturel et charbon comptent par exemple pour 67,4% du mix énergétique de l'Amérique centrale et du Sud (où l'hydroélectricité a compté pour 22,3% de la consommation d'énergie primaire en 2019), 73,6% en Europe, 81,7% en Amérique du Nord et 98,8% au Moyen-Orient.

Signalons entre autres l'importance du charbon dans la zone Asie-Pacifique dont 47,5% de la consommation d'énergie primaire a reposé sur ce combustible en 2019 (contre 13,5% en Europe par exemple). [1]

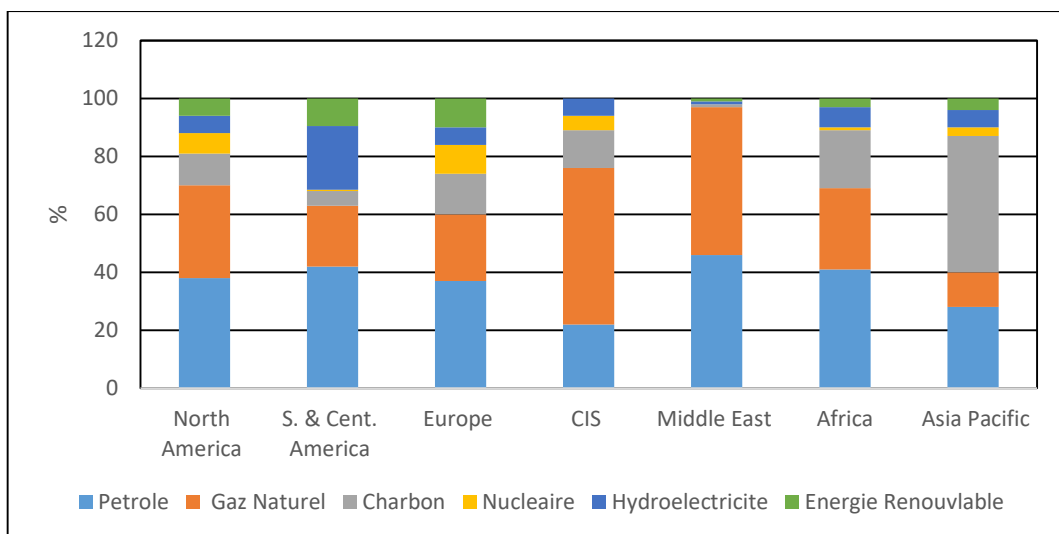


Figure 1.3 : Consommation d'énergie par grande zone géographique [1]

I.1.3 Les chiffres clés du pétrole et du gaz naturel

BP Statistical Review présente désormais des données sur la production et la consommation d'énergies renouvelables, ainsi que sur la production des grandes ressources minérales nécessaires dans le cadre de la transition énergétique. [1]

Tableau 1.1 : Les chiffres clés du pétrole et du gaz naturel en 2019 [1]

	Production mondiale	Consommation mondiale	Reserve mondiale prouvée à la fin 2019	Réserves satisfais au rythme actuel
Pétrole	95.2M barils/jour	101.1M B/J	1733.9 milliards de baril	49.9 ans
Gaz	3989.3 milliards de m ³	3929.2 milliards de m ³	198800 milliards de m ³	49.8 ans

I.1.4 Situation énergie renouvelable dans le monde :

I.1.4.1 Chauffage Thermique Solaire Et Refroidissement

La capacité solaire thermique a atteint 479 gigawatts-thermiques en 2019, la Chine représentant 69% du total. Pour la première fois, la capacité globale cumulée a diminué (1%) par rapport à l'année précédente. Les grands marchés du chauffage et de la climatisation solaire sont restés stable, avec une croissance notable au Brésil, à Chypre, au Danemark, La Grèce, l'Afrique du Sud et la Tunisie équilibrent les baisses en Australie, Autriche, Allemagne, Israël, Italie, Pologne et Suisse. L'année a été brillante pour le chauffage solaire urbain au Danemark et en Chine et l'Allemagne, avec 24 systèmes (totalisant 196 mégawatts thermiques, MWth) nouvellement mis en service. [2]

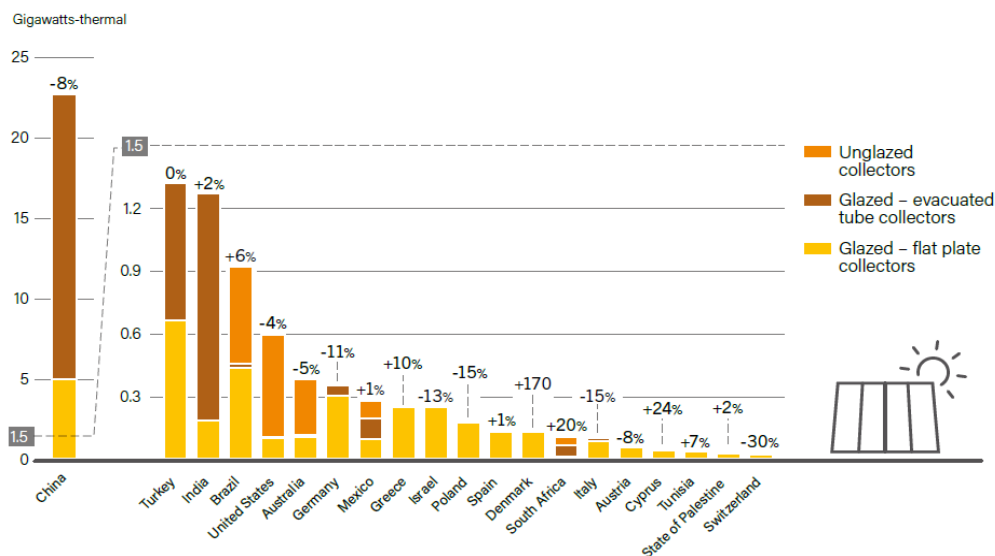


Figure 1.4 : Les 20 pays avec nouvelle installation des chauffe-eau solaire [2]

I.1.4.2 Énergie éolienne

Le marché mondial de l'énergie éolienne a augmenté de 19% en 2019 pour atteindre 60 GW, la deuxième augmentation annuelle la plus importante, pour un total de 650 GW). Cette croissance rapide est due en grande partie à des poussées en Chine et aux États-Unis avant les changements de politique et à une augmentation significative en Europe, malgré le maintien du marché contraction en Allemagne. Les nouveaux parcs éoliens sont pleinement opérationnels au moins 55 pays et à la fin de l'année, au moins 102 pays avaient un certain niveau de capacité d'énergie éolienne commerciale. [2]

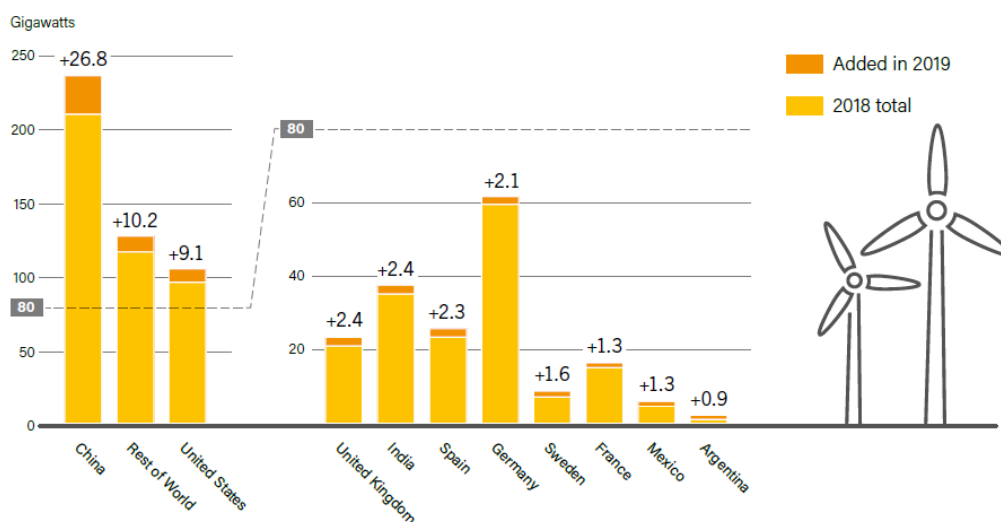


Figure 1.5 : Capacité éolien et nouvelle installation [2]

I.1.4.3 Puissance géothermique et chaleur

La production d'électricité géothermique en 2019 a totalisé environ 95 TWh, alors que la puissance thermique utile directe atteint environ 117 TWh (421 pétajoules). Environ 0,7 GW de nouvelle génération d'énergie géothermique a été mise en service en 2019, portant le total mondial à environ 13,9 GW. Comme en 2018, la Turquie et l'Indonésie sont en tête pour les nouvelles installations, suivies de près par le Kenya ; ensemble les trois pays représentaient les trois quarts des nouvelles installations dans le monde. Autre pays qui ont ajouté de nouvelles installations d'énergie géothermique (ou ajouté capacité des installations existantes) étaient le Costa Rica, le Japon, le Mexique, États-Unis et Allemagne. [2]

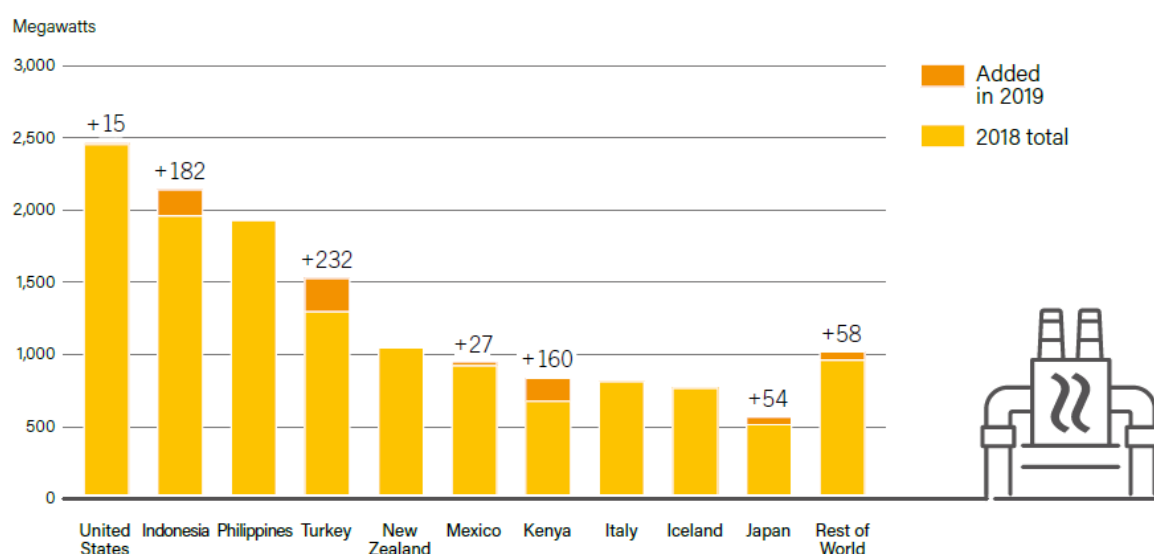


Figure 1.6 Capacité géothermie et nouvelle installation [2]

I.1.4 Indicateurs d'énergie renouvelable :

Les indicateurs d'énergie renouvelable dans le monde en 2019 sont donnés dans le tableau 1.2

Tableau : 1.2 Indicateurs d'énergie renouvelable [2]

		2018	2019
Investissement			
Nouveaux investissements en énergie renouvelable et énergie fossile (annuel)	Milliard USD	296,0	301,7
Hydro-énergie	GW	1,135	1,150
Eolien	GW	591	651
PV-solaire	GW	512	627
Concentration-solaire	GW	5,6	6,2
Bioénergie	GW	131	139
Géothermie	GW	13,2	13,9

Energie des mers	GW	0,5	0,5
Chaleur			
Demande De Bio-Chaleur Moderne (estimer)	EJ	13,9	14,1
Demande eau-chaud solaire (estimer)	EJ	1,4	1,4
Demande Géothermie direct-utilisation (estimer)	EJ	384	421
Transport			
Production éthanol (annuel)	Milliard	111	114
FAME biodiésel Production (Fatty Acid Methyl Esters) (annuel)	Milliard	41	47
HVO biodiésel Production (Huile végétale hydrogénée) (annuel)	Milliard	6,0	6,4

I.2 Situation énergétique en Algérie

I.2.1 Production nationale d'énergie

I.2.1.1 Production d'énergie primaire

La production commerciale d'énergie primaire a connu une baisse de -4,8 par rapport aux réalisations de 2018, pour atteindre 157,4 M Tep, tirée par celle de tous les produits à l'exception de l'électricité.

Ainsi, la production d'électricité primaire est passée de 783 à 835 GWh en 2019, tirée par une hausse (+30%) de la production de la filière hydraulique à la suite d'une pluviométrie favorable en 2019, où la production totale a été de 152 GWh contre 117 GWh en 2018. La structure de la production d'énergie primaire commerciale reste dominée par le gaz naturel à hauteur de 54%. [3]

Tableau 1.3 : Production d'énergie primaire [3]

Produit	Unités	2018	2019	Evolution	
				Quantité	(%)
Gaz naturel	K Tep	92 106	85 380	-6 726	-7,3
	10 ⁶ m ³	97 467	90 349		
Pétrole brut	K Tep	53 592	53 579	-213	-0,4
	K Tonnes	48 588	48 394		
Condensat	K Tep	9 990	9 226	-763	-7,6
	K Tonnes	8 825	8 151		
GPL aux champs	K Tep	9 343	9 186	-157	-1,7
	K Tonnes	7 918	7 785		
Electricité primaire	K Tep	188	192	5	2,4
	GWh	783	835		
Combustibles solides : Bois	K Tep	22	10	-12	-53,5
	10 ³ m ³	113	53		
TOTAL	K Tep	165 241	157 374	-7 867	-4,8

La production d'énergie primaire en pourcentage est donnée dans la figure 1.7 :

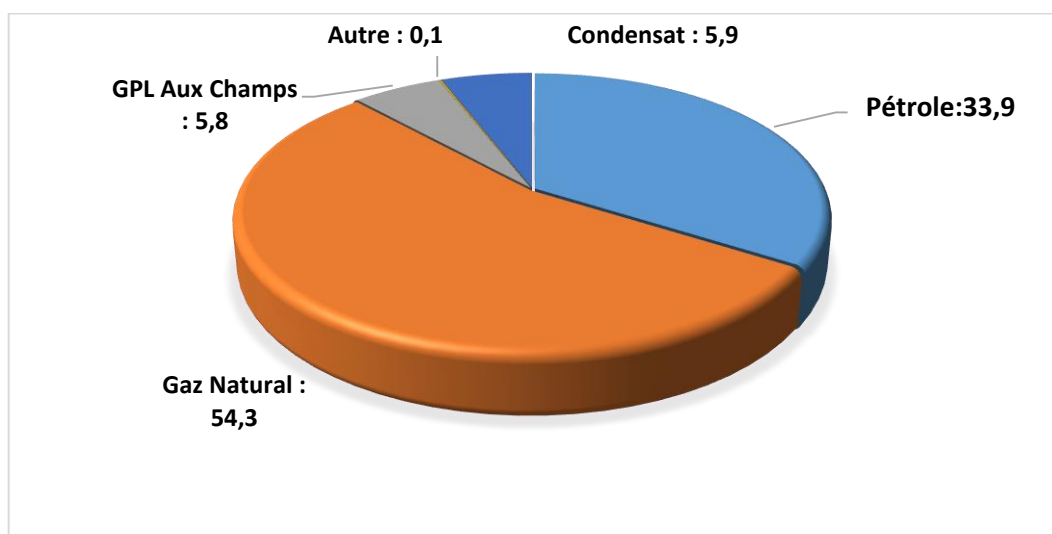


Figure 1.7 : Structure de la production d'énergie primaire [3]

I.3.1.2 Consommation nationale totale

La consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) a atteint 66,9 M Tep en 2019, reflétant une hausse de 3,0% par rapport à 2018, tirée par celle de la consommation finale (+4,6%). A l'inverse, la consommation non énergétique a enregistré une diminution importante de (-10,3%), à la suite de la baisse des enlèvements en gaz naturel de la filière pétrochimique. [3]

Tableau 1.4 : Consommation nationale totale [3]

Unités : K tep	2018	2019	Evolution	
			Quantité	(%)
Consommation finale	48 146	50 359	2 213	4,6
Consommations non-énergétiques	4 999	4 487	-512	-10,3
Consommations des industries énergétiques	7 278	7 395	117	1,6
Pertes	4 540	4 661	121	2,7
Consommation nationale	64 964	66 902	1 939	3,0

La consommation nationale d'énergie totale en pourcentage est donnée dans la figure 1.8 :

