



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

Sara ZABOUBI

Le : [Click here to enter a date.](#)

Etude technico-économique d'une installation du chauffage solaire

Jury :

Mr. Adnane LABED	Pr	Université de Biskra	Président
Mr. Nouredine MOUMMI	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Mr. Abdelouahad ALI OUALI	MCA	Université de Biskra	Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Je dédie ce travail tout d'abord à ma source de bonheur et de joie, ceux qui se sont toujours sacrifiés pour me voir réussir, mes chers parents. Aucun hommage ne pourrait être à hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

*A mes chères soeurs : **Rahima, Chourouk** et ma belle nièce **Hazar**.*

*A mes chers frères : **Adel, Ilyesse** et **Abdelmalek**,*

*A mes chers et fidèles amis : **Hana, Khawla**, **Fozia**
et **Mohamed El-Amin**.*

A toute la promotion Génie mécanique énergétique 2020/2021.

A tous ceux qui ont contribué de près et de loin pour que ce mémoire soit possible.

Sara

Remerciements

En premier lieu, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la santé et la volonté d'entamer et terminer ce mémoire.

Ensuite, j'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur

***Pr. Noureddine MOUMMI** qui m'a suivi tout au long de cette période et ma aidé pour trouver des solutions à des problèmes que j'ai rencontré dans ce mémoire.*

Toute ma gratitude s'adresse à tous nos professeurs du département de Génie Mécanique de l'Université de Biskra pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire malgré leurs chargements académiques et professionnels.

Je remercie les membres du jury pour l'intérêt qui ils ont portés à ma modeste recherche en acceptant de le lire et l'examiner

Pr. Adnane LABED

Dr. Abdelouahad Ali OUALI

Enfin, Je remercie ma famille, de m'avoir donné leur soutien psychologique et affectif pour que je puisse enfin réussir ce mémoire.

A tous ceux qui m'ont aidé, je vous remercie profondément.

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	IX
Nomenclature.....	XI
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2.Synthèse bibliographique.....	3
I.3. Conclusion.....	15

Chapitre II : Technologie des systèmes de chauffage solaire

II.1. Introduction.....	17
II.2. Energie solaire.....	17
II.2.1. Energie solaire thermique.....	17
II.2.2. Energie solaire électrique.....	18
II.2.2.1. Principe de conversion photovoltaïque.....	18
II.3. Eléments constitutifs d'une installation thermique.....	18
II.3.1. Capteur solaire.....	19
II.3.2.1.Composition des Capteurs solaire thermiques.....	19
II.3.2.2. Différents capteurs solaires thermiques.....	20
II.3.2.3. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires.....	23
II.3.2. Fluide caloporteur.....	23
II.3.3. Réservoir de stockage.....	24
II.4. Systèmes solaires thermiques.....	25
II.4.1. Systèmes solaires de production d'eau chaude sanitaire.....	25
II.4.1.1. Chauffe-eau individuels.....	25

II.4.1.2. Chauffe-eau solaire pour une grande consommation (pour les bâtiments collectifs).....	29
II.4.2. Systèmes de chauffage solaire des bâtiments.....	30
II.4.2.1. Plancher Solaire direct (PSD).....	30
II.4.2.2. Système solaire combiné (SSC).....	31
II.4.3. Systèmes de chauffage solaire des Piscines.....	33
II.5. Conclusion.....	33

Chapitre III : Dimensionnement de l'installation

III.1. Introduction.....	35
III.2. Calculs des besoins énergétiques et résultats.....	35
III.2.1. Estimation des déperditions thermiques.....	35
III.2.1.1. Présentation de l'habitation.....	35
III.2.2. Estimation des besoins en chauffage.....	36
III.2.3. Estimation des besoins en eau chaude sanitaire	39
III.2.4. Récapitulatif des calculs.....	41
III.3. Dimensionnement des équipements.....	42
III.3.1. Surface de captation.....	42
III.3.1.1. Choix de capteur.....	42
III.3.1.2. Irradiation solaire du site de Biskra.....	43
III.3.1.3. Puissance solaire utile (PSU).....	45
III.3.2. Ballon de stockage.....	46
III.3.3. Système d'appoint.....	46
III.3.4. Autres composants.....	46
III.3.4.1. Pompe de circulation.....	46
III.3.4.2. Nombre des éléments des radiateurs.....	46
III.4. Schéma de l'installation solaire.....	48
III.5. Conclusion.....	48

Chapitre IV : Etude technico-économique

IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Système solaire.....	50
IV.2.1. Evaluation de coût de l'installation thermique.....	50
IV.2.2. Coût des éléments composants.....	50

IV.2.3. Coût d'investissement.....	51
IV.2.4. Coût de la consommation d'électricité.....	51
IV.3. Système classique.....	52
IV.3.1. Coût de Sonelgaz.....	52
IV.3.2. Evaluation des coûts de l'installation classique.....	53
IV.3.3. Coût des éléments composants.....	54
IV.3.4. Coût d'investissement.....	54
IV.4. Comparaison et discussions.....	54
IV.5. Durée d'amortissement.....	56
IV.6. Conclusion.....	57
Conclusion générale.....	59
Références bibliographique.....	61
Annexes.....	65
Résumé	

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique

Figure I.1. Evolution des températures de l'air à l'intérieur du local et température extérieure	4
Figure I.2. Représentation des températures de l'air dans le local.....	4
Figure I.3. Variation du rendement en fonction de Q_v	4
Figure I.4. Variation du rendement en fonction du paramètre réduit.....	4
Figure I.5. Photos du banc d'essai.....	5
Figure I.6. Variation des températures de l'eau à l'entrée et à la sortie.....	6
Figure I.7. Rendement expérimental d'un capteur sans et avec vitrage.....	6
Figure I.8. Besoins en chauffage et en ECS (cas1 et cas2).....	7
Figure I.9. Rendement moyen de collecteur [%].....	7
Figure I.10. Fraction solaire moyenne [%].....	7
Figure I.11.A. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 80.....	9
Figure I.11.B. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 172.....	9
Figure I.11.C. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 264.....	9
Figure I.11.D. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 355.....	9
Figure I.12. Effet de la température de séchage à l'entrée de la chambre de séchage sur la variation de la teneur en eau au cours du temps pour la claie N° 3.....	10
Figure I.13. Surface de capteur nécessaire selon les paramètres installés.....	11
Figure I.14. Comparaison entre les coûts (en KDA) du projet photo thermique Estimés par RETScreen.....	12
Figure I.15. Variation du rendement thermique en fonction du temps.....	13
Figure I.16. Variation de la température de sortie en fonction du temps.....	13
Figure I.17. Consommation de chauffage moyenne mensuelle (2016).....	14