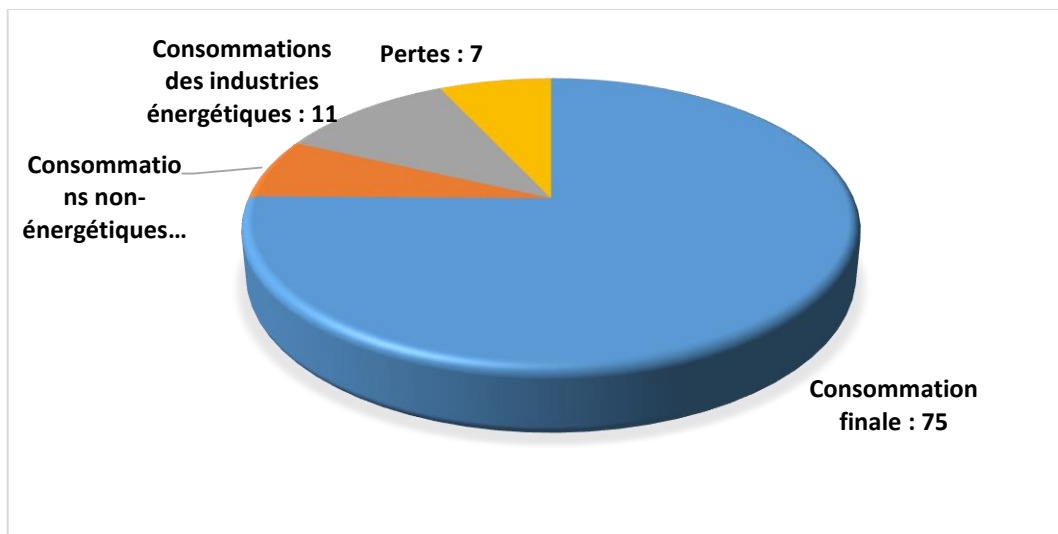


Figure 1.8 : Structure de la consommation nationale d'énergie Total [3]

I.2.2 Energie renouvelable en Algérie

I.2.2.1 Situation passée :

La promotion des énergies renouvelables en Algérie ne date pas d'aujourd'hui, mais elle remonte à l'ère du colonialisme, à titre d'exemple on cite : [4]

- En 1942, un groupe de chercheurs à l'institut national d'agronomie d'El Harrach (Alger) : ont installé un digesteur anaérobie pour la production de biogaz.
- En 1953 l'Algérie était l'une des rares pays qui ont installé une éolienne de 25CV pour irriguer un périmètre agricole à Adrar faite par les services de l'hydraulique.
- En 1954 à Bouzareah, Alger inauguration du plus puissant four solaire au monde

I.2.2.2 Situation actuelle :

- Electrification à l'énergie solaire par Sonelgaz de 18 villages isolés du grand sud de l'Algérie ; répartis sur 4 wilayas du grand Sud, à savoir : Tamanrasset, Adrar, Illizi et Tindouf.
- Inauguration en 2011 de la centrale électrique hybride solaire/gaz de 150MW dont 25MW solaire, située à Hassi-R'mel dans la wilaya de Laghouat.
- Ferme Eolienne d'une capacité de 10.2 MW a ADRAR, mise en service en juin 2014.
- Centrale Pilote Photovoltaïque d'Oued N'Chou a GHERDAIA d'une capacité de 1,1 MWC Mise en service aussi en juin 2014.
- Projet de 343 MWC en centrales photovoltaïques qu'ils ont été réalisés dans différentes 14 villes au total [5]

- Electrification d'Assekrem (Hoggar) par l'énergie photovoltaïque

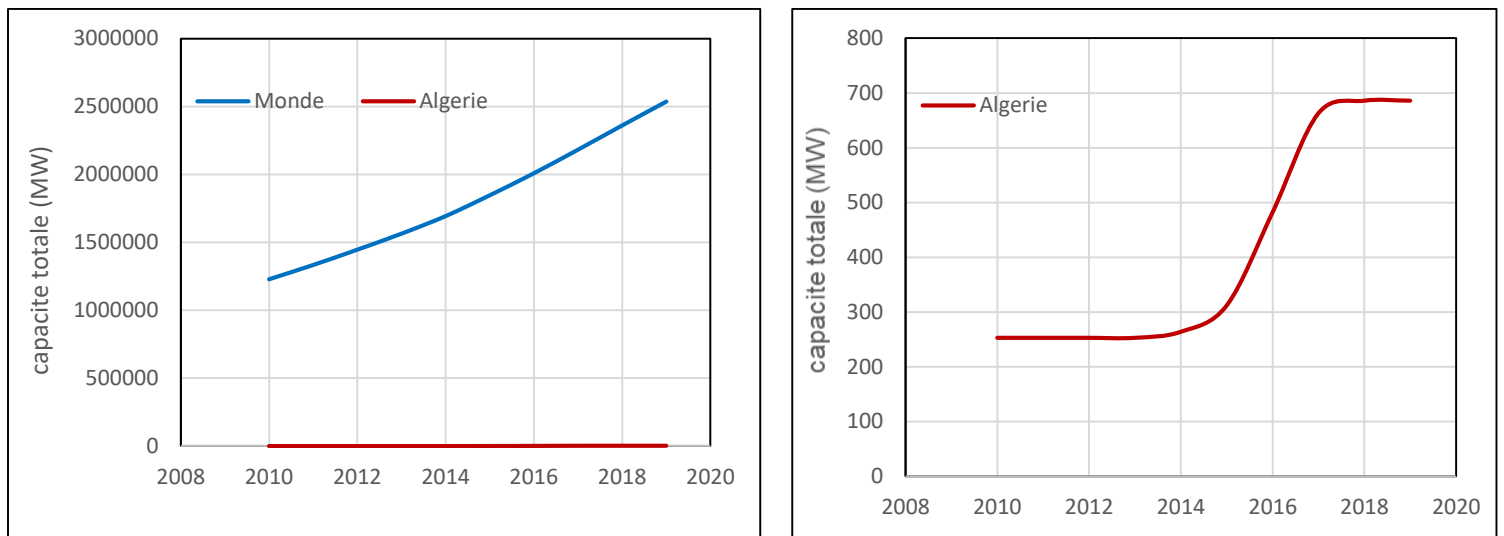


Figure 1.9, 1.10 : Comparaison de la capacité totale des énergies renouvelables [6]

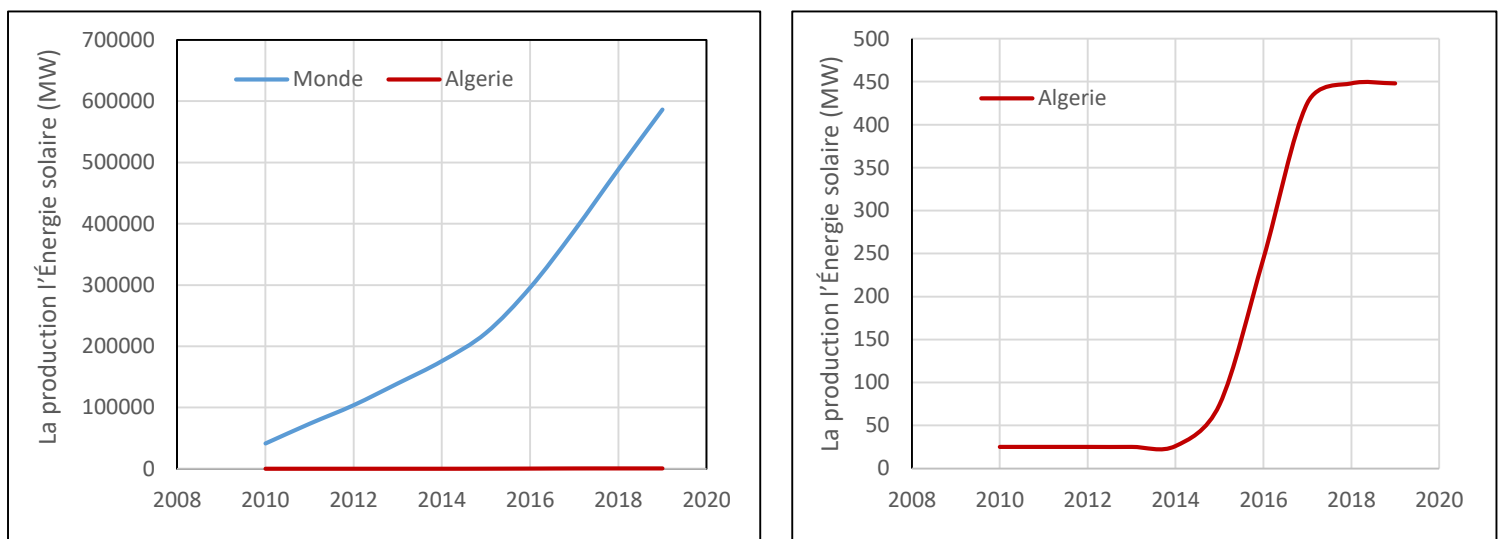


Figure 1.11, 1.12 : Comparaison de La production l'Énergie solaire [6]

I.2.2.3 Programme nationale des énergies renouvelables :

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables qui a été adopté par le Gouvernement en février 2011, révisée en mai 2015 et placée au rang de priorité nationale en février 2016.

L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable. Le programme des énergies renouvelables dans sa version actualisée, consiste à installer une puissance d'origine

Chapitre I : L'état de l'art et problématique

renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent. [7]

Tableau 1.5 : Programme national de l'énergie renouvelable [7]

Unité (MW)	2015-2020	2021-2030	Total
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CPS	0	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermal	05	10	15
Total	4525	17475	22000

Le programme national 2015-2030 est donné dans la figure 1.11 :

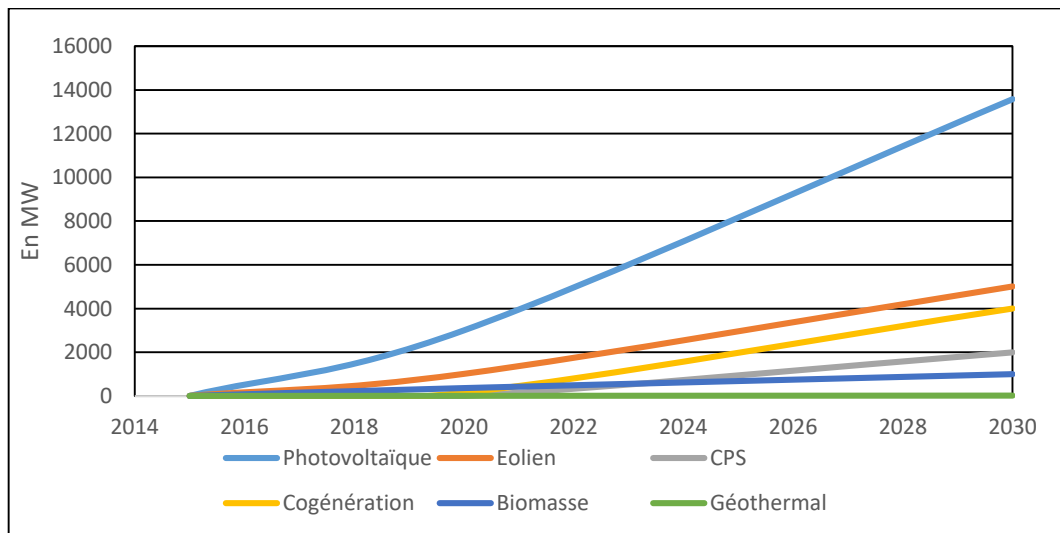


Figure 1.13 : Programme national des énergies renouvelables [7]

I.3. Etat de l'art

I.3.1 Les travaux réalisés dans le monde :

- **En 1983 : Abou-Zaid et al** ont fait une étude économique sur un système de chauffe-eau solaire à Benghazi (Libye) et ils ont observé que leurs résultats étaient extensibles à d'autres régions de la Libye avec de bonnes performances. [8]
- **En 1987 : Lewis.G** a évalué trois méthodes différentes pour l'estimation de la zone optimale des systèmes de chauffage d'eau solaire en Zimbabwe, Les résultats ont indiqué la pertinence d'utiliser les systèmes solaires et de tels système peuvent être très rentable, et de même pour **Hawalder** pour le cas de Singapour. [9]
- **EN 1999 Akinoğlu el al** ont étudié la zone optimale et la capacité de stockage de plusieurs stations en Turquie, les résultats montre un taux de performance les plus élevés et les plus bas couts des capteurs solaires. [10]
- **EN 2003 Cardinale N, et al** ont développé sous TRNSYS un modèle d'un chauffe-eau solaire actif et indirect avec deux pompes de circulation alimentées par un système PV et un collecteur plat à simple vitrage avec absorbant de surface sélectif. Le modèle a été utilisé pour calculer la consommation annuelle du système et la performance énergétique en termes de fraction solaire. [11]
- **En 2004 Kablan.M,** a mené une étude économique entre un chauffe-eau solaire et un système conventionnel à gaz naturel en Jordanie et a suggéré que pour ce cas, le chauffage d'eau solaire sera moins cher avec une augmentation de la durée de vie très importante [12].
- **En 2006 Yohanis YG, et al** ont présenté une analyse des chauffe-eau solaire actifs directs en utilisant trois types de capteurs solaires les résultats montre le nombre de jour par mois ou la température de consigne est atteinte ; les résultats montre aussi l'influence du double vitrage et la couche sélective sur les performances de l'installation. Ce travail montre le choix optimum de l'inclinaison des capteurs ainsi que la taille du volume du réservoir de stockage par apport à la consommation quotidienne d'eau chaude Dans la même année aussi à Hong Kong **Chow .T** et al ont développé une étude numérique sur l'application du potentiel d'un chauffage d'eau solaires actif et indirect centralisé dans un immeuble de grande hauteur où les capteurs solaires thermiques à plaques plates occupaient les deux tiers des façades sud et ouest . [13]
- **En 2006 B. Chaouachi* et S. Gabsi** à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Tunisie Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire à stockage intégré dans des conditions réelles, Le présent travail représente une étude expérimentale d'un chauffe-eau solaire à stockage intégré. Ce chauffe-eau est équipé d'un système de concentration comportant trois branches

- paraboliques favorisant une meilleure absorption du rayonnement solaire.. Les résultats expérimentaux ont montré des performances thermiques acceptables malgré la simplicité du capteur. Enfin, une amélioration peut être facilement apportée que ce soit par le perfectionnement de l'isolation thermique ou l'utilisation des surfaces sélectives de captation. [14]
- **En 2009 Shakir Rahman et all** à l'Université de Dhaka, Bangladesh, un chauffe-eau solaire à plaque plate d'une capacité de 60 litres a été conçu et construit avec des matériaux localement disponibles. Pendant la période de juin à juillet, la température maximale de l'eau obtenue était de 71°C. [15]
 - **En 2009 Kalogirou. S** a rapporté dans une étude du potentiel thermique que l'utilisation des chauffe-eau solaire dans le climat méditerranéen peut répondre à grande partie des demandes internes et a démontré qu'un avenir prometteur pour investir dans ce secteur. [15]
 - De même pour **Hobbi A, et al** qui ont modélisé sous le logiciel TRNSYS, un système de chauffe-eau solaire à circulation forcée avec collecteur à plaque plate pour une habitation unifamiliale dans un climat froid. Le modèle a été utilisé aussi pour optimiser les paramètres de conception du système. [16]
 - **En 2010 Kulkarni G.N et al** ont réalisé une étude d'optimisation de la configuration de chauffe-eau solaire avec un profil de gestion d'une alimentation en eau bien définie. Le système étudié était de type actif et direct avec collecteur à plaques. Les résultats montrent le coût annualisé du système peut être réduit de 13,7%. [17]
 - **En 2011 Ayompe L.M et al** ont présenté un modèle sous TRNSYS pour des chauffe-eau solaire indirects avec plaque plate et collecteurs à tubes sous vide avec circulation forcée, utilisés dans les climats tempérés. Ce modèle peut être utilisé pour prédire les performances à long d'un chauffe-eau solaire dans différents emplacements et de conditions de fonctionnement ainsi qu'optimiser les tailles des chauffe-eau solaire pour correspondre à différents profils de charge. [18]
 - **En 2011 Norlida Buniyamin et all** de l'Université de Technologie MARA Shah Alam, Malaysia, présente les résultats d'une recherche préliminaire pour développer un système à faible coût pour chauffer l'eau grâce à l'énergie solaire. Pour le système le processus de chauffage et de recirculation sont contrôlés automatiquement à l'aide de capteurs, d'actionneurs et d'un contrôleur logique programmable (PLC). Les résultats obtenus indiquent que le système présenté a le potentiel de fournir suffisamment d'eau chaude pour répondre aux besoins de la consommation intérieure. [19]