Figure I.18. Température ambiante moyenne mensuelle de l'année 2016 «Biskra-Algérie».....	14
Figure I.19. Distribution de la température de l'eau dans le capteur.....	15

Chapitre II : Technologie des systèmes de chauffage

Figure II.1. Différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.....	17
Figure II.2. Principe de Conversion de l'énergie solaire photovoltaïque.....	18
Figure II.3. Schéma de principe d'une installation solaire thermique.....	19
Figure II.4. Constituants d'un capteur solaire thermique.....	19
Figure II.5. Composants d'un capteur plan avec vitrage.....	21
Figure II.6. Capteur non vitré.....	22
Figure II.7. Capteur sous vide.....	22
Figure II.8. Capteur à concentration.....	23
Figure II.9. Cuve de stockage avec échangeur.....	24
Figure II.10. Système de chauffe-eau solaire thermosiphon directe.....	25
Figure II.11. Système de chauffe-eau solaire thermosiphon indirecte.....	26
Figure II.12. Système de chauffe-eau solaire à circulation forcée.....	26
Figure II.13. Système de chauffe-eau solaire auto vidangeable à circulation forcée.....	27
Figure II.14. Système de production centralise et distribution directe.....	29
Figure II.15. Système de production centralise et distribution boucle de circulation.....	29
Figure II.16. Système de production solaire collective à appoints individuels.....	30
Figure II.17. Plancher solaire direct.....	30
Figure II.18. Système de production eau chaude et chauffage avec appoint intégré.....	31
Figure II.19. Système de chauffage solaire pour piscine en plein air avec appoint séparé.....	33
Figure II.20. Système de chauffage solaire pour piscine couverte.....	33

Chapitre III : Dimensionnement de l'installation

Figure III.1. Situation de la wilaya de Biskra.....	35
Figure III.2. Plan de situation du cas d'étude.....	36
Figure III.3. Température ambiante moyenne mensuelle de l'année 2021 « Biskra».....	37
Figure III.4. Besoins mensuels en chauffage.....	38
Figure III.5. Consommation d'eau chaude par jour en fonction de type de famille.....	39
Figure III.6. Besoins mensuels en ECS.....	40
Figure III.7. Besoins totale (eau chaud sanitaire et chauffage).....	42
Figure III.8. Capteur utilisé.....	43
Figure III.9. Résultat du rayonnement solaire par jour.....	43
Figure III.10. Endroits de placement des radiateurs dans le cas d'étude.....	47
Figure III.11. Installation d'une chauffe eau solaire.....	48

Chapitre IV : Etude technico-économique

Figure IV.1. Récapitulatif de comparative pour système (A) et (B).....	55
Figure IV.2. Récapitulatif de comparative pour système (A) et (B) sans coût de maintenance et des accessoires.....	55
Figure IV.3. Durée d'amortissement des systèmes A et B.....	57

Liste des tableaux

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.1. Avantages de l'utilisation CES dans la wilaya de Batna dans le future.....	5
Tableau I.2. Coûts des différents modes de chauffage.....	8
Tableau I.3. Evaluation des délais d'amortissement.....	10
Tableau I.4. Coûts d'un projet Photo Thermique estimés utilisant le logiciel RETScreen.....	12

Chapitre II : Technologie des systèmes de chauffage

Tableau II.1. Avantages et inconvénients du capteur plan vitré.....	21
Tableau II.2. Avantages et inconvénients par type de Chauffe-eau individuels.....	28
Tableau II.3. Avantages et inconvénients par type de chauffage solaire des bâtiments.....	32

Chapitre III : Dimensionnement de l'installation

Tableau III.1. Température ambiante moyenne mensuelle.....	38
Tableau III.2. Besoins mensuels en chauffage.....	38
Tableau III.3. Besoins mensuels en eau chaud sanitaire.....	40
Tableau III.4. Besoins total en chauffage et en eau chaude sanitaire.....	41
Tableau III.5. Caractéristique du capteur utilisé.....	42
Tableau III.6. Irradiation globale par jour de Biskra.....	44
Tableau III.7. Irradiation globale par mois de Biskra.....	44
Tableau III.8. Puissance solaire utile en moyenne mensuelle à Biskra.....	45
Tableau III.9. Energie totale journalière demandée des pompes.....	46

Chapitre IV : Etude technico-économique

Tableau IV.1. Coût de l'installation thermique.....	50
Tableau IV.2. Coût des éléments composants d'installation solaire.....	50

Tableau IV.3. Prix de la consommation électrique par trimestre de système (A).....	51
Tableau II.4. Prix de la consommation en gaz par trimestre de système (B).....	52
Tableau IV.5. Prix de la consommation électrique par trimestre de système (B).....	53
Tableau IV.6. Coût de l'installation classique.....	53
Tableau IV.7. Coût des éléments composants d'installation classique.....	54
Tableau IV.8. Coût investissement et coût Consommation (électrique et gaz) pour syst(A) et syst (B).....	54

Nomenclature

<u>Symboles</u>	<u>Définition</u>	<u>Unités</u>
C_c	Coefficient de correction du fluide caloporteur (eau).	–
C_o	Coefficient d'orientation des capteurs solaire.	–
C_{in}	Coefficient d'inclinaison des capteurs solaire.	–
C_p	Capacité thermique massique de l'eau.	[J/Kg. K]
C_i	Coût investissement.	DA
C_m	Coût de la maintenance.	DA
C_{ic}	Coût d'installation classique.	DA
C_{is}	Coût d'installation solaire.	DA
C_{ce}	Coût consommation électrique.	DA
$C_{i\text{ réf}}$	Coût investissement référence.	DA
$C_{ce\text{ réf}}$	Coût consommation électrique référence.	DA
$C_{c\text{ syst}}$	Coût cumulé système.	DA
$C_{c\text{ syst A}}$	Coût cumulé système A.	DA
$C_{c\text{ syst B}}$	Coût cumulé système B.	DA
D	Déperditions totales.	[W/°C]
E	Energie solaire reçue.	[KWh/m ²]
PSU	Puissance solaire utile.	[KWh/m ²]
Q_c	besoins de chauffage.	[KWh]
Q_{ecs}	besoins de l'eau chaude sanitaire.	[KWh]
S_{CS}	Surfaces de capteur solaire.	[m ²]
TCS	Taux de couverture solaire.	[%]
T_f	Température de l'eau froide.	[°C]
T_h	Température demandée d'eau chaude.	[°C]
T_i	Température intérieur.	[°C]
T_{am}	Température ambiante.	[°C]
V_s	Volume d'eau chaude à soutirer.	[m ³]

<u>Symboles grecs</u>	<u>Définition</u>	<u>Unité</u>
η	Rendement du capteur.	[%]
ρ	La masse volumique de l'eau.	[kg/m ³]
<u>Indices</u>	<u>Définition</u>	
C	Chauffage	
CDER	Centre de Développement des Energies Renouvelables.	
ECS	Eau chaud sanitaire.	
N	Nombre des jours.	
N _p	Nombre de panneau.	
syst	Système.	
x	Nombre des années.	

Introduction générale

Introduction générale

La majeure partie de l'énergie utilisée aujourd'hui provient de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole, le gaz naturel ou l'énergie nucléaire. Cette énergie est considérée comme l'une des énergies non renouvelables en voie d'épuisement car la demande pour cette énergie est devenue tellement importante en raison de la croissance démographique et des progrès technologiques, auxquels elle ne pourra pas faire face. Par conséquent, il est nécessaire de rechercher une énergie alternative fiable, la solution est d'utiliser des énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables sont des énergies d'origine naturelle qui ne sont pas périssables et ont un impact limité sur l'environnement et elles sont d'origine solaire directe ou indirecte.

Il existe cinq énergies renouvelables : l'eau, la biomasse, l'énergie éolienne, l'énergie solaire et la géothermie.

Nous pouvons citer parmi les énergies renouvelables l'énergie solaire qui est à l'origine de toutes les énergies sur Terre. C'est une source prometteuse pour résoudre les problèmes liés à la crise énergétique à l'avenir. A l'heure actuelle, les utilisations de l'énergie solaire sont très limitées, notamment en Algérie, où les applications les plus courantes de l'énergie solaire sont la production d'eau chaude sanitaire à l'aide de chauffe-eau solaires.

Dans ce travail, nous sommes particulièrement intéressés par l'énergie thermique en tant que principale source d'énergie pour la chauffe d'une maison et l'eau chaude sanitaire. Notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre : comporte une étude bibliographique concernant les principaux travaux de recherches scientifiques sur les installations solaires.

Le deuxième chapitre : expose une étude théorique es différents systèmes solaires, les applications de chauffage solaire et leurs technologies.

Le troisième chapitre : expose tous les calculs nécessaires afin de dimensionner notre installation du cas d'étude, en l'occurrence une maison d'habitation individuelle.

Dans le dernier chapitre : une étude technico-économique est menée dans le but de comparer les couts d'un système classique utilisant une énergie classique et un système de chauffage solaire. Enfin l'ensemble est suivi d'une conclusion générale.

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1. Introduction

Ce chapitre constitue un aperçu général sur le chauffage solaire. Ainsi, nous allons citer quelques travaux effectués dans le cadre de ce travail.

Nous décrirons également les différents travaux qui se sont intéressés à l'installation de chauffage solaire, chauffage solaire à eau et à air et l'utilisation du chauffage solaire dans les bâtiments.

I.2. Synthèse bibliographique

Parmi les travaux menés relatifs au chauffage solaire, on peut citer :

F. Mokhtari et al [1] ont mené une étude du comportement thermique d'une maison munie d'un système de chauffage solaire. La modélisation mathématique du système est basée sur le calcul des bilans thermiques au niveau des éléments constituant le système de chauffage : fluide caloporteur, plancher et air intérieur du local. Les équations différentielles obtenues sont résolues par la méthode des différences finies avec un schéma explicite. Les résultats obtenus du modèle ont été confrontés aux résultats d'une étude du Pr. Zaheer-Uddin.

- Le modèle a été utilisé ensuite pour simuler le comportement thermique du système complet sur le site de Bouzaréah (Alger). Les résultats obtenus dans cette étude sont:
- Le modèle mathématique pris est simple et peut être adapté à une installation de chauffage solaire.
- L'énergie fournie par un champ de captation de 6.4 m² de surface (04 capteurs), avec une masse de stockage du fluide chaud de $M = 190$ litres, peut satisfaire aux besoins de chauffage d'une enceinte de volume $V_a = 49.77$ m³ pendant des journées claires.
- Un système d'appoint est nécessaire dans le cas de journées nuageuses.
- La température de l'air dans le local doit être maintenue dans l'intervalle de confort [20°C - 23°C], pour cela un système de régulation doit être mis au point.

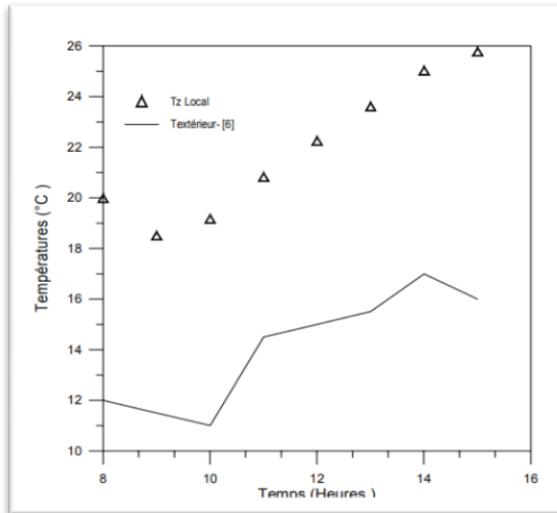


Figure I.1. Evolution des températures de l'air à l'intérieur du local et température extérieure.