- **En 2012 Zhang Tao et al** à l'Université de Tianjin de Commerce. Les effets du chauffe-eau solaire à accumulation de chaleur ont été testés séparément. La façon de transformer le traditionnel tube collecteur à l'eau solaire de stockage de chaleur chauffage peut améliorer l'efficacité énergétique et simplifier la structure des chauffe-eau solaires. [20]
- **En 2012 Al-Badi.A.H et al** ont révélé que l'utilisation de chauffe-eau solaire dans toutes les villes d'Oman pourrait économiser d'énormes quantités d'énergie chaque année, ce qui équivaut à l'énergie annuelle produite par une centrale électrique de 212 MW pour cela et ils ont suggéré aussi que le gouvernement devrait offrir des incitations à l'utilisation chauffage d'eau solaire. [21]
- **En 2013 Hazami. M et al** ont montré aussi que l'utilisation des chauffe-eau solaire domestiques en Tunisie était très intéressante et très rentables. [22]
- **En 2014** l'analyse économique **de Nikoofard. S et al** ont révélé que grâce au soutien gouvernemental, que les systèmes de chauffe-eau solaire pourraient devenir une option rentable dans Le Canada et peuvent économise jusqu'à 2% des émissions de GES annuellement. [23]
- **En 2014 Martinopoulos. G et al** ont entrepris une évaluation technico-économique de chauffage des locaux et de l'eau par les systèmes de chauffe-eau solaire. Leurs résultats indiquent une baisse des coûts et des polluantes émissions très intéressantes. [24]
- **En 2015 El Hassan Achouyab et, Bennisser Bahrar** de l'Université Hassan II Casablanca, Maroc, La pertinence de ce travail est la réalisation du chauffe-eau solaire ou le mode est automatiquement effectuée par une cellule nommée XOR, qui n' existent pas dans le chauffe-eau solaire connu. D'autre part , il a l'avantage d'être relativement simple, conçu et fabriqué au Maroc. Le prototype a été testé et donne de bons résultats avec un rendement d'environ 68%. [25]
- **En 2015 Mr. M.V. Kulkarni, Dr. D. S Deshmukh** au Collège D'ingénierie et de Technologie de SSBT bambhori, Dans cet article, une plus grande concentration est donnée sur les facteurs affectant les performances du collecteur de chauffe-eau solaire tels que la différence de température, les collecteurs à tubes sous vide qui ont des pertes thermiques plus faibles que les collecteurs à plaques plates et sont donc moins affectés par les conditions ambiantes. [26]
- **En 2016**, sur la base des résultats d'études technico-économiques de **Abdur-Rehman**, ont introduit les critères de sélection optimaux pour les systèmes chauffe-eau solaire dans 10 villes d'Arabie saoudite et ont souligné l'importance de la minimisation des coûts primaires pour la rentabilité du projet. [27]

- **En 2017 S.D. Gangane et all** à l'Université de S.P.Pune, India l'objectif est de développer un chauffe-eau solaire à un prix abordable et de tester l'efficacité du prototype. Le remplacement du cuivre par de l'aluminium le rendra abordable. L'ensemble flottant aide le système à extraire l'eau chaude du réservoir d'alimentation. L'objectif est de concevoir, fabriquer et tester un prototype de chauffe-eau solaire de type collecteur plat. La température maximale du système qui a été atteint est : 78 ° C. [28]
- **En 2017 Abhishek Gautama et all** de l' Institut de technologie de Tulas, Dehradun, India, ce travail a rapporté les composants de base de SWHS (solar water heating system), et leurs progrès, plus le scénario global de SWHS a été discuté, suivi par les études rapportées sur une analyse technico-économique de SWHS, qui montre que la faisabilité économique est tout aussi importante que la faisabilité technique de sa mise en œuvre. Le travail inclue aussi les études récentes sur l'avancement technique de SWHS et les futures tendances de recherche de SWH Sont été discutés. [29]
- **En 2017 Hao Li et all** au Department of Chemistry, The University of Texas at Austin ont proposé un cadre général de conception SWH à l'aide d'une machine de criblage à haut débit (HTS) basée sur l'apprentissage. Conception de chauffe-eau solaire à tube sous vide eau-dans-verre (WGETSWH) est sélectionnée comme étude de cas pour montrer l'application potentielle du HTS basé sur l'apprentissage automatique à la conception et optimisation des systèmes d'énergie solaire. [30]
- **En 2017 R.L. Shrivastava et all** au Collège d'ingénierie Yeshwantrao Chavan, India, en utilisant le logiciel TRNSYS propose une revue critique de la simulation de chauffe-eau solaire, une analyse comparative des outils de simulation et de leur architecture en perspective sur TRNSYS. Les hypothèses, la modélisation des différents composants, les mérites et les limites de la simulation sont également discuté. [31]
- **En 2018 Aidah M J Mahdi et all** à l'Université, de Baghdâden Iraq . Un système de chauffe-eau solaire à stockage semi-circulaire facile à fabriquer utilisant un système de circulation forcée est proposé. Les résultats pratiques ont montré que des mesures très prometteuses en matière d'efficacité thermique. La température maximale de l'eau atteinte en avril-2018 était de 54 ° C tandis que l'eau entrante était de 21 °. Ces résultats encourageants appellent à repenser l'utilisation des chauffe-eau solaires pour réduire le gaspillage d'électricité. [32]
- **En 2019 Mohd Afzanizam et all** à l'Université Teknikal Melaka en Malaysia, Ce travail a analysé l'utilisation de la méthode du f-chart pour concevoir des systèmes de chauffage

solaire liquide. La fraction annuelle de la charge fournie par l'énergie solaire est de 78,42%. Les résultats montrent aussi que la zone de Ayer Keroh Melaka convient pour l'installation du capteur solaire plat. [33]

- **En 2019 Rashid Panahi et all** de l'Université de Kerman, Iran dans ce travail en présente une étude expérimentale impliquant la conception, la fabrication et le test d'un prototype intégré chauffe-eau solaire à accumulateur (ICS) (SWH) en combinaison avec un concentrateur parabolique composé (CPC). Les résultats ont montré que le miroir a la moyenne la plus élevée efficacité quotidienne (66,7%), suivie de la tôle d'acier (47,6%) et du papier d'aluminium (43,7%). Cette étude régionale illustre comment la sélection d'un concentrateur approprié peut augmenter l'efficacité thermique de ce système solaire. Ce travail montre également comment le gradient de température entre l'air ambiant et l'eau interne du réservoir de stockage peut influencer sur les performances de ces systèmes et comment une quantité contrôlée de prélèvement d'eau chaude peut affecter l'efficacité du système. [34]
- **EN 2019 Tadahmun A. Yassen et all** du Collège d'ingénierie, Université, Tikrīt, Iraq. Un chauffe-eau solaire intégré a été construit et testé expérimentalement à l'extérieur afin d'observer la variation de température de l'eau dans le réservoir de stockage. Les valeurs d'efficacité thermique quotidienne du capteur solaire étaient de 59%, 65% et 67%, respectivement. Les résultats démontrent qu'une importante perte thermique du système a été observée pendant les heures de nuit. De plus, le présent chauffe-eau solaire intégré est un succès pour fournir de l'eau chaude adaptée à l'utilisation pendant les saisons d'hiver et de printemps en l'Irak. [35]
- **En 2020 P.N. Nirmala et all** du Département de Physiques, Sri Meenakshi Govt Collège des arts, ont présenté une étude comparative sur les performances de simple vitrage et double vitrage des chauffe-eau solaires plat et étudiés expérimentalement à différents débits massiques. L'efficacité thermique est plus élevée pour le double par rapport à une seule plaque de verre. [36]

I.3.2 Les travaux réalisés en algérie :

- **En 2000 S. Sami et all** à CDER présente un travail dont l'objet consiste à élaborer un modèle mathématique pour la détermination des surfaces optimales des installations solaires de chauffage d'eau collectif. Le modèle a permis de voir l'influence du prix de l'énergie conventionnelle sur les surfaces optimales des différents sites algériens. [37]
- **En 2001 D. Lafri et all** à CDER a étudié le comportement thermique d'une cuve de stockage dans une installation de chauffage solaire collectif. Par établi un modèle numérique

- qui décrit tous les modes de transferts thermiques impliqués. Les résultats théoriques obtenus du modèle sont comparés aux résultats expérimentaux. Cette confrontation a montré les limites du modèle théorique proposé. [38]
- **En 2003 S.Sami-Mecheri et all** présente un travail qui consiste à élaborer un modèle mathématique pour la détermination des surfaces optimales des installations solaires de chauffage d'eau collectif en tenant compte, non seulement des coûts des différents composants et du prix de l'énergie conventionnelle consommée par le système d'appoint, mais aussi des performances thermiques de l'installation à partir de la méthode F-Chart. Le modèle a permis de voir l'influence du coût de capteur et du prix de l'énergie conventionnelle sur les surfaces optimales des différents sites Algériens. [39]
 - **En 2008 F. Yettou et all** de l'unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa ont étudié et réalisé un banc d'essai pour un chauffe-eau solaire à circulation forcée dans la région des Hauts Plateaux,. Des résultats obtenus sur des tests expérimentaux du système de chauffage de l'eau par énergie solaire ont donné de bons résultats [40]
 - **En 2008 S.A. Hakem et all** du CDER Bouzaréah son étude porte sur une modélisation et un test du chauffe-eau solaire, un banc expérimental pour le test a été mis en place les résultats ont montré une nette influence du rayonnement sur la variation de la température. [41]
 - **En 2011 F. Sahnoune et all** à CDER Bouzaréah, ont étudié les performances thermiques des chauffe-eau solaires à travers une étude comparative entre deux sites algériens, en l'occurrence Alger et Adrar. Le dimensionnement des installations se fait par le logiciel Solo, développé par le CSTB. Les résultats ont donné une bonne satisfaction. [42]
 - **En 2013 à Batna M. AKSAS et al** ont mené une étude économique d'un chauffe-eau solaire pour un centre hospitalier en utilisant Logiciel RETScreen. Leurs résultats ont prouvé que en cas de déploiement de chauffage d'eau solaire, 1427,1 MWh d'énergie a été produit annuellement, ce qui a conduit à 905,84 tonnes / an de réduction des émissions de CO₂ ils ont constaté aussi que le plus grand obstacle est le prix plus élevé des installations par rapport au prix bas du carburant qui exigeait du gouvernement subventions pour ces projets. [43]
 - **En 2016 Sellami. R et al** ont étudié le potentiel du marché et les perspectives de développement de chauffe-eau solaire en Algérie. Leurs résultats ont révélé qu'aucun développement ne se produisait sur cette technologie, et ils ont les coûts initiaux élevés de chauffe-eau solaire comme les raisons. En outre, ils ont recommandé la production nationale de chauffage d'eau solaire selon les capacités industrielles de L'Algérie afin de voir la

- croissance rapide et développement de chauffe-eau solaire. Enfin, ils ont exprimé que le développement des chauffe-eau solaire serait impossible sans une industrie nationale pour les fabriquer, car les coûts d'importation sont si élevés par rapport au niveau de vie des citoyens. [44]
- **En 2016 Missoum, M et al** ont étudié les performances d'un chauffe-eau solaire pour une maison unifamiliale au climat algérien utilisant le logiciel TRNSYS. Ils ont étudié deux modèles de réservoirs de stockage, à savoir systèmes de stockage entièrement mélangés et un autre stratifiés. Les résultats ont indiqué que l'énergie solaire -l'énergie représentait 88% et 96% de l'énergie totale fournie du système, y compris les réservoirs. [45]
 - **En 2018 Sami, S. et al** ont étudié l'intégration de chauffe-eau solaire dans un immeuble résidentiel à haute performance énergétique en Algérie. Leurs lieux étudiés étaient des maisons dans quatre climats différents en Algérie. Les résultats suggèrent qu'une réduction de la consommation d'énergie de 46% et 57% a été observée pour les régions du nord et du sud respectivement, ce qui a entraîné une réduction des coûts totaux de 51% et 69%. [46]
 - **En 2018 A. Harmim et al** à CDER, ont réalisé et expérimenté un nouveau chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur doté d'un concentrateur en forme de branche parabolique linéaire. Le dispositif a été conçu pour permettre son intégration au mur de l'habitation en milieu saharien algérien et ainsi répondre aux besoins des ménages en matière d'eau chaude sanitaire en période hivernale uniquement, L'étude expérimentale a montré aussi que le système est robuste et efficace. [47]
 - **EN 2018 S. Sami et al** à CDER, ont étudié la viabilité économique de l'intégration des systèmes de chauffage solaire de l'eau (SWH) dans des logements à hauts performances énergétiques (HEP) en Algérie. Les études de cas sont des maisons situées dans quatre endroits différents chacun représentant une zone climatique algérienne distincte. Les résultats ont révélé des valeurs élevées très prometteuses de la fraction solaire dans presque toutes les régions étudiées et qu'une politique de financement adéquate permettra d'établir un bon équilibre entre les performances du système et la conception du système, ce qui se traduit par une compétitivité de l'énergie solaire par rapport à l'énergie conventionnelle. [48]
 - **EN 2019 Touhami BAKI et al de l' USTO à Oran-** étudié les performances d'un chauffe-eau solaire individuel à circulation forcée pour les besoins d'une famille moyenne installée sous le climat d'Oran, cette approche est basée sur le bilan énergétique des entrées et de sorties au niveau du ballon, les résultats montrent que la couverture solaire peut passer de 7 % au mois de janvier pour un panneau à 57% au mois de juillet pour deux panneaux. [49]

- **En 2019 Djedid Taloub et all** à l'Université Mohamed Boudiaf of M'sila, Algérie Le ont montré l'effet des paramètres externes : albédo et vitesse du vent sur les performances d'un capteur solaire plan incliné. La méthode utilisée consiste à couper le collecteur en parties fictives (05 mailles). Il est pratique pour cela d'utiliser les analogies qui existent entre le transfert de chaleur et d'électricité, les résultats obtenus sont encourageants. [50]

- **EN 2020 Oussama Touabaa et all** del' Ecole Nationale Polytechnique d'Alger ont montré dans ce travail un nouveau système de chauffe-eau solaire. Son collecteur plat utilise de l'huile de moteur usagée comme absorbeur et fluide caloporteur en même temps. Les différents tests expérimentaux réalisés dans les conditions climatiques réelles à Tipaza ont montré que ce système est efficace ; il peut répondre aux besoins en eau chaude des ménages en période hivernale. En effet, les résultats ont été très satisfaisants puisque le système atteint une température de chauffage acceptable, 50 °, en moins de trois heures ; avec efficacité de chauffage convergence moyenne du taux de 65% tandis que son efficacité maximale atteint 80%. De plus, le système peut fonctionner avec l'électricité domestique comme source auxiliaire en cas d'absence du soleil (conditions climatiques, ciel nuageux ou nuit) avec un dispositif de contrôle automatique. [51]

I.3.3 Problématique

Les performances journalières d'une installation solaire de chauffage d'eau collective dépendent principalement des paramètres météorologiques, des constituants du système et des différentes configurations pour l'implantation des capteurs solaires.

Le grand problème de l'énergie solaire est l'indisponibilité du soleil en permanence et l'irrégularité de cette énergie qui nous obligeons d'utiliser l'énergie conventionnelle (système d'appoint) qui permettra de compléter l'énergie nécessaire pour atteindre la température de consigne. Notre travail consiste à répondre aux besoins journaliers d'une habitation situé à Draria avec une intégration d'un système de chauffage solaire optimum en termes de configuration et de couts.



Chapitre 2

Modélisation



II.1 Modélisations de système

II.1.1 Modélisation de capteur

II.1.1.1 Bilan énergétique du capteur

Le schéma représentatif de system est donné dans la figure 2.1 :

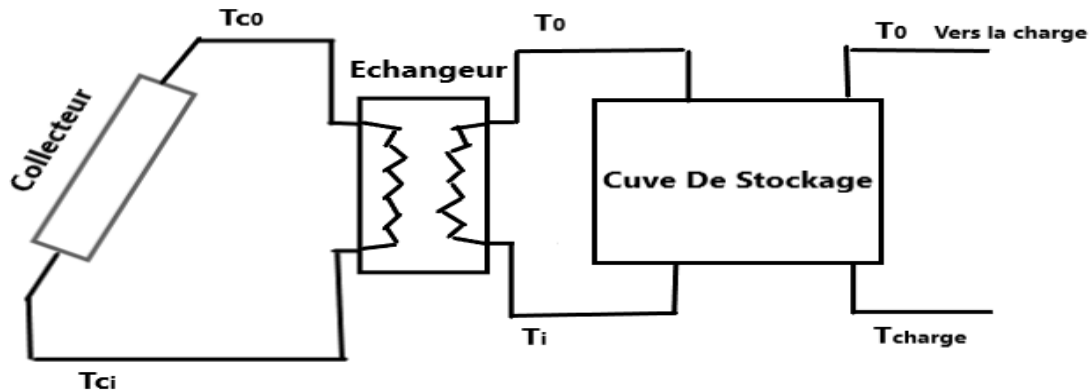


Figure 2.1 : Schéma chauffe-eau solaire [52]

Soit Q_{sa} l'énergie solaire absorbée par un capteur, une partie de celle-ci est récupérée par le fluide caloporteur c'est l'énergie utile Q_u . Un capteur solaire est aussi sujet à des pertes thermiques. Une partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes seront notées Q_p .