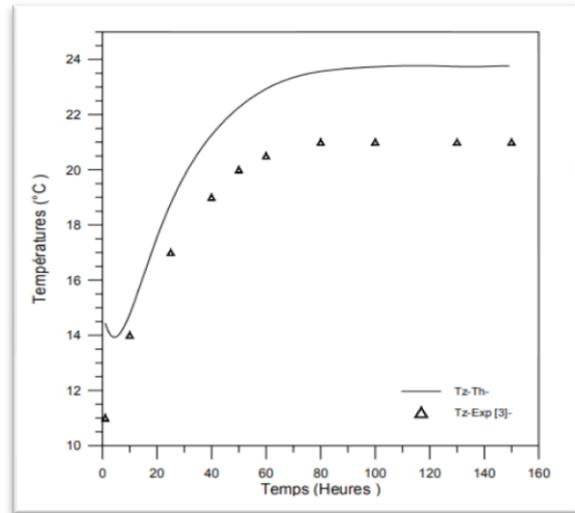


Figure I.2. Représentation des températures de l'air dans le local.

Le travail de **A. Lahlali et N. Laib** [2] a été concentré sur une étude théorique et expérimentale d'un chauffe-eau solaire. Les expériences menées sont faites sous une source d'éclairage artificielle puis naturelle. Les performances obtenues sont :

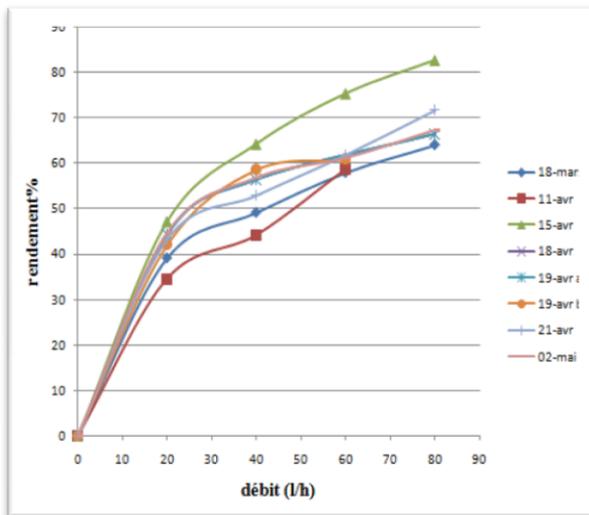


Figure I.3. Variation du rendement en fonction de Q_v

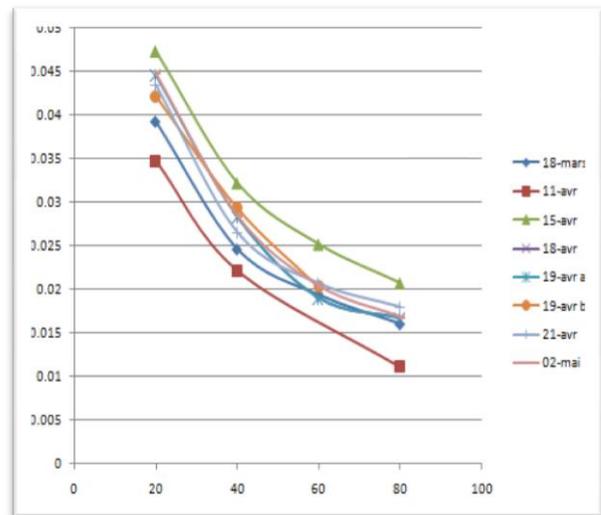


Figure I.4. Variation du rendement en fonction du paramètre réduit

Le travail présenté par **R. Zouagri** [3] est une étude de faisabilité technique et économique des installations solaires thermiques dans un bâtiment. L'étude est faite sur les centres hospitaliers (CH) dans la Wilaya de Batna. L'analyse des installations de CES se fait par le logiciel RETScreen. L'analyse a démontré la possibilité d'une importante économie

d'énergie lors de l'installation de CES dans les CH. Les résultats obtenus montrent que le projet de CES dans la wilaya de Batna dans le futur est rentable au temps actuel, et qu'il existe un gain considérable à la fois dans l'économie d'énergie et dans la diminution des émissions de GES. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Energie totale annuelle fournie (MWh)	Réduction totale annuelle nette d'émissions de GES (tCO₂)	Équivalent en Barils de pétrole Totale
2187,1	978.3	2321,6

Tableau I.1. Avantages de l'utilisation CES dans la wilaya de Batna dans le future.

O. Boukhalfa [4] a présenté une étude théorique et expérimentale d'une chauffe eau solaire. A travers cette étude ils ont pu déterminer les performances de ce système et puis évaluer les coefficients de perte et celui de l'efficacité de l'absorbeur. Les expériences ont été réalisées grâce à une installation de mesure montée au niveau de département de génie mécanique à l'Université de Biskra .Il s'agit d'une installation permettant la mise en circulation du fluide caloporteur dans chauffe-eau (voir figure I.5).



Figure I.5. Photos du banc d'essai.

Les performances obtenues sont les figures suivantes :

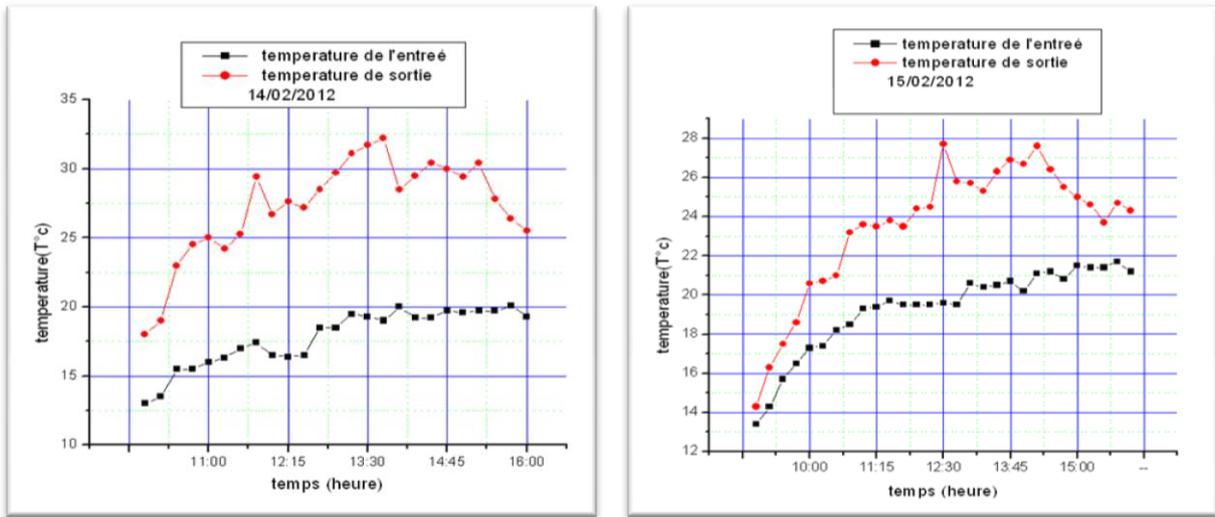


Figure I.6. Variation des températures de l'eau à l'entrée et à la sortie.

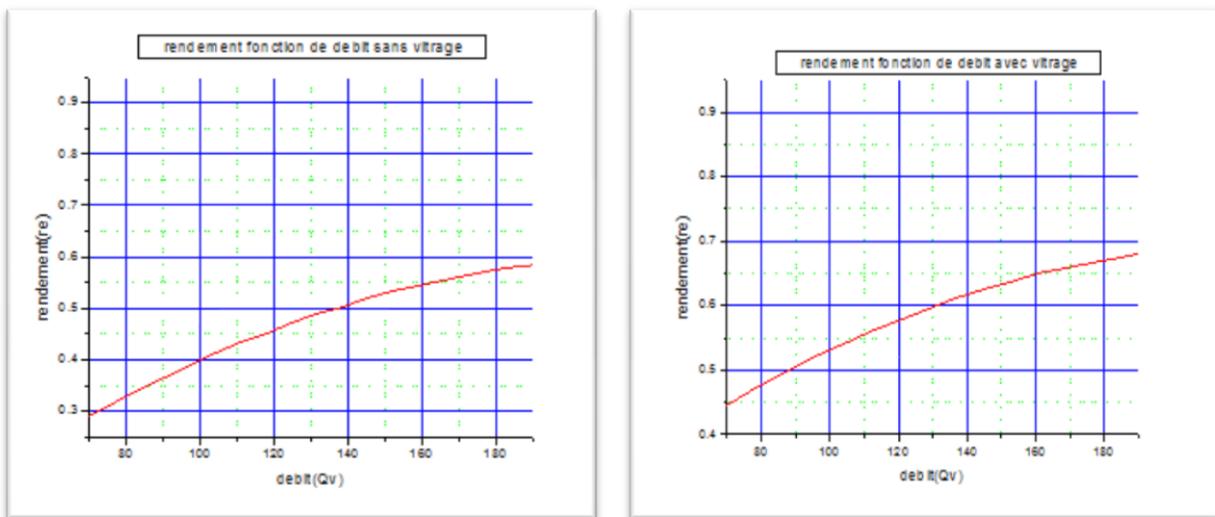


Figure I.7. Rendement expérimental d'un capteur sans et avec vitrage.

S. Benakli et M. Addad [5] ont fait une simulation d'une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage pour une maison individuelle (quatre occupants) dont la superficie est de 75 m. Quatre différentes zones d'implantation en Algérie sont choisies pour leur différence du point de vue climatique (Alger, Tizi-Ouzou, Djelfa et Tamanrasset). La simulation est faite par le logiciel TRNSYS. Les résultats obtenus dans les figures suivantes :

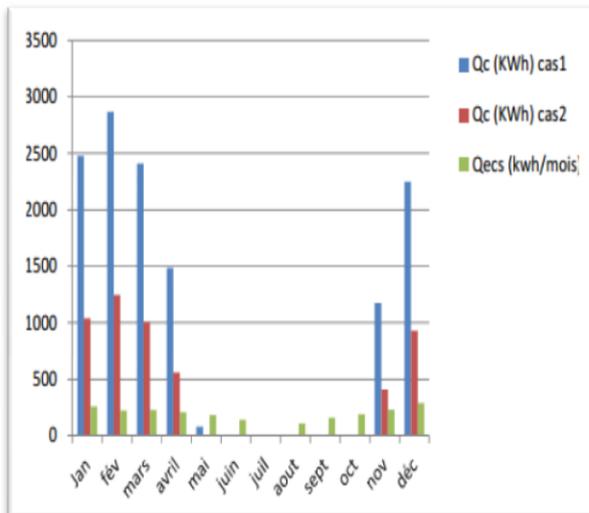


Figure I.8. Besoins en chauffage et en ECS (cas1 et cas2).

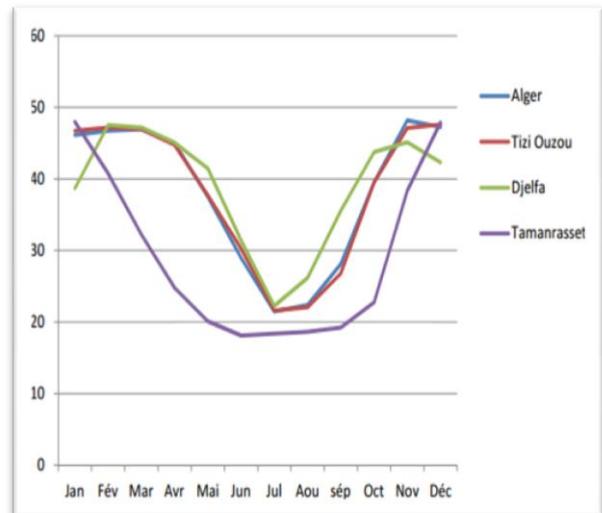


Figure I.9. Rendement moyen de collecteur [%]

Dans ce travail particulier, ils ont mis en évidence l'importance du taux de couverture solaire des besoins énergétiques, aussi bien dans le Sud de l'Algérie que dans les autres régions du territoire.

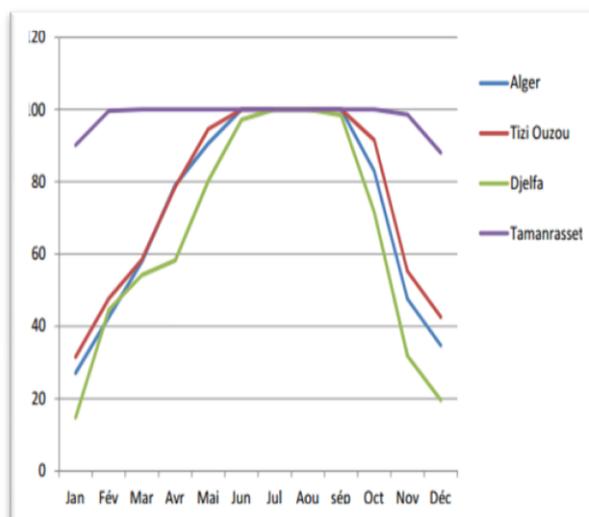


Figure I.10. Fraction solaire moyenne [%].