Si on s'intéresse à une période de mise en température du système (au démarrage) il faudra tenir compte de l'énergie absorbée par le capteur nécessaire à cette montée en température. Cette énergie notée Q_{st} , dépend de l'inertie thermique de l'installation. Ainsi le bilan thermique global s'écrit : [53]

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p + Q_{st} \quad (2.1)$$

II.1.1.2 Hypothèses simplificatrices du modèle

Pour simplifier notre étude, un certain nombre d'hypothèses ont été considérées [53] :

1. La surface du capteur est uniformément éclairée ;
2. Le ciel est considéré comme un corps noir à la température T_{ciel} ;
3. Chacun des éléments du capteur soit à une température homogène ;
4. Régime permanent ;

5. Capteur à inertie thermique négligeable (faibles masse des composants et chaleurs spécifiques) ;
6. La température de l'air environnant est homogène, par conséquent on considère que les pertes thermiques vers l'avant et l'arrière se font vers la même température ambiante,
7. L'effet de dépôt de la poussière et les masques sur le capteur sont négligeables,
8. Ecoulement de chaleur unidimensionnel ;

Les hypothèses 4 et 5 font que le flux stocké dans le capteur est négligeable,

$Q_{st} = 0$, et donc l'équation du bilan devient :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p \quad (2.2)$$

Sachant que, l'énergie solaire absorbée par l'absorbeur Q_{sa} vaut :

$$Q_{sa} = \tau_c \alpha_p G_t \quad (2.3)$$

Avec,

τ_c : Facteur de transmission de la couverture transparente,

α_p : Facteur d'absorption de la plaque absorbante,

G_t : L'éclairement global incident sur le capteur

II.1.1.3 Rendement du capteur

Le rendement instantané d'un capteur plan est défini comme étant le rapport entre le flux utile récupéré, sur l'éclairement solaire global incident sur le capteur tel que : [52]

$$\eta = \frac{\int \dot{Q}_u dt}{Ac \int G_t dt} \quad (2.4)$$

Si les conditions sont constantes sur une période de temps, l'efficacité diminue à : [52]

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_c * G_t} \quad (2.5)$$

Où

G_t : L'éclairement solaire global incident sur le capteur

Et A_c : Surface d'échange des collecteurs

L'énergie utile récupérée par un capteur solaire, par unité de temps, s'écrit [52]

$$\dot{Q}_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (2.6)$$

Avec

U_L : Coefficient global de pertes thermiques des collecteurs

A_c : Surface d'échange des collecteurs

T_a : Température ambiante

T_{pm} : Température de la plaque absorbante

S : L'irradiation solaire absorbé par un capteur par unité de surface d'absorbeur

Cette équation est corrigée avec [52]

$$\dot{Q}_u = A_c FR [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (2.7)$$

La quantité FR équivaut à l'efficacité, qui est définie comme le rapport du transfert thermique réel au transfert thermique maximal possible. Le facteur d'évacuation de la chaleur du capteur multiplié par le maximum possible gain d'énergie utile est égal au gain d'énergie utile réel Q_u

On a [52]

$$\dot{Q}_u = A_c FR [S - U_L (T_i - T_a)]^+ \quad (2.8)$$

Où le signe + implique la présence d'un contrôleur et que seules les valeurs positives du terme entre parenthèses doivent être utilisées. Le taux de gain utile est également donné par [52]

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i)$$

Où \dot{m} est le débit du fluide de circulation de la pompe à travers le collecteur. Si l'unité de stockage est une unité de chaleur sensible entièrement mélangée.

On peut aussi écrire [52]

$$\dot{Q}_u = A_c F R [G_i (\tau \alpha)_n - U_L (T_{ci} - T_a)]^+ \quad (2.9)$$

II.1.2 Modélisation de la cuve

Le schéma représentatif de la cuve de stockage est donné dans la figure 2.2

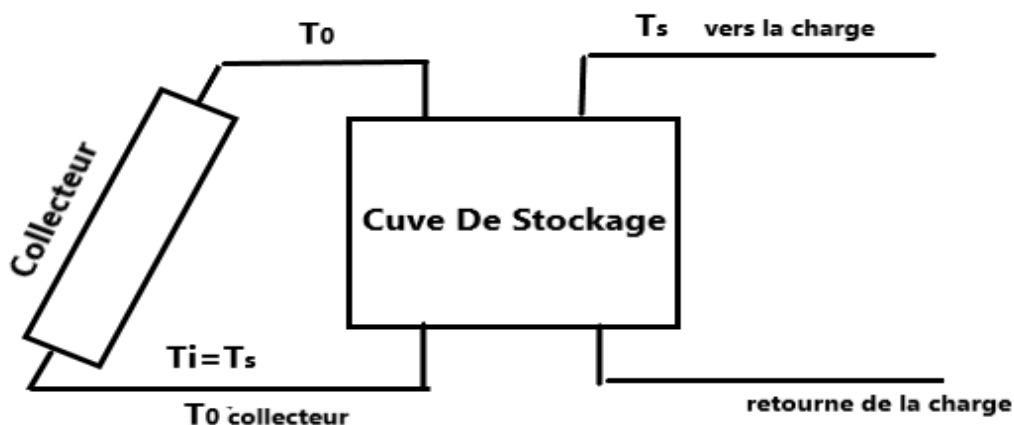


Figure 2.2 : Schéma de la cuve [52]

Le choix du support de stockage dépend de la nature du processus. Pour le chauffage de l'eau, le stockage d'énergie sous forme de chaleur sensible de l'eau stockée est logique

Les principales caractéristiques d'un système de stockage d'énergie thermique sont : [52]

- 1- Sa capacité par unité de volume.
- 2- La plage de températures sur laquelle il fonctionne, c'est-à-dire la température à laquelle la chaleur est ajoutée et évacuée du système.

3- Les moyens d'ajout ou d'évacuation de chaleur et les différences de température qui y sont associées.

4- Stratification de la température dans l'unité de stockage.

5- Les besoins en énergie pour l'ajout ou l'élimination de chaleur.

6 - Les conteneurs, réservoirs ou autres éléments structurels associés au système de stockage.

7- Les moyens de contrôler les pertes thermiques du système de stockage.

8- Son coût.

II.1.2.1 Bilan dans la cuve :

La capacité de stockage d'énergie de l'eau est comme suit : [52]

$$Q_s = (mC_p)_s \Delta T_s \quad (2.10)$$

Q_s : Est la capacité thermique totale

m : Masse d'eau

Le bilan global dans la cuve de stockage est donné par [52]

$$(mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_u - \dot{L}_s - (UA)_s (T_s - T'a) \quad (2.11)$$

$T'a$: température ambiante dans la cuve

Q_u et \dot{L}_s sont des taux d'addition ou de retrait d'énergie du collecteur vers la charge.

Cette équation est intégrée dans le temps pour déterminer la performance à long terme de l'unité de stockage et du procédé solaire. En utilisant l'intégration simple d'Euler : [52]

$$T_s^+ = T_s + \frac{\Delta t}{(mC_p)_s} [Q_u - \dot{L}_s - (UA)_s (T_s - T'a)] \quad (2.12)$$

Ainsi, la température au bout d'une heure est calculée à partir de celle du début, en supposant que Q_u , \dot{L}_s et les pertes du réservoir ne changent pas au cours de l'heure.

II.1.3 Modélisation de l'échangeur :

Le bilan énergétique de l'échangeur est donné par : [54]

$$Q_{Hx} = \varepsilon (\dot{m}C_p)_{\min}(T_{c0} - T_i) \quad (2.13)$$

Avec

$(\dot{m}C_p)_{\min}$: Le plus petit des taux de capacité du fluide des côtés du collecteur et du réservoir de l'échangeur de chaleur

T_{c0} : température d'entrée du flux chaud (boucle de collecteur)

T_i : température d'entrée du flux froid (stockage).

L'efficacité, ε , est le rapport entre la chaleur effectivement transférée et la chaleur maximale qui pourrait être transférée pour un débit donné et des conditions de température d'entrée du fluide. L'efficacité d'un échangeur de chaleur à contre-courant est donnée par ce qui suit : [54]

Si $C \neq 1$

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU(1-C)}}{1 - C * e^{-NTU(1-C)}} \quad (2.14)$$

Si $C = 1$

$$\varepsilon = \frac{NTU}{1 - NTU} \quad (2.15)$$

Avec

$$NTU : \text{nombre de transfert unité, } NTU = \frac{UA}{(\dot{m}C_p)_{\min}} \quad (2.16)$$

$$\text{Et } C : \text{nombre adimensionnelle de taux de capacité, } C = \frac{(\dot{m}C_p)_{\min}}{(\dot{m}C_p)_{\max}} \quad (2.17)$$

D'où un facteur d'évacuation de la chaleur du capteur FR est corrigé qui tient compte de la présence de l'échangeur de chaleur est donné par : [54]

$$\frac{FR'}{FR} = \left[1 - \left(\frac{AC*FR*UL}{(\dot{m}cp)_c} \right) \left(\frac{(\dot{m}cp)_c}{(\dot{m}cp)_{min}} \right) - 1 \right]^{-1} \quad (2.18)$$

En fait, le facteur $\frac{FR'}{FR}$ est la conséquence, sur les performances du collecteur, qui se produit parce que l'échangeur de chaleur fait fonctionner le côté collecteur du système à une température plus élevée qu'un système similaire sans échangeur de chaleur. Cela peut également être considéré comme l'augmentation de la surface du collecteur nécessaire pour avoir les mêmes performances qu'un système sans échangeur de chaleur.

II.1.4 Modélisation du la pompe et du régulateur :

. Les matériaux de construction des pompes du système solaire dépendent de l'application particulière et du fluide utilisé dans le circuit. Les pompes doivent également être sélectionnées pour pouvoir fonctionner à la température de fonctionnement du système. [53]

Deux types de schémas de contrôle sont couramment utilisés sur les capteurs solaires dans les applications : marche-arrêt et différentiel. Les deux stratégies présentent des avantages et des inconvénients, qui dépendent en grande partie de l'utilisation finale de l'énergie collectée.

Le schéma de contrôle le plus courant nécessite deux capteurs de température, un dans le bas de l'unité de stockage et un sur la plaque absorbante à la sortie d'un collecteur (ou sur le tuyau près de la plaque).

Lorsque la pompe est en marche et que la différence de température mesurée tombe en dessous d'une spécifiée quantité ΔT_{off} , le contrôleur arrête la pompe. Des précautions doivent être prises lors du choix de ΔT_{on} et de ΔT_{off} pour éviter que le cycle de la pompe ne soit activé et désactivé. [54]

Lorsque la pompe collectrice est éteinte, le débit utile est nul et la plaque absorbante atteint une température d'équilibre donnée par [54]:

$$[S - U_L(T_p - T_a)] = 0 \quad (2.19)$$

La valeur de S quand $T_p = T_i + \Delta T_{on}$

$$S_{on} = U_L(T_i + \Delta T_{on} - T_a) \quad (2.20)$$

Lorsque la pompe se met en marche, le gain utile est

$$Q_u = AcFR[S_{on} - U_L(T_i - T_a)] \quad (2.21)$$

En remplaçant

$$Q_u = AcFR \Delta T_{on} \quad \text{avec} \quad Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i)$$

Où $T_o - T_i$ est mesuré par le contrôleur après le début du débit. Par conséquent, le désactivation critère de doit satisfaire l'inégalité suivante ou le système sera instable. (Deux formes de l'équation sont présentées. Utilisez la première pour les systèmes sans échangeur de chaleur et la seconde pour les systèmes avec un échangeur de chaleur à collecteur.)

$$\Delta T_{off} \leq \frac{AcFRUL}{\dot{m}c_p} \Delta T_{on} \quad \text{or} \quad \Delta T_{off} \leq \frac{AcFRUL}{\varepsilon(\dot{m}c_p)_{min}} \Delta T_{on}$$

II.1.5 Modélisation du la charge :

Les charges à satisfaire par les systèmes de chauffage de l'eau peuvent être considérées comme comprenant trois parties.

Premièrement, les besoins en chaleur sensible de l'eau doivent être satisfaits. Si de l'eau s'écoulant à un débit de \dot{m} doit être chauffée d'une température de départ T_s à une température de arrive T_d , le taux d'ajout de chaleur sensible sera : [54]

$$\dot{L}_w = \dot{m}C_p (T_d - T_s) \quad (2.22)$$

Deuxièmement, les pertes du système de distribution doivent être couvertes. Ceux-ci peuvent être estimés par des méthodes conventionnelles. Si la recirculation continue est utilisée (comme dans les grands bâtiments où l'eau chaude « instantanée » est requise à des endroits éloignés du chauffe-eau), les pertes de la tuyauterie peuvent être de la même ampleur que les besoins en chaleur sensible.

Troisièmement, les pertes des réservoirs de stockage peuvent être importantes. Le taux de pertes du réservoir \dot{L}_t est estimé à partir du coefficient de perte du réservoir – produit de la surface $(UA)_t$ et de la différence de température entre l'eau du réservoir et la température ambiante autour du réservoir :

$$\dot{L}_t = (UA)_t (T_t - T_a) \quad (2.23)$$

Cependant, l'estimation du coefficient de perte en fonction de l'épaisseur et de la conductivité thermique de l'isolant conduira à une sous-estimation des pertes du réservoir si les effets des supports, la tuyauterie et les autres fuites de chaleur sont ignorées. Les valeurs mesurées des coefficients de perte du réservoir sont souvent deux à quatre fois celles calculées à partir de l'épaisseur et de la conductivité de l'isolant. Dans le cas des chauffe-eau situés dans des bâtiments chauffés, les pertes des réservoirs d'eau chaude sont des gains de chaleur incontrôlés pour le bâtiment. [52]

II.1.6 Système auxiliaire :

Le degré de fiabilité souhaité d'un procédé solaire pour répondre à une charge particulière peut être fourni par une combinaison de capteurs et d'unités de stockage correctement dimensionnés et d'une énergie auxiliaire. Si de l'eau chauffée solaire à basse température doit être utilisée, il est nécessaire que l'eau chauffée auxiliaire est considérablement au-dessus de la température de consigne, une potentiellement dangereuse [54]

L'énergie du système d'appoint est donnée par l'expression suivante : [54]

$$Q_{aux} = (1-F).L \quad (2.24)$$

F : Représente la fraction de satisfaction mensuelle des besoins énergétiques grâce à l'apport solaire et L représente les besoins journaliers en eau chaude.

II.2 Méthode f-Chart

II.2.1 Introduction

La méthode F-chart est développée par Klein et al. (1976, 1977) et Beckmann et al. (1977). Les résultats de nombreuses expériences numériques sont corrélés en termes de variables sans dimension facilement calculées. La méthode du diagramme en F est utilisée pour estimer la performance thermique annuelle des systèmes de chauffage actif pour les bâtiments (utilisant soit du liquide soit de l'air comme fluide de travail) où la température minimale de fourniture d'énergie est proche de 20 C.

Cette méthode permet d'estimer la fraction de la charge totale de chauffage qui sera fournie par l'énergie solaire pour un système de chauffage solaire donné.

Cette méthode utilise les deux paramètres X et Y adimensionnels suivants : [52]

$$\text{Ou :} \quad X = \frac{\text{(Perte d'énergie du capteur pendant un mois)}}{\text{(Charge totale de chauffage pendant un mois)}} \quad (2.25)$$

$$Y = \frac{\text{(Énergie totale absorbée sur la plaque collectrice pendant un mois)}}{\text{(charge de chauffage totale pendant un mois)}} \quad (2.26)$$

Avec

$$X = \frac{AcFR'UL(T_{ref} - \bar{T}_a)\Delta t}{L} \quad 2.27 \quad \text{et} \quad Y = \frac{AcFR'(\tau\alpha)\bar{H}_t * N}{L} \quad (2.27)$$

Où :

Ac : Surface d'échange des collecteurs

FR' : Facteur modifié d'évacuation de la chaleur du capteur solaire

\bar{H}_t : Moyenne mensuelle du rayonnement solaire incident quotidien dans le plan des capteurs,

\bar{T}_a : Moyenne mensuelle de la température ambiante

T_{ref} : Valeur empirique de référence

L : Charge de chauffage totale mensuelle

N : Nombre de jours dans le mois considéré

U_L : Coefficient global des pertes thermiques des collecteurs

$(\bar{\tau\alpha})$: Moyenne mensuelle du produit de la transmissivité et de l'absorptivité du capteur

Δt : Nombre de seconds par mois

La fraction de la charge totale de chauffage fournie :

$$F = \frac{\sum f_i * L_i}{\sum L_i} \quad (2.28)$$

Avec :

f_i : Charge totale de chauffage a fournie par l'énergie solaire dans un mois

L_i : Charge de chauffage totale mensuelle,

$\sum l_i$: Charge annule

II.2.2 Cas des systèmes à circulations des liquides

La fraction f de la charge totale mensuelle fournie par le système solaire de chauffage des locaux et de l'eau est donnée en fonction de X et Y [54]

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (2.29)$$

II.2.2.1 Cas d'utilisation d'une cuve de de stockage

Les performances annuelles du système sont relativement insensibles à la capacité de stockage tant que la capacité est supérieure à environ 50 litres d'eau par mètre carré de collecteur. Lorsque l'on considère les coûts de stockage, il existe de larges optimums de l'ordre de 50 à 200 litres d'eau par mètre carré de collecteur. Le f -chart a été développé pour une capacité de stockage standard de 75 litres d'eau stockée par mètre carré de surface de collecteur. La performance des systèmes avec des capacités de stockage comprises entre 37,5 et 300 litres / m² peut être déterminée en multipliant le groupe sans dimension X par un facteur de correction de taille de stockage X_c/X [54]

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{(\text{volume du réservoir actuel})}{(\text{volume du réservoir de référence})} \right)^{-0.25} \quad (2.31)$$

$$\text{Avec} \quad 0.5 \leq \frac{Xc}{X} \leq 4 \quad (2.32)$$

II.2.2.2 Cas d'utilisation d'un échangeur De Chaleur

La taille de l'échangeur de chaleur affecte fortement les performances du système d'énergie solaire. En effet, le taux de transfert de chaleur à travers l'échangeur de chaleur de charge influence directement la température du réservoir de stockage, ce qui affecte par conséquent la température d'entrée du capteur. Pour tenir compte de la taille de l'échangeur de chaleur de charge, un nouveau paramètre sans dimension est spécifié, Z, donné par): [53]

$$Z = \frac{\varepsilon_L * (\dot{m}c_p)_{\min}}{(U \cdot A)_L} \quad (2.33)$$

$(\dot{m}c_p)_{\min}$: Débit capacitif minimum de l'échangeur

$(U \cdot A)_L$: Coefficient d'échange global de l'échangeur

ε_L : Efficacité de l'échangeur

Les performances du système dépendent asymptotiquement de la valeur de Z; et pour $Z > 10$, les performances sont essentiellement les mêmes que pour une valeur infiniment grande de Z. Les performances des systèmes ayant d'autres valeurs de Z peuvent être estimées en multipliant le paramètre sans dimension Y par le facteur de correction suivant :

$$\frac{Yc}{Y} = 0.39 + 0.65 \exp\left(\frac{-0.139}{Z}\right) \quad \text{Avec } 0.5 \leq Z \leq 50. \quad (2.34)$$

X : valeur adimensionnelle de la méthode f-chart

Xc : valeur adimensionnelle corrigée de la méthode f-chart

Y : valeur adimensionnelle de la méthode f-chart

Yc : valeur adimensionnelle corrigée de la méthode f-chart

Z : valeur adimensionnelle de la méthode f-chart



Chapitre 3 :
Présentation du projet et
dimensionnement du système



III.1 Présentation de la zone d'étude :

III.1.1 Situation géographique

L'Algérie couvre une superficie de 2.381.741 km. Située au Nord-Ouest du continent africain, l'Algérie s'ouvre sur 1.200 Km de côte sur la Méditerranée. L'Atlas saharien divise le pays en deux zones bien distinctes : le Nord, la région méditerranéenne qui accueille la quasi-totalité de la population, et le Sud qui comprend le Sahara et qui constitue 85% du territoire tout entier. La population algérienne est estimée à 44 487 616 millions d'habitants. La capitale, Alger compte plus de 3.9 millions d'habitants. [55]

La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales :

- Zone A : Littoral marin
- Zone B : Arrière littoral montagne (Atlas tellien)
- Zone C : Hauts plateaux
- Zone D : Présaharien et saharien

La ville d'ALGER, montré par la figure 3.1, dont la Longitude : 2.66° et Latitude : 36.76°, se situe dans la partie nord centrale du pays, dans la zone géographique du Littoral marin.