Le travail présenté par **D. Fites** [6] est une étude Technico-économique sur l'installation de chauffage et de climatisation des locaux. Dans cette étude, il a comparé les coûts des différents types d'installation de chauffage pour la période hivernale des locaux d'habitation. Il a comparé les coûts du chauffage central, du chauffage individuel, de pompe à chaleur, du chauffage solaire, de chauffage solaire combiné... etc.

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau suivant :

Type de chauffage	Coût d'énergie annuel (DA)	Prix de l'installation (DA)	Coût total (DA)	Coût total Après 20 ans (DA)	Taux d'augmentation de coût Après 20 ans
Chauffage central en Gaz naturel (de ville)	13101.51	430000.00	446101.51	954060.53	113.87 %
Chauffage central en fioul	63017.62	600000.00	663017.62	3120705.00	370.68 %
Chauffage solaire combiné	9626.97	2300000.00	2309626.97	2685078.67	16.26 %
Chauffage individuel en gaz naturel	11650.60	126000.00	137650.60	592024.00	330.09 %
Chauffage individuel en fioul	56591.45	189000.00	2452658.00	2452658.00	898.67 %
Chauffage individuel en électricité	138028.26	92700.00	230728.26	5613830.40	2333.09 %
Pompe à chaleur	45409.42	450000.00	495409.42	2266376.80	357.48 %

Tableau I.2. Coûts des différents modes de chauffage.

Le travail présenté par **T. Reddah** [7] est une étude et dimensionnement d'un système solaire combiné application : logement individuel type F3 à Batna. Le calcul de l'éclairement solaire annuel sur un plan incliné de 35°, 55 et orienté vers le sud dans la région de Batna a été fait à l'aide d'un programme en langage FORTRAN 90. Et les résultats obtenus représentent l'évolution de l'éclairement solaire pour des jours différents:

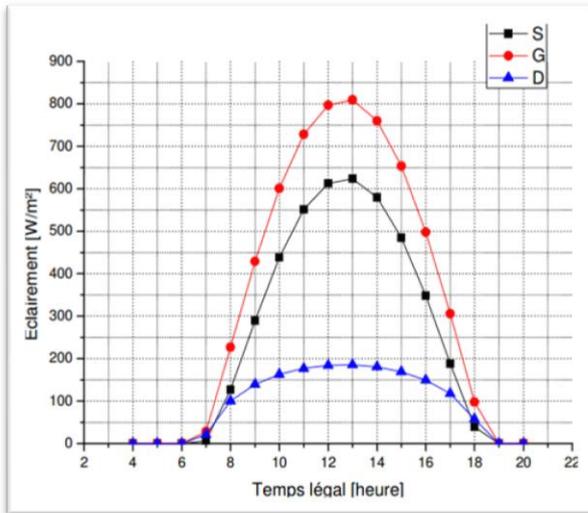


Figure I.11.A. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 80.

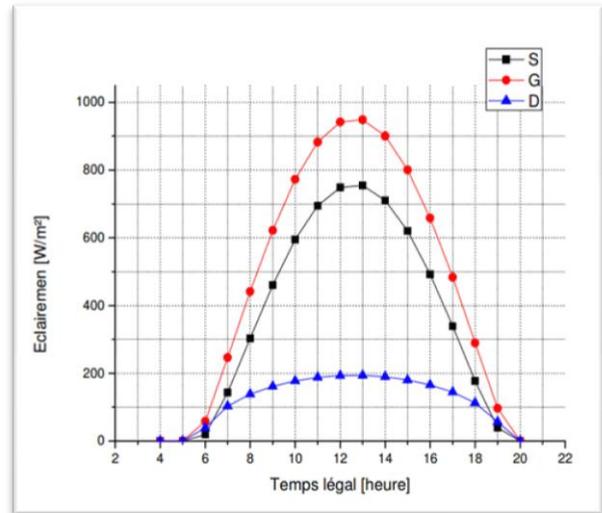


Figure I.12.B. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 172.

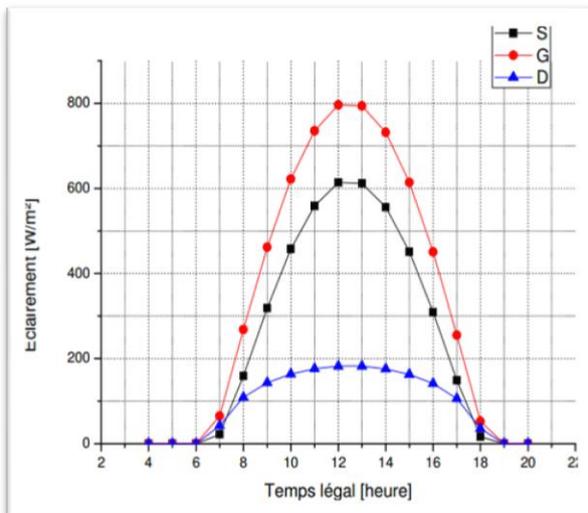


Figure I.11.C. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 264.

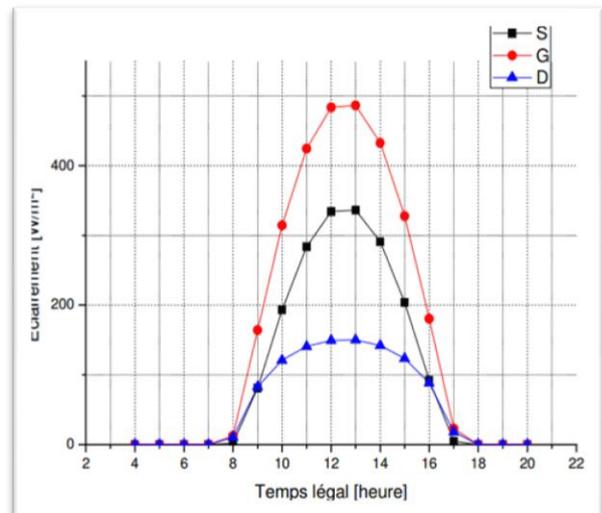


Figure I.11.D. Evolution de l'éclairement solaire pour le jour N° 355.