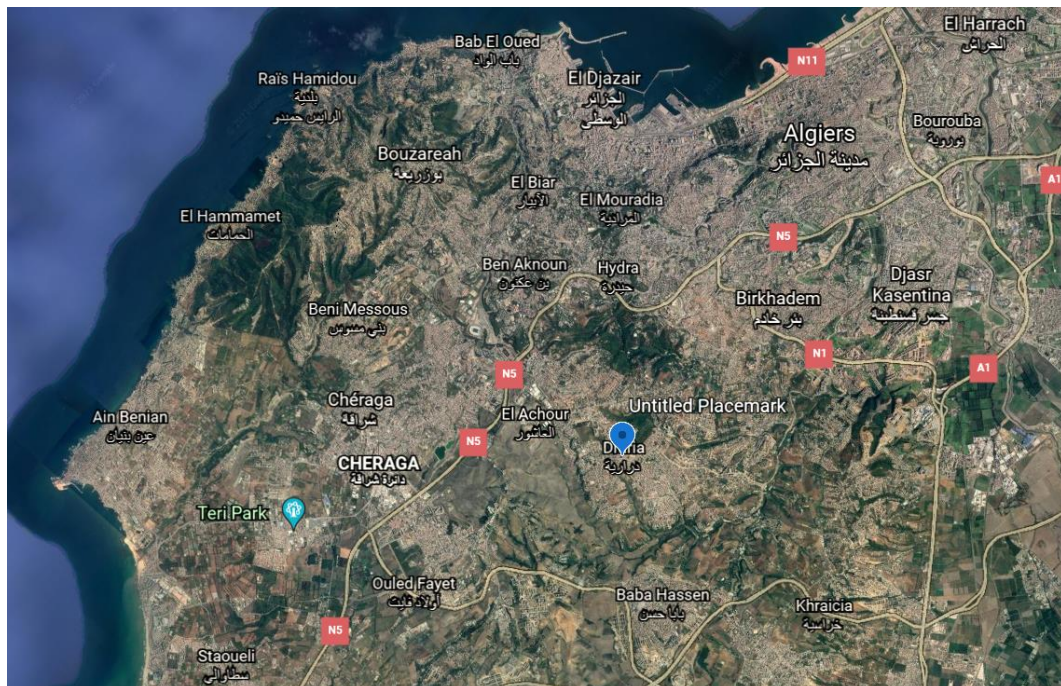


Figure 3.1 : Situation géographique de la ville d'Alger [56]

Draria est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie, située dans la proche banlieue à environ 16 km au Sud-Ouest d'Alger comme le montre la figure 3.2



Figure 3.2 : Situation de la commune de Draria [57]

III.1.2 Potentiel énergétique de la zone d'étude

Pour le potentiel solaire de la zone de Draria, nous avons utilisé des données météorologiques les plus représentatives des conditions locales. Une base de données du logiciel Météonorm 7.

III.1.2.1 Variation du rayonnement solaire moyen mensuel

La variation du rayonnement solaire moyen mensuel est donnée par la figure 3.3 :

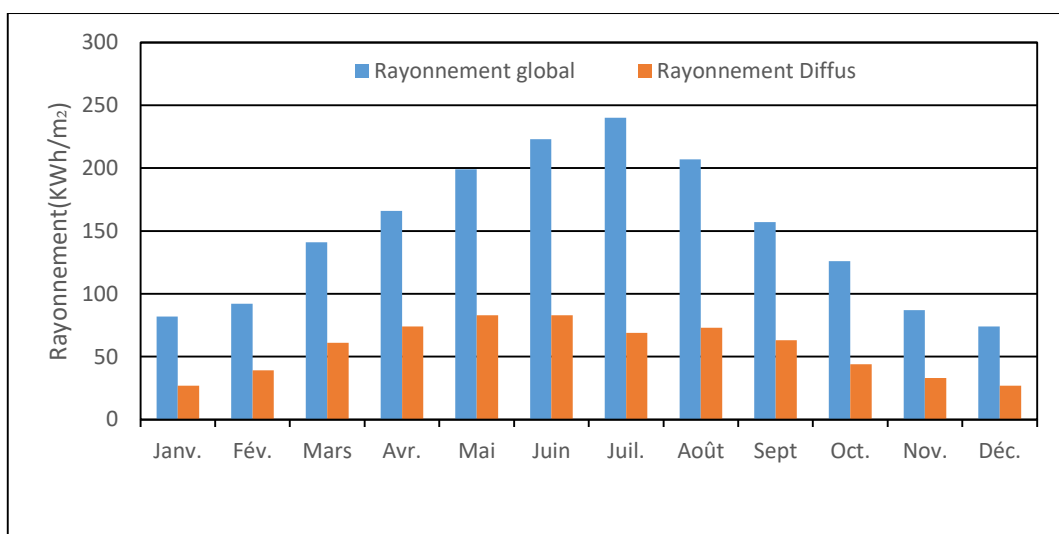


Figure : 3.3 Rayonnement moyen globale et diffus [58]

Ce graphe montre le rayonnement diffus représente un pourcentage important du rayonnement global presque les 40%, en hiver par contre il diminue en été avec l'éclaircissement du ciel et surtout la déclinaison du soleil. Un maximum est observé pour le mois de juin et juillet avec des valeurs de 240 kWh/m². On peut dire aussi que c'est des valeurs très encourageantes.

III.1.2.2 Variation de la température journalière

La Variation des Valeurs journalières de la température et donne par la figure 3.4 :

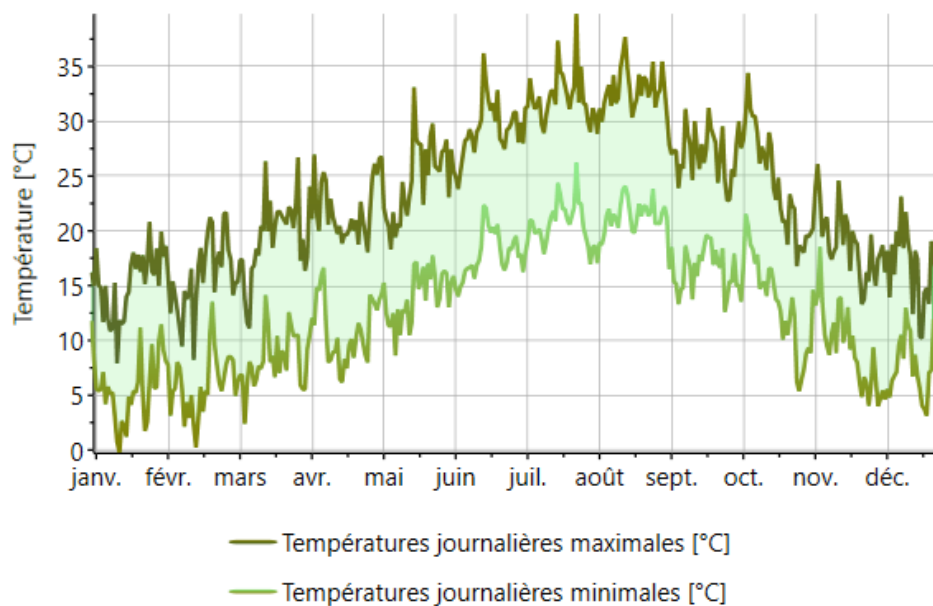


Figure 3.4 : Valeurs journalières de la température [58]

La température journalière varie entre 4 à 16°C en hiver et entre 20 à 36°C pour la saison d'été. On observe un écart plus ou moins régulier durant toute l'année. Un pic est observé la mi-juillet avec une température de 40 °C.

III.1.2.3 Variation de la durée d'insolation journalière

La Variation de la durée d'insolation journalière est donnée par la figure 3.5 :

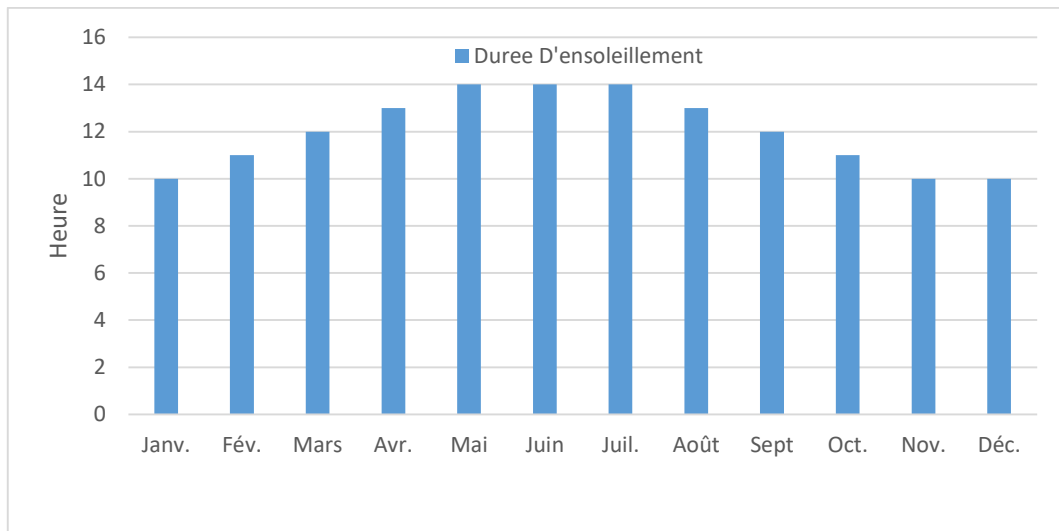


Figure 3.5 : Variation de la durée d'insolation journalière [58]

Sachant que la durée d'insolation c'est la durée ou le rayonnement solaire direct sur un plan normal dépassant les 120 W/m^2 , ce qui est très significatif et indicateur important du potentiel du site. On remarque dans ce graphe que durant toute l'année, la durée d'enseillement dépasse 6h par jour et atteint 14h par jours en été, ce qui signifie un potentiel très important pour ce site.

III.2. Présentation du projet

III.2.1 Présentation de site

Le projet de réalisation 120 logements individuels, d'une superficie globale de 10200 m^2 , le plan de ce projet ce projet est représenté en figure 3.6.



Figure 3.6 : Plan de situation du projet [59]

Parmi les 120 logements dans la résidence RACHA promotion à Alger, on a choisi un seul bâtiment R + 11, objet de notre étude.

Ce bâtiment est constitué de 2 types de bloc R+11 et chaque bloc contient 1 appartement par étage pour bénéficier du maximum de l'orientation, comme le représente la figure 3.7. [59]



Figure 3.7 : Façade du bloc a étudié [59]

III.2.2 Dimensionnement de l'installation

Le dimensionnement de cette installation a été réalisé par réaliser sur un logiciel de dimensionnement sous Matlab utilisant toujours la méthode F-chart, pour une fraction solaire de 80 % Les principales données d'entrées de ce logiciel sont essentiellement :

- Surface d'un capteur : 2 m^2
- Rendement optique du capteur 0.7
- Coefficient de pertes globales du premier ordre $6.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Besoin journalier en eau chaude 2000 litres
- La température de procès 45 C°
- Le mois de référence 12
- Capacité de stockage 3000 Litres

Le résultat nous a donné un nombre de capteur de 32 avec une surface de 64 m^2 . Pour cela on va utiliser ces résultats pour la simulation dynamique sur le logiciel TRNSYS et ensuite ceci nous permet de vérifier et comparer, entre les résultats trouvés et de choisir la conception optimum pour cette installation.



Chapitre 4

Résultats et discussions



IV.1 Présentation du logiciel TRNSYS

TRNSYS est un logiciel de simulation dynamique développé par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) en 1975 dans le cadre d'une collaboration internationale. Ce logiciel permettant de simuler le comportement d'un système complexe.

IV.1.1 Création de notre système sur l'interface TRNSYS

Le logiciel propose la simulation de divers éléments d'installations thermiques, énergétiques et bâtiments préconfigurés dont les caractéristiques peuvent être modifiées à notre guise.

A la première manipulation du logiciel, on constate que l'interface propose un très large choix d'éléments énergétiques, d'outils de mesure, avec lesquels on peut créer et simuler n'importe quelle installation énergétique existante. Le logiciel propose même de simuler la météo en temps réel dans un endroit précis, qui peut être utilisé pour tester le fonctionnement d'une quelconque installation dans cet environnement précis.

Le champ de captation on respectant le dimensionnement initial (32 capteur) avec

- Une cuve du stockage intégré. (type 4c) d'une capacité de 3000 litres avec un appoint
- Un échangeur de chaleur externe (type 5b).
- Une régulation différentielle (type 2b).
- Des diffuseurs de (type 11f) et des mixeurs de (type 11) qui assurant le raccordement des capteurs en parallèle.
- Les pompes de circulation (type 3b).
- Le fichier météo (type 109) a été utilisé pour la zone d'Alger (base de donnée de METEONORM).
- Afficheur des résultats numérique et graphique le (type 65c).

*Un « Plotter » élément qui va lire et afficher les différentes variations de températures et rendements.

IV.1.2 Caractéristiques des différents éléments, et conditions initiales :

IV.1.2.1 Le capteur solaire :

Selon le dimensionnement réalisé nous avons trouvé, 32 panneaux dont la surface est de 64 m^2 , pour cela nous allons partager ce champs sur 4 rangés dans chacune est de 8 panneaux en série, c'est le maximum qu'un bloc de capteur en série peut atteindre afin de limiter les pertes importantes. Pour connecter l'ensemble des panneaux il nous faut les deux organes **type 11f** et **type 11d**.

Quelques données du capteur utilisé sont représentées sur la figure 4.1, ces les mêmes paramètres utilisés dans la partie dimensionnement. Le capteur utilisé est celui proposé par un fournisseur local.

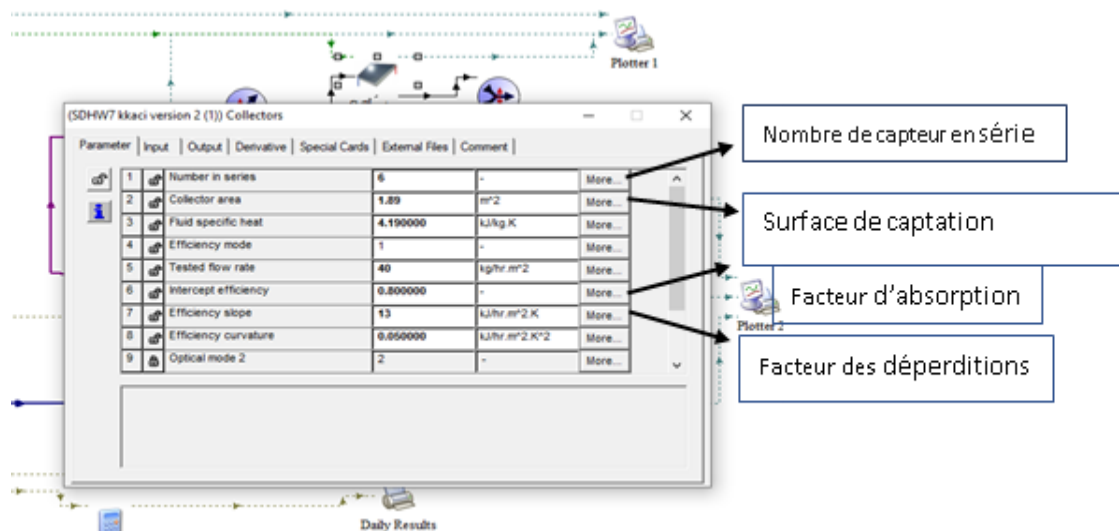


Figure 4.1 : Paramètres du capteur [60]

IV.1.2.2 La cuve de stockage :

Pour la capacité de stockage, nous avons utilisé un ratio de 45 litre d'eau chaude par personne par jour à une température de $45 \text{ }^\circ\text{C}$ pour une famille de 6 personnes par logement. Pour cela nous avons pris l'ensemble des personnes habitant dans le bâtiment, le résultat a donné un besoin en stockage de 3000 litres Les différents paramètres de la cuve de stockage set donné par la figure 4.2, configuration, hauteurs manométriques, efficacité thermique et la puissance d'appoint.