D. Zebbar et al [8] ont mené une étude technico-économique sur un champ solaire de type stirling dish à Tissemsilt pour la production d'électricité au niveau de la localité de Tissemsilt. L'évaluation de la viabilité économique du champ solaire, réalisée par la suite a permis d'en déduire que l'implantation d'un champ solaire SD au niveau de la localité de Tissemsilt est possible et est économiquement viable et rentable pour des prix de revient du kWh inférieurs au prix de vente unitaire pratiquée sur le marché mondial. Par ailleurs, l'étude a fait ressortir que pour un capital d'investissement allant de 1696 €/kWh, le remboursement du projet est réalisable au bout de 25 années d'exploitation et avec un prix de revient unitaire

de 0.114 €/kWh, soit l'équivalent de 12 dinars algériens. Ceci dit que les champs solaires SD sont une alternative réelle et une opportunité à portée de main qu'il faut saisir.

Les résultats d'évaluation des délais d'amortissement (DA) en fonction des prix de P_{vu} revient unitaires (P_{vu}) et des capitaux d'investissement par unité de puissance produite (CC) et rapportés dans le tableau récapitulatif :

CC €/KWh	P_{vu_min} €/KWh	DA correspondant à P_{vu_min} années	P_{vu} correspondant à DA 25 ans, €/KWh
4000	0.25	40.6	0.27
5000	0.295	46.5	0.34
6000	0.35	54	0.407
7000	0.41	51	0.47
8000	0.468	51	0.54

Tableau I.3. Evaluation des délais d'amortissement (DA).

S. Guenifi [9] a présenté une étude sur la faisabilité des applications solaires utilisant des capteurs solaires plans (CSP) en fonction de leur température de sortie. Il a analysé deux applications de l'énergie solaire : le chauffage et le séchage. A travers des illustrations il a montré que les besoins en chauffage comme en séchage peuvent être couverts par la chaleur extraite des capteurs solaires plans à air.

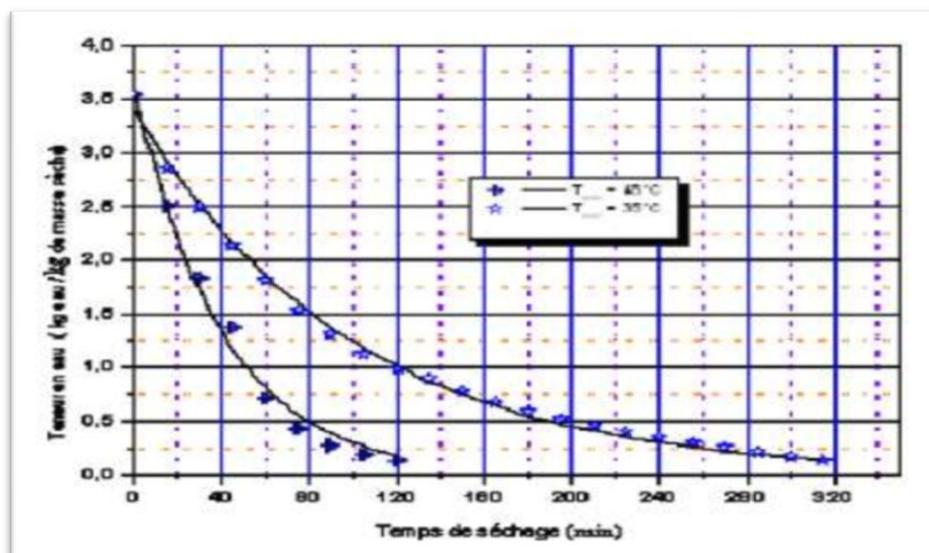


Figure I.12. Effet de la température de séchage à l'entrée de la chambre de séchage sur la variation de la teneur en eau au cours du temps pour la claie N° 3.

Le travail de **B. Khaled** [9] s'est intéressé principalement à l'étude de système de chauffage solaire et comporte une étude détaillée des capteurs solaires.

La simulation de l'installation solaire s'est faite par le logiciel RETScreen pour calculer l'installation d'un chauffage solaire d'un bâtiment de la localisation d'El Mellah de la wilaya d'Annaba en Algérie. Il a déterminé aussi le régime de fonctionnement, compté le nombre des capteurs et leurs surface de captage pour évaluer la production d'énergie nécessaire.

La figure I.12 présente les résultats obtenus à l'aide de logiciel RETScreen :

Système de positionnement solaire		Fixe	
Inclinaison	*	45,0	
Azimet	*	0,0	
<input type="checkbox"/> Afficher information			
Chauffe-eau solaire			
Type	À vitrage		
Fabricant	Viessmann		
Modèle	VitoSol 100 5 m2 DI		
Surface brute par capteur solaire	m ²	5,26	
Surface de captage par capteur solaire	m ²	4,92	
Coefficient Fr (tau alpha)		0,72	
Coefficient Fr UL	(W/m ²)/°C	4,16	
Coefficient de température de Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000	
Nombre de capteurs		3	1
Surface du capteur solaire	m ²	15,77	
Capacité	kW	10,33	
Pertes diverses	%	10,0%	
Infrastructures connexes et divers			
Stockage		Non	
Échangeur de chaleur	oui/non	Non	
Pertes diverses	%	10,0%	
Puissance de pompe / surface du capteur solaire	W/m ²	100,20	
Prix de l'électricité	\$/kWh	0,390	
Sommaire			
Électricité - pompe	MWh	1,9	
Chaleur fournie	MWh	5,4	
Taux de recouvrement de la charge	%	129%	
<input type="checkbox"/> Système de production de chaleur			
<input type="checkbox"/> Vérification du projet			
Type de combustible		Cas de référence	Cas proposé
Rendement saisonnier		Gaz naturel - m ²	Gaz naturel - m ²
Consommation de combustible - annuelle	m ³	#DIV/0!	#DIV/0!
Prix du combustible	\$/m ³		
Coût en combustible	\$	#DIV/0!	#DIV/0!