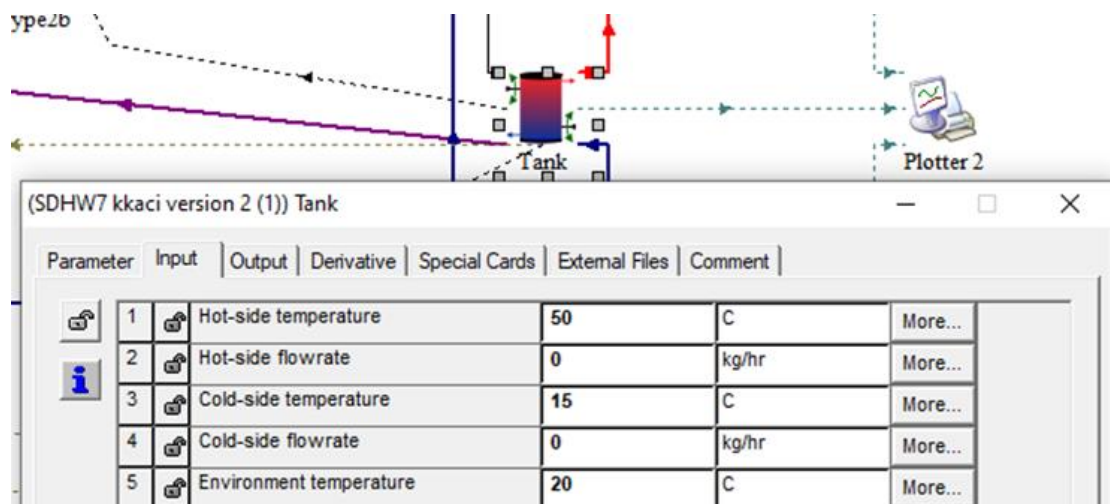


Figure 4.2 : Paramètres d'entrée du ballon de stockage. [60]

IV.1.2.3 La pompe de circulation

La puissance et le débit de la pompe seront modifiés en fonction de notre simulation, la température d'entrée de la pompe sera choisie comme température d'entrée du capteur aux conditions initiales. Les principaux paramètres sont donnés par la figure 4.3

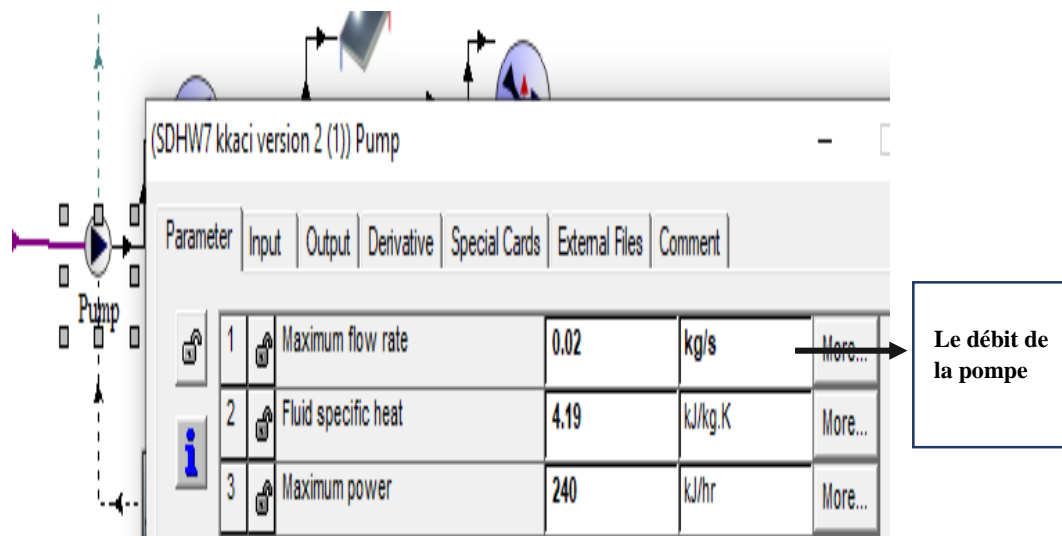


Figure 4.3 : Paramètres d'entrée de la pompe [60]

La figure 4.3 montre le paramètre ajouté à la pompe. Après plusieurs essais on a choisi le débit de 0.02 kg /s.

IV.2 Résultats et discussions

IV.2.1 Simulation du système :

Les données météorologiques sont générées par la base de données du logiciel METEONORM en format TMY 2 Ce type appelé Weather est représenté par la figure 4.5

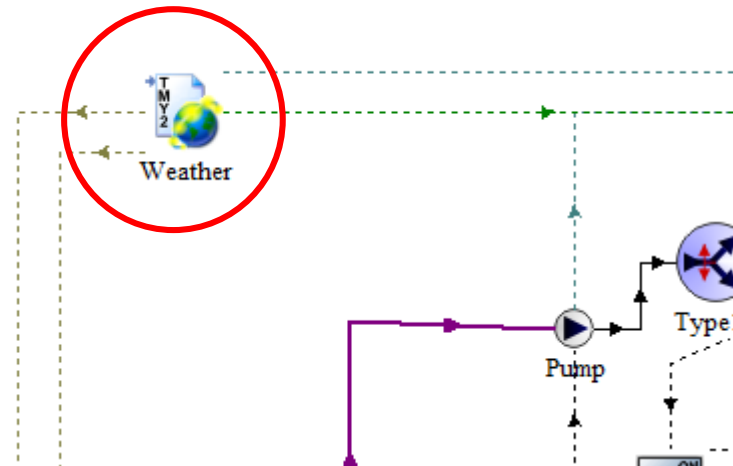


Figure 4.4 : Paramètres d'entrée du climat

Pour la simulation, nous avons choisi de varier la configuration en 4 formats, les 32 panneaux on était divise on 4 blocs de 8 panneaux en séries, ces 4 blocs ont été montée, une fois les 4 blocs en parallèles ; puis 2 blocs en séries en parallèles avec 2 bloc en séries ; 3 bloc en séries avec un bloc en parallèle ; finalement les 4 blocs en séries

On a choisi de simuler tout l'année avec un pas de 1 heure, Les conditions initiales de chaque simulation seront prises les mêmes, c'est-à-dire : les températures initiales d'entrée du capteur, température ambiante, et température d'entrée du réseau d'eau sanitaire.

IV.2.2. Interprétation des Résultats :

IV.2.2.1. Evaluation de la température et de la chaleur utile par rapport à la configuration

Après simulation, nous avons eu les résultats suivants

Evolution des températures :

La Variation des températures de sortie du capteur est donnée dans la figure 4.5

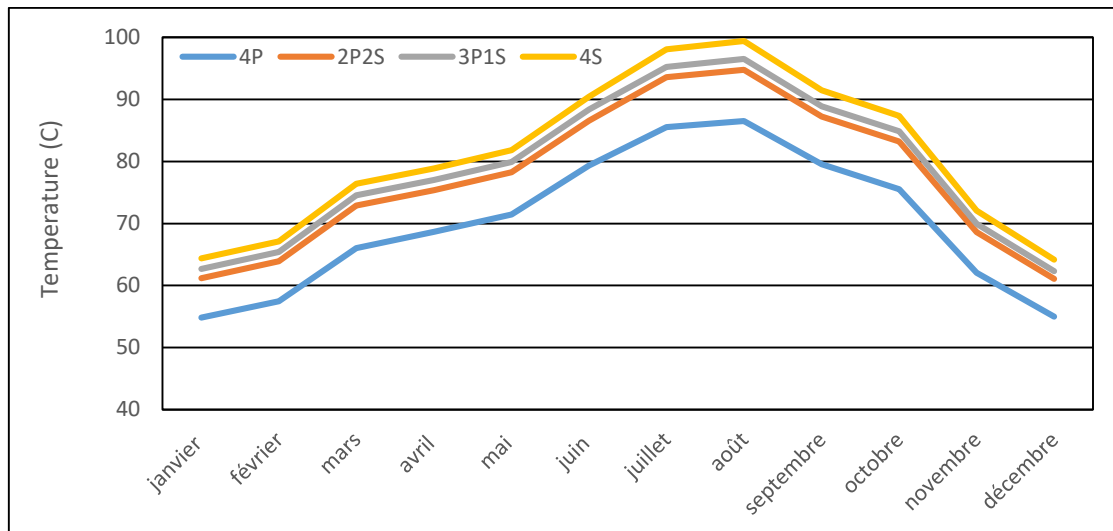


Figure 4.5 : Variation des températures de sortie du capteur pendant l'année

- Le graphe montre l'évolution des températures d'eau chaude le long de l'année
- On remarque bien que les valeurs maximales des températures sont autour des mois d'été c'est-à-dire les mois de juillet et août là où on a un maximum d'irradiation solaire par contre les besoins sont en minimums.
- En déduit aussi que les températures évoluent directement avec les saisons
- En remarque surtout que le plus les panneaux sont en série plus la température augmente

Evolution des chaleurs utiles :

La Variation de la chaleur utile pendant l'année est donnée dans la figure 4.6 :

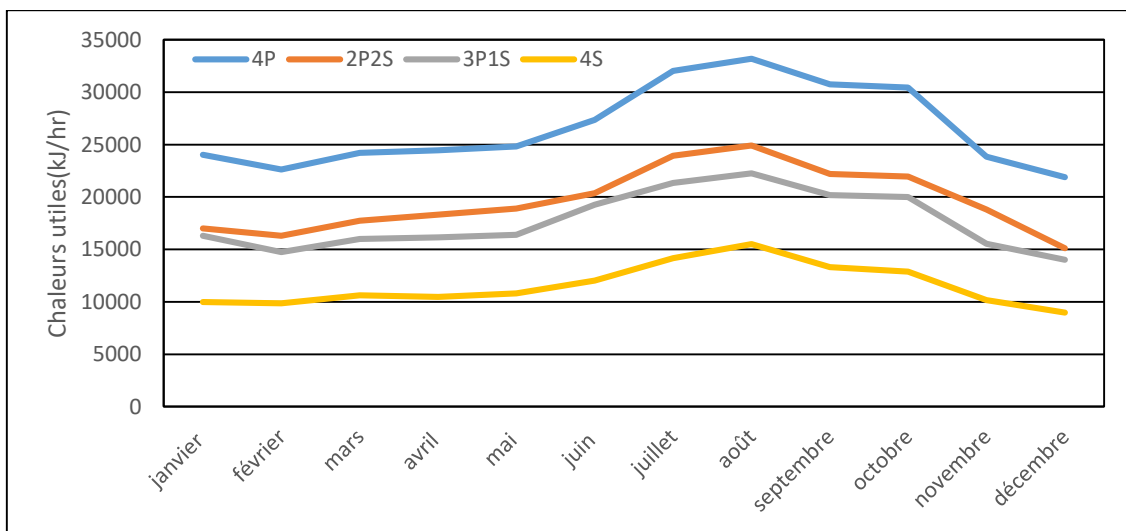


Figure 4.6 : Variation de la chaleur utile pendant l'année

- On remarque bien que les valeurs maximales des énergies et les chaleurs utiles sont très importants évidemment pour la saison estivale autour des mois de juillet et août là où les irradiances solaires sont à leurs maximums.

- En déduit que les gains d'énergies évoluent directement avec les saisons
- En remarque aussi que le plus les panneaux sont en parallèle plus chaleur utile se produise et importante, car les températures sont proches de l'ambiants et les pertes sont aux minimums

IV.2.2.2 Evaluation de la température et de la chaleur utile par rapport au débit

Evolution des températures :

La Variation des températures par rapport au débit sont donne dans la figure 4.7

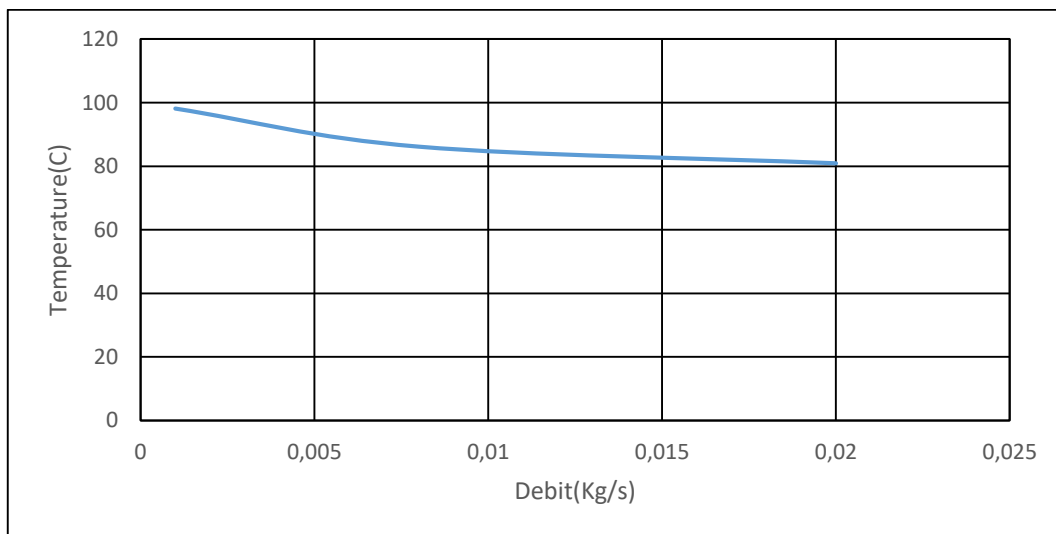


Figure 4.7 : Evolution des températures par rapport au débit

Evolution de la Chaleurs utiles :

La Variation de la chaleur utile par rapport au débit est donne dans la Figure 4.8

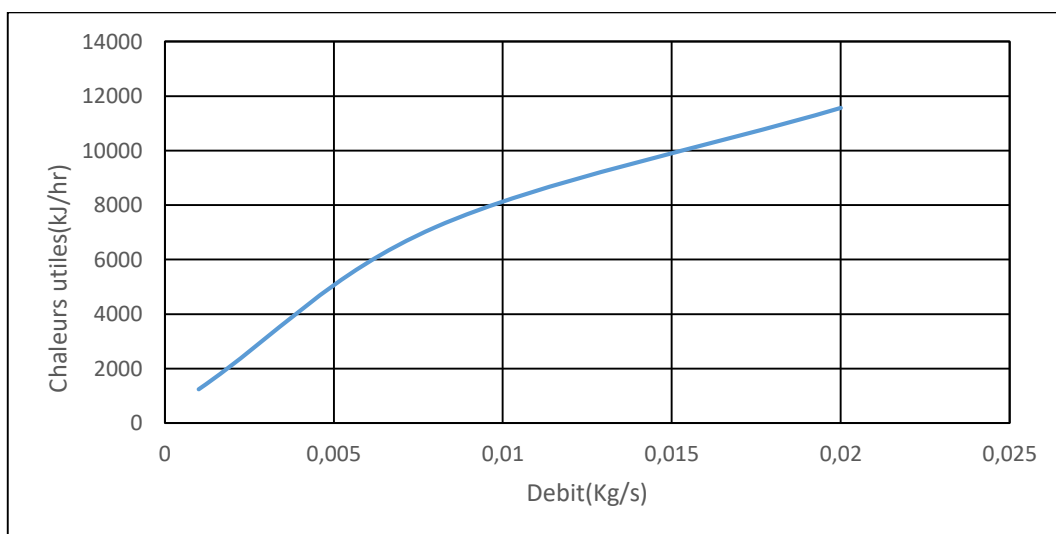


Figure 4.8 : Evolution de la chaleur utile par rapport au débit

Chapitre IV : Résultats et discussions

- On remarque sur ces deux courbes que plus le débit diminue plus la température augmente et inversement, donc on peut dire surtout que le débit influe considérablement sur les températures et les gains d'énergie du capteur. On constate aussi que le débit optimum est de 0.02 Kg/sm^2 c'est celui recommandé par les normes internationales ISO 9806 et EN 12975-2, ce qui est justifié par les graphes

IV.2.2.3 Evaluation du éclairement global sur un surface inclinée et de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison

Les éclairement solaires globale sur le plan du capteur et les énergies utiles du champ solaire ont été simulés par les composants de la bibliothèque dans le logiciel TRNSYS pour le Site de Draria pour quatre journées représentatives dans l'année ces journées sont les suivantes :

- 21 Mars ; n = 80 ; (équinoxe du printemps)
- 21 Juin ; n = 172 ; (solstice d'été)
- 21 Septembre ; n = 264 ; (équinoxe d'automne)
- 21 Décembre ; n = 355 ; (solstice d'hiver)

n : numéro de la journée.

Cas pour le 21 mars

Evaluation éclairement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison est donnée dans la Figure : 4.9

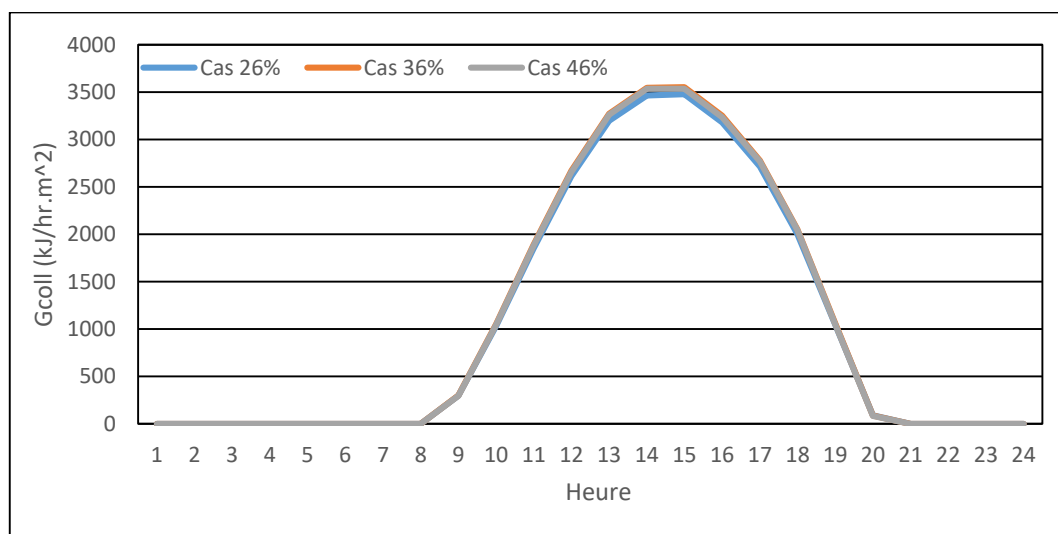


Figure : 4.9 Evaluation éclairement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison

Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison est donnée dans la figure : 4.10

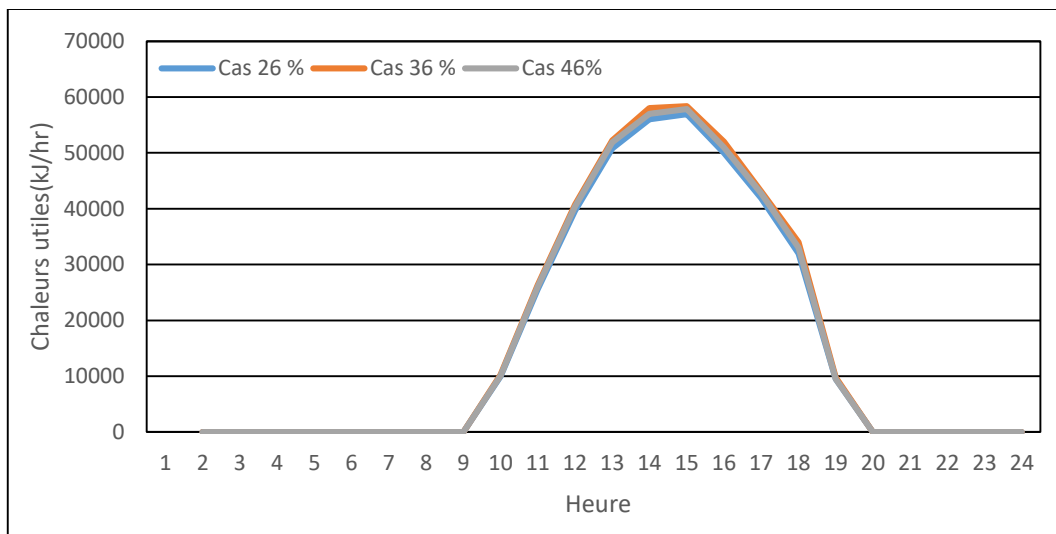


Figure : 4.10 Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison.

- On remarque pour cette journée que le rayonnement global sur le plan du capteur et l'énergie utile par le champ suit la même allure que l'énergie solaire reçu sur le champ, ils arrivent à leur maximum au tour de midi (TSV), on voit aussi l'intensité du potentiel solaire. On remarque aussi peu de fluctuations ceci est dû probablement aux données météorologiques utilisé par le logiciel qui sont rapportées par Meteonorm.
- On remarque surtout que l'inclinaison à latitude du lieu est la plus importante ceci est dû évidemment à la période de simulation qui est le 21 mars

Cas pour le 21 juin

Evaluation éclaircissement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison est donnée dans la Figure : 4.11

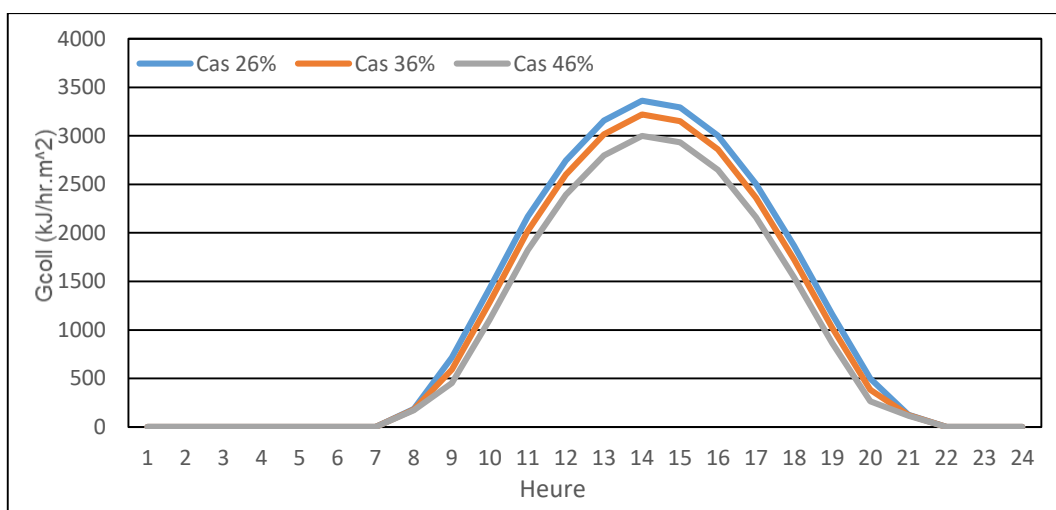


Figure 4.11 Evaluation éclaircissement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison

Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison est donnée dans la figure : 4.12

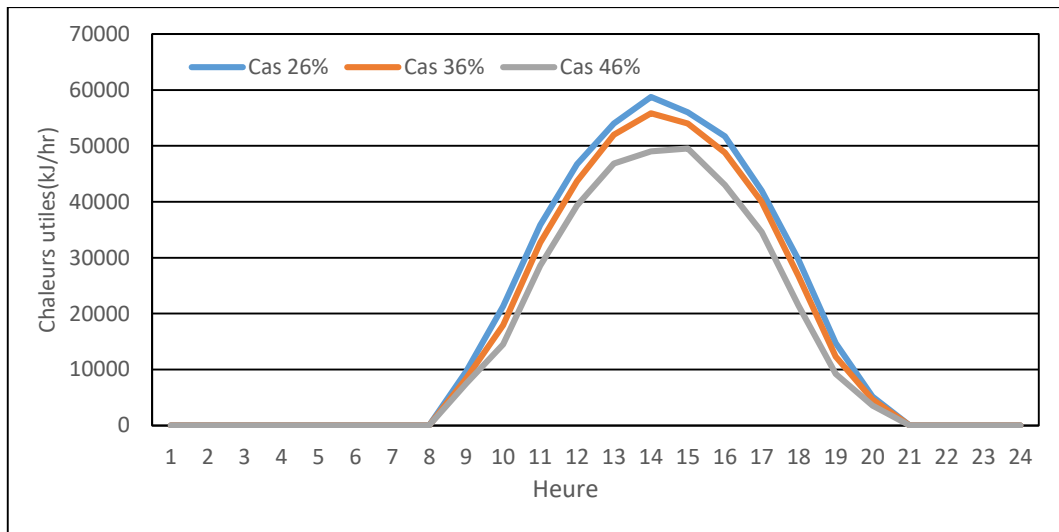


Figure 4.12 : Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison

- On remarque sur la figure 4.12 et 4.13 que l'énergie solaire pour cette journée de l'été est très importante ceci est dû essentiellement à la forte intensité du rayonnement solaire durant cette saison et aussi à la durée de la journée s'étalant de 6 heure du matin jusqu'à 20 heure. La courbe de l'énergie utile par le champ et l'énergie solaire suit la même allure avec une valeur maximale à midi (TSV). On remarque aussi peu de fluctuations (données météorologiques).
- On remarque surtout que l'inclinaison de 26 ° c'est dire latitude - 10 ° est la plus importante ceci est dû certainement à la position du site par rapport au soleil lors de cette période (déclinaison solaire)

Cas du 21 septembre

Evaluation éclairage global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison est donnée dans la Figure : 4.13

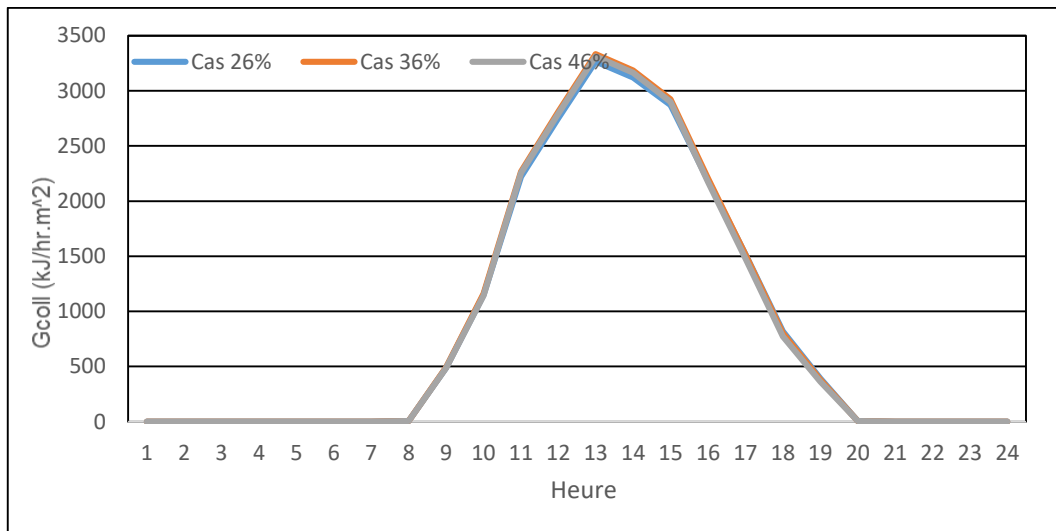


Figure 4.13 : Evaluation éclairement global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison

Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison est donnée dans la figure : 4.14

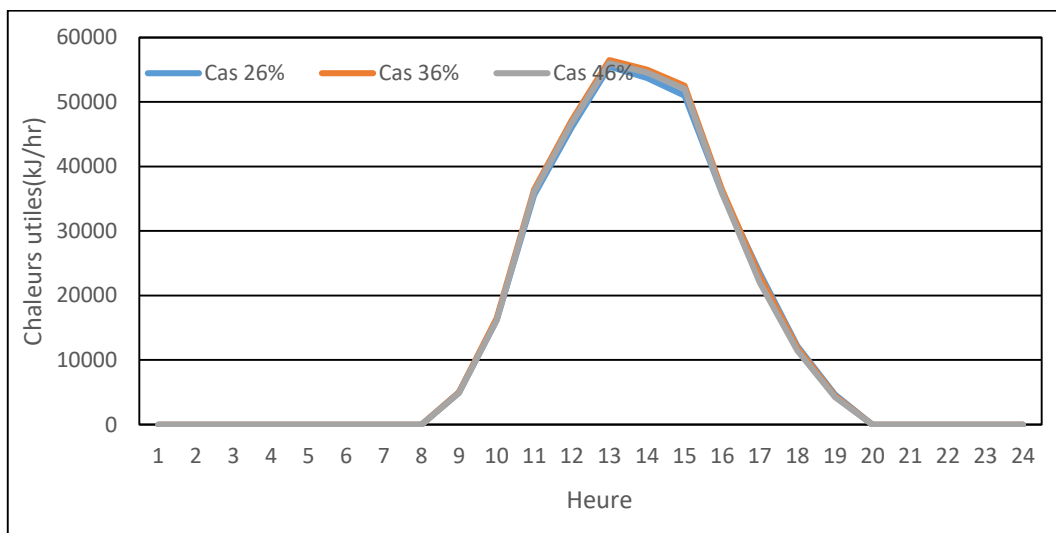


Figure 4.14 : Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison

- On remarque dans ces figures que les deux courbes se suivent (similaire) et les pertes sont moins importantes pour le champ, elles atteignent toujours leurs maximums autour de midi (TSV). On remarque aussi que dans cette courbe une absence de fluctuation, ceci est dû probablement à l'absence de passages nuageuses

Cas du 21 Décembre

Evaluation de l'éclairage global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison est donnée dans la figure : 4.15

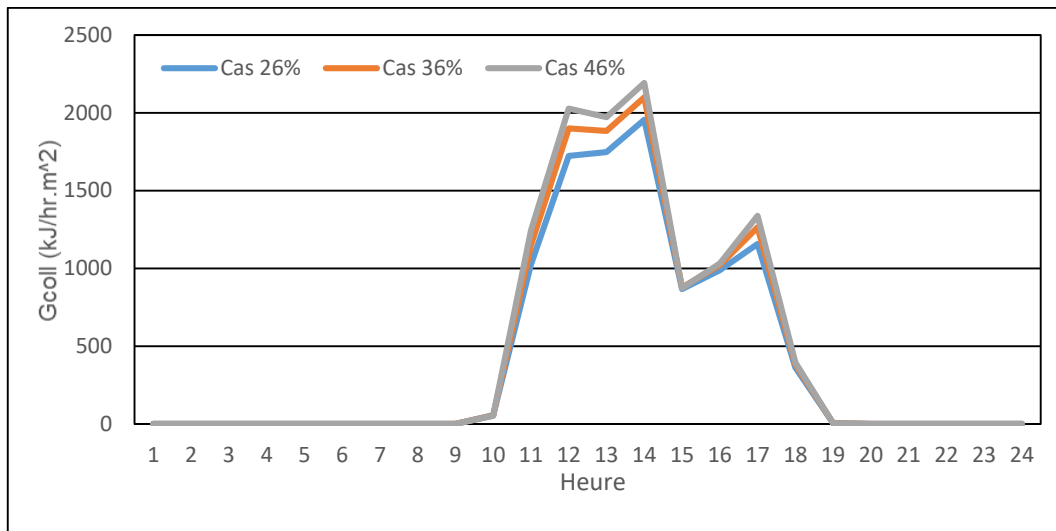


Figure 4.15 : Evaluation éclairage global sur le plan du capteur par rapport à l'inclinaison

Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison est donnée dans la figure : 4.16

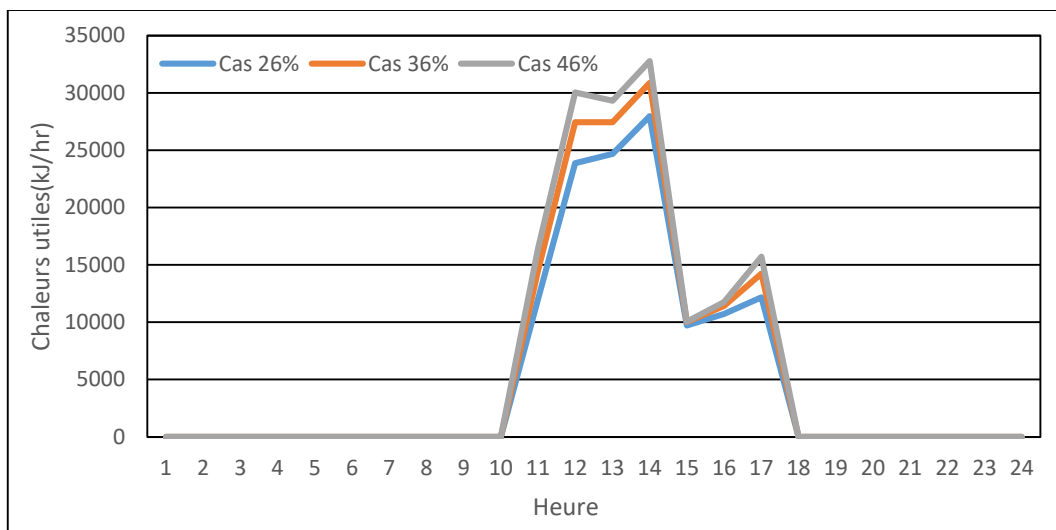


Figure 4.16 : Evaluation de la chaleur utile par rapport à l'inclinaison

- On remarque dans ces figures que l'énergie fournie par le solaire et l'énergie reçu par le champ sont relativement faibles avec des pertes plus importantes et les valeurs de l'énergie solaire et du champ sont moins intéressantes, on remarque aussi une fluctuation autour de 15 heure, ceci est dû dû probablement aux données météorologiques fournis par Meteonorm.
- On remarque surtout que l'inclinaison de 46 ° c'est dire latitude + 10 ° est la plus importante ceci est dû certainement à la position du site par rapport au soleil lors de cette période.



Chapitre 5

**Etude économique et
environnementale**



V.1 Etude économique du projet

V.1.1 Calcul du Levelized electricity costs (LEC)

Une évaluation économique a été réalisée pour comparer le potentiel de l'énergie solaire thermique. Cela signifie valoriser différentes configurations basées sur les capteurs solaires étudiées en termes économiques, en essayant d'évaluer de manière assez approximative les coûts impliqués dans la mise en œuvre de cette installation solaire thermique à usage industriel et en tenant compte de ces coûts. [61]

$$LEC = \frac{Crf \cdot K_{inv} + K_{O,M} + K_{electricity}}{E_{net}}$$

$$Crf = \frac{K_d(1 + K_d)^n}{(1 + K_d)^n - 1} + K_{insurance}$$

Avec :

LEC = Levelized electricity costs

Crf = Capital recovery factor = 9.8 %

K_{inv} : Total investment of the plant = 3 456 500, 00 DA

K_d : Real debt interest rate = 8 %

n : Depreciation period in years = 25 years

K_{ins} : Annual insurance rate = 1 %

$K_{O, M}$: Annual operation and maintenance costs = 52 800,00 DA

$K_{electricity}$: Annual electricity costs = 27 588,00 DA

E_{net} : Annual net thermal solar energy = 50160 kWh/years

$$LEC = \frac{0.1 \cdot 3\,456\,500 + 52\,800 + 27\,588}{50160} = 8.5 \frac{DA}{kwh}$$

Prix du kWh industriel en Algérie 5 DA /kWh

On constate que c'est un prix relativement intéressant du point de vue l'investissement importants de l'installation solaire.

V.1.2 Calcul du temps de retour à l'investissement (TRB)

Cette méthode aide à calculer le temps de retour brut de l'investissement [61]

Sachant que l'Installation est estimée à 3456500 DA

La consommation annuelle de l'énergie électrique avec appoint et sans appoint sont donnés dans le tableau 5.1

Tableau 5.1 La consommation annuelle de l'énergie électrique avec appoint et sans appoint

Le type de consommation	Energie électrique (KWh/an)
Résistance électrique	50160
Système solaire avec appoint	22572
Le gain	27580

Avec $TRB = \frac{\text{Investissement}}{\text{économie annuelle}}$

De sa on trouve que $TRB = \frac{345650000}{27588000} = 12 \text{ ans}$

V.1.3 Calcul de l'Impact environnemental

Les installations solaires de production d'eau chaude permettent d'éviter une quantité importante d'émissions des gaz à effets de serres ou polluants et de déchets. Pour cela nous sommes intéressés à dresser un bilan environnemental en terme de CO₂ et les gaz réduits pendant l'année de notre installation. [62]

On présente dans le Tableau 5.2 la quantité des gaz réduits à partir le système solaire

Tableau 5.2 : Quantité des gaz réduits par l'énergie électrique

	Émission de gaz (g/KWh) par énergie électrique	Quantité de CO ₂ réduite par l'installation (kg/an)
CO₂	89	2455
NO_x	0.476	13

Alors la quantité de CO₂ évitée par année pour une telle installation solaire est environ de 2455 Kg de CO₂ et surtout 13kg de NO_x qui est le gaz le plus toxique ; ce qui contribue toujours à la rentabilité de telle installations.

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour faire une bonne installation de chauffage-eau solaire il faut prendre en compte l'influence de différents éléments qui vont contribuer dans la performance de l'installation (type de montage, le débit, l'inclinaison .etc...), et savoir comment balancer entre ces différents éléments

Il faut aussi connaître les besoins journaliers en eau chaude solaire qui sont imposées par le consommateur pour estimer correctement ses besoins.

Une bonne simulation de l'installation a permis de fournir un maximum d'énergie solaire environ 80% des besoins d'eau chaude.

Du point de vue économique, les facteurs coûts des capteurs solaires ainsi que le système hydraulique reste les majors inconvénients d'une installation solaire, car le prix de l'investissement est très important ajout à ça le prix du kWh d'électricité conventionnel reste toujours bas (4 DA kWh). Le résultat a donné un LEC de 8.5 DA qui est un résultat relativement encourageant malheureusement un temps de retour est de 12 ans. D'un aspect écologique, on constate qu'on peut réduire un taux très important des émissions des gaz polluants presque 2455 kg de Co₂ par an et 13 Kg de Nox peut être évité avec de telles installations.

Cette étude n'est qu'une initiation au chauffage solaire collectif, 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 dans les cantines scolaires ou universitaire et de contribuer aux diminutions de l'exploitation des énergies fossiles.

References Bibliographies

- [1] Bp Statistical Review of World Energy 2020 (69 Edition)
- [2] Renewables 2020 Global Status Report ISBN 978-3-948393-00-7
- [3] Bilan Energétique National 2019 Sonatrach (Edition 2020)
- [4] Attar.A.M. "Energy security and energy transition in Algeria, the challenges for 2030"; Science Conference on Energy; MouloudMammeriTiziOuzou University; (2018).
- [5] International Energy Agency (AIE) "International Energy Outlook 2019 with projections to 2050"; Flagship report; (2019).
- [6] IRENA CAPACITY STATISTICS 2020 ISBN 978-92-9260-342-7
- [7] Modern Arabic Review of Fundamental & Applied Physics Volume 2, N° 1 (2017) 33 – 37
- [8] Abou-Zeid, MR and Hawas, MM (1983). Economic Assessment and Optimization of Solar Space Heating and Domestic Water Systems. Energy Conversion and Management, 23 (4), 251-256.
- [9] Lewis, G. (1987). Optimal sizing of a collector for a domestic solar water heater. Solar & Wind Technology, 4 (3), 411-414.
- [10] Akinoğlu, BG, Shariah, AM and Ecevit, A. (1999). Solar domestic water heating in Turkey. Energy, 24 (5), 363-374.
- [11] Cardinale N, Piccininni F, Stefanizzi P. Economic optimization of low-flow solar domestic hot water plants. Renew Energy 2003; 28:
- [12] Kablan, M.M (2004). Techno-economic analysis of the Jordanian solar water heater system. Energy, 29 (7), 1069-1079.
- [13] Yohanis Y.G, Popel O, Frid SE, Norton B. The annual number of days that solar heated water satisfies a specified demand temperature. Sol Energy 2006; 80: 1021
- [14] B. Chaouachi* et S. Gabsi Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire à stockage intégré dans des conditions réelles 2006 9 (2),75 – 82

- [15] Shakir Rahman, Sajedul Hossain Sarker and Saiful Huque ,Performance Study of an Indigenously Built Flat Plate Solar Water Heater University of Dhaka, Bangladesh 2009 DOI: 10.1109/ICDRET.2009.5454198
- [15] Kalogirou, S. (2009). Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis thermosyphon solar water heaters. *Solar energy*, 83 (1), 39-48.
- [16] Hobbi A, Siddiqui K. “Optimal design of a forced circulation solar water heating system for a residential unit in cold climate using TRNSYS”. *Solar Energy*; 2009; 83
- [17] Kulkarni GN, Kedare SB, Bandyopadhyay S. “Optimization of solar water heating systems through water replenishment”; 2009; 50: 837e46.
- [18] Ayompe LM, Duffy A, McCormack SJ, Conlon M. "Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heaters with flat plate and evacuated tube collectors heat pipe". *Appl ThermEng* 2011; 31: 1536e42.4
- [19] Norlida Buniyamin , Zainuddin Mohamad Low-Cost Solar Water Heater University Teknologi MARA Shah Alam, Malaysia 2011 (ICEDSA)
- [20] Zhang Tao, Zou Tonghua ,Ye Qingyin Experimental Research on the Performance of the Heat Storage Solar Water Heater (Tianjin University of Commerce, Tianjin Key Laboratory of Refrigeration Technology, Tianjin 300134, China) 2012
- [21] Al-Badi, AH and Albadi, MH (2012). “Solar Home Water Heater System in Oman: Current Situation and Future Prospects”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8), 5727-5731.
- [22] Hazami, M., Kooli, S., Naili, N. and Farhat, A. (2013). “Long-term performance prediction of an evacuated tube solar water heater system used for single-family households in the African Climate (Tunisia)”. *Solar energy*, 94, 283-298.
- [23] Nikoofard. S., Ugursal, VI and Beausoleil- Morrison, I. (2014). An investigation into the technoeconomic feasibility of solar hot domestic water heating for the Canadian housing stock. *Solar Energy*, 101, 308-320.
- [24] Martinopoulos, G. and Tsalikis, G. (2014). “Active solar heating systems for energy efficient buildings in Greece: technical economy and environmental assessment”. *Energy and Buildings*, 68, 130-137.

- [25] El Hassan Achouyab, Bennasser Bahrar Design, Implementation and Testing of a Solar Water Heater Glazed Flat Plate Detector University Hassan II Casablanca, Morocco, 2015
- [26] Mr. M.V. Kulkarni, Dr. D. S Deshmukh Design of Experiment for Solar Water Heater Performance Analysis SSBT'S College Of Engineering And Technology, BAMBHORI 3 (2) 2015
- [27] Abd-ur-Rehman, HM and Al-Sulaiman, FA (2016). "Optimal Selection of Solar Water Heating (Solar Water Heating) Based on Their Comparative Technologies Economic Feasibility Study for Saudi Arabia's Domestic Sector". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 336-349
- [28] S.D. Gangane, S.H. Bhere, L. K. Chinchole, P. A. Dudhalkar, V. D. Nandan, S. S. Sarawade Economical Solar Water Heater (Department Of Mechanical Engineering, M.E.S. College Of Engineering, S.P.Pune University, India) e-ISSN: 2278-1684, 68-71, 2017
- [29] Abhishek Gautam, Sunil Chamoli, Alok Kumar, Satyendra Singh A review on technical improvements, economic feasibility and world scenario of solar water heating system *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68 (2017) 541–562
- [30] Hao Li, Zhijian Liu, Kejun Liu, and Zhien Zhang Predictive Power of Machine Learning for Optimizing Solar Water Heater Performance: The Potential Application of High-Throughput screening <https://doi.org/10.1155/2017/4194251>, 2017
- [31] R.L. Shrivastava, Vinod Kumar, S.P. Untawa, Modeling and simulation of solar water heater: A TRNSYS perspective *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67 (2017) 126–143
- [32] Aidah M J Mahdi, Khaleel I Abass, Raid S Jawad The performance of an effective solar water heater enhancement based on experimental study 4(7): 50-54, 2018
- [33] Mohd Afzanizam Mohd Rosli, Danial Shafiq Mohd Zaki1, Fatiha Abdul Rahman, Suhaila Sepeai, Nurfaizey Abdul Hamid, Muhammad Zaid Nawam F-Chart Method for Design Domestic Hot Water Heating System in Ayer Keroh Melaka 56 (1) ,59-67, 2019
- [34] Rashid Panahi, Mohammad Hassan Khanjanpour, Akbar A. Javadi, Mohammad Akrami, Mohammad Rahnama , Mehran Ameri University of Kerman, Iran, Analysis of the thermal efficiency of a compound parabolic Integrated Collector Storage solar water heater in Kerman, Iran, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, November 2019

- [35] Tadahmun A. Yassen , Nassir D. Mokhlif , Muhammad Asmail Eleiwi, Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for domestic use, 138 (2019) 852-860
- [36] P.N. Nirmala Comparative studies on efficiency of single and double glassed solar water heater Sri Meenakshi Govt Arts College for Women, India
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.204>
- [37] S. Sami, A. Hamid, D. Lafri, D. Semmar et R. Kharchi, Optimisation des Surfaces de Captation des Installations Solaires de Chauffage d'Eau Collectif ,CDER,Energ. Ren. : Chemss 2000 25-31
- [38] D. Lafri, A. Hamid, M. Belhamel et D. Semmar Etude du Comportement Thermique d'une Cuve de Stockage Solaire à Echangeur de Chaleur, CDER, Journées de Thermique (2001) 127-132
- [39] S.Sami-Mechri, A. Hamid, M. Belhamel& N.Ait Messaoudene « Etudie de la rentabilité d'une installation solaire de chauffage d'eau collective appliquée à différents sites algériens».CDER, Rapport interne ;(2003).
- [40] F.Yettou, A. Gamma, C.Hamouda et A .Malek « Etude et réalisation d'un banc d'essai pour un chauffe- eau solaire collectif à circulation forcée dans la région des hauts plateaux, à régulation différentiel». , Mémoire d'ingénieur ; université de Batna ;(2008).
- [41] S.A. Hakem, N. Kasbadji–Merzouk et M. Merzouk, Performances journalières d'un chauffe-eau solaire, CDER, Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse (2008) 153 – 162
- [42] F. Sahnoune, M. Belhamel et M. Zelmat Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe-eau solaire pour deux sites algériens, CDER, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°3 (2011) 481 – 486
- [43] Akssas M, Rima, Z. and Aziz, N. (2013). "Technical and economic analysis of solar water Heating systems in Batna in Algeria". Sustainability in Energy and Buildings, 22, 787-796.
- [44] Sellami, R., Merzouk, N.K., Amirat, M., Chekrouni, R., Ouhib, N., Hadji, A. Market potential and development prospects of the solar water heater field in Algeria (2016) Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, pp. 617-625.
 DOI:10.1016/j.rser.2016.07.043

- [45] Missoum, M., Hamidat, A., Imessad, K., Bensalem, S. and Khodja, A. (2016, March). Energy performance study of a solar water heating system for individual houses in Mediterranean climate. ((Communication presented at the 7th International Congress on Renewable Energies (IREC), Hammamet, Tunisia).
- [46] S. Sami, D. Semmar, A. Hamid, R. Mecheri, M. Yaiche, Viability of integrating Solar Water Heating systems into High Energy Performance housing in Algeria, CDER, Energy 149 (2018) 354-363
- [47] A. Harmim, M. Boukar, M. Amar et A. Haida, Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire auto-stockeur à intégrer au mur de l'habitation saharienne, CDER, Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°2 (2018) 315 – 325
- [48] Sami, S., Semmar, D., Hamid, A., Mecheri, R. and Yaiche, M. (2018). Integration viability High energy solar water heating systems Efficient housing in Algeria. CDER, Energy, 149, 354- 363
- [49] Touhami BAKI: Etude des performances d'un chauffe-eau solaire individuel installé à Oran, USTO-MB, Oran, Algérie ERMA'19 (2019)
- [50] Djedid Taloub, Abdelkarim Bouras, Zied Driss Study of The Influence of External Parameters on Thermal Performance of a Solar Water Collector, University Mohamed Boudiaf of M'sila, M'sila, Algeria Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 53, Issue 2 (2019) 213-222
- [51] fluid Oussama Touabaa, Mohamed Salah Ait Cheikh , Mohamed El-Amine Slimani, d, Ahmed Bouraiou b, Abderrezzaq Ziane , Ammar Necaibia, Arezki Harmim, Experimental investigation of solar water heater equipped with a solar collector using waste oil as absorber and working ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Solar Energy 199 (2020) 630-644
- [52] John A. Duffie, William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes Fourth Edition 2013, ISBN 978-0-470-87366-3 (cloth);
- [53] Aghilas Brahimi Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau UNIVERSITE DE LORRAINE, Mémoire de master 2016
- [54] Soteris A. Kalogirou, Solar Energy Engineering Processes and Systems Second Edition 2014, ISBN-13: 978-0-12-397270-5
- [55] DEMOGRAPHIE ALGERIENNE 2019, osn.dz
- [56] Google earth

[57] LEILA MSILTA Doctorante, Université d'Alger, Département de sociologie Mobilités résidentielles dans l'Algérois au profit de la périphérie urbaine : le cas du sud-ouest d'Alger (commune de Draria), exemple de l'habitat individuel,

[58] METEONORM 7

[59] Racha promotion Nature de l'entreprise : Prestataire Forme juridique : EURL Régime : Privé Date de mise à jour : 02-05-2018.

[60] TRNSYS 16

[61] Albert Cabané Fernández "Economic Study of Solar Thermal Plant based on Turbines" Master Thesis , LTH School of Engineering March 2013

[62] KOUADRI. M, "Etude technico-économique d'une installation de chauffage solaire industriel", Département énergétique, Université M'hamed Bougara de Boumerdes, Thèse de Master, 2013.

Annexes

Annexe 1 :

Prix global de l'investissement

Cout d'investissement	
Elément	Cout par unité (DA)
Capteurs	55000
Tuyauterie	3700
Vanes D'arrêt	4000
Soupapes De Sécurité	2000
Manomètre	3200
Purgeur	1500
Clapet Anti Retour	2000
Cuve De Stockage	100000
Pompe	50000
Vase Expansion	7500
Echangeur De Chaleur	75000
Régulateur Différentiel	12000

Annexe 2 :

Prix global de la maintenance

Coûts des opérations de maintenance	
Elément	Unit cout
Capteur	200 DA / m2 année
Cuve	5000 Da /m3 année
tuyauterie	25000 DA /unité