Figure I.12. Surface de capteur nécessaire selon les paramètres installés.

A. Belouadah [11] a mené une étude technico – économique d'un projet de chauffage solaire. Dans ce travail, elle a élaborée une étude comparative entre trois sites Algériens, en l'occurrence Alger, Tamanrasset et Biskra. La simulation s'est faite par le logiciel RETScreen.

Les résultats obtenus sont présentés sur la figure I.14 et les tableaux I.4 suivants :

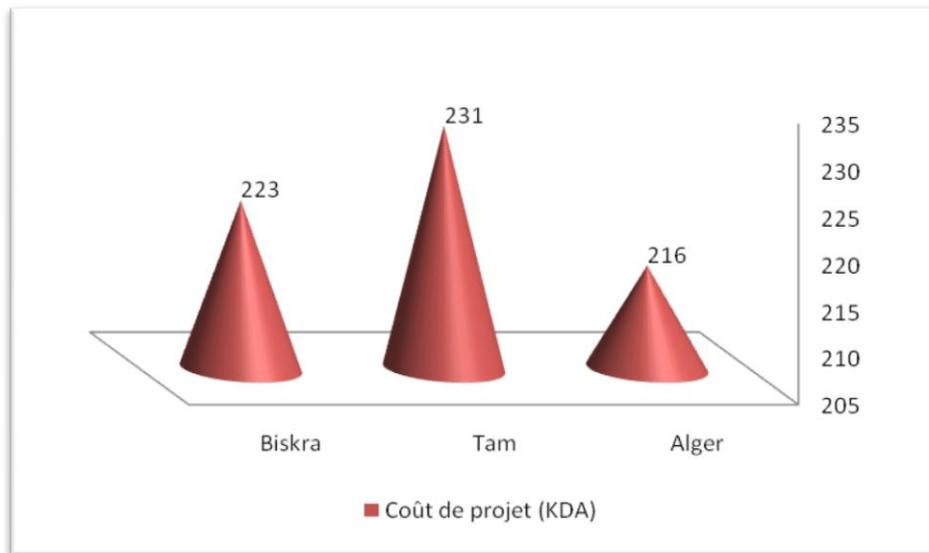


Figure I.14. Comparaison entre les coûts (en KDA) du projet photo thermique Estimés par RETScreen

Équipements et exploitation	PRIX (KDA)		
	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Capteur solaire		140	
Ingénierie		20	
Tuyauterie boucle solaire		20	
Pompe		4	
Structure portants		6	
Plomberie et contrôles		5	
Installation des capteurs		2	
Installation tuyauterie		2	
Installation des autres composants		3	
Taxes foncières et assurances		2	
Main d'œuvre		5	
Frais imprévus	2	7	4
Transport	5	15	10
Coût de projet (KDA)	216	231	223

Tableau I.4. Coûts d'un projet Photo Thermique estimés utilisant le logiciel RETScreen.

La thèse de Doctorat de **F.Aissaoui** [12] est axée sur les énergies renouvelables, et a pour finalité de quantifier l'échange thermique par le biais d'une étude expérimentale accompagnée d'une modélisation mathématique en régime stationnaire et transitoire des différents types des capteurs solaires plans à air simple et double passe avec et sans chicane. Les équations des bilans énergétiques ont été établies sur les différents composants des insolateurs (vitre, absorbeur, fluide caloporteur et la plaque inférieure). Les systèmes d'équations ont été résolus par la méthode des différences finies pour calculer les températures au niveau de chaque élément des capteurs. En outre, une évaluation détaillée du rendement thermique et une étude paramétrique des capteurs solaires à air avec des rugosités artificielles ont été faites. La simulation numérique a été vérifiée par une analyse expérimentale de la performance thermique d'un panneau solaire placé dans le site de Biskra et il a constaté un bon accord qualitatif et quantitatif entre les résultats expérimentaux et numériques.

On peut tirer les résultats suivants :

- Le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale.
- L'augmentation de la température ambiante favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur.

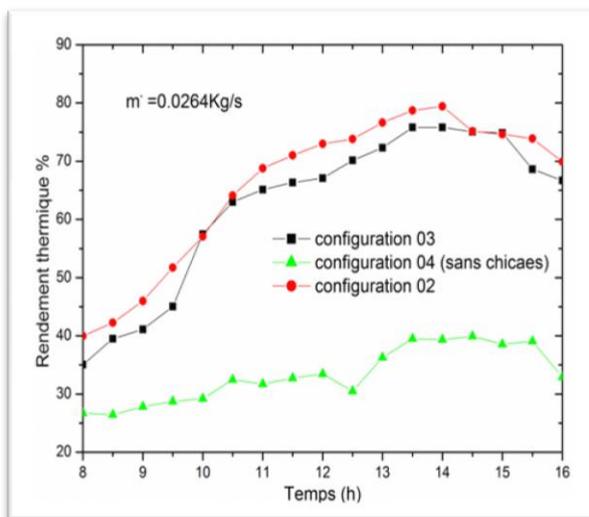


Figure I.15. Variation du rendement thermique en fonction du temps.

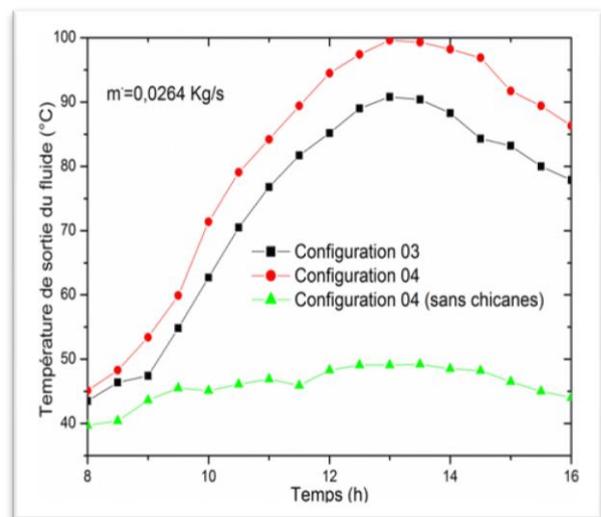


Figure I.16. Variation de la température de sortie en fonction du temps.

A. Bada [13] a présenté une étude des apports énergétiques d'un local. L'objectif de ce travail est de calculer l'énergie solaire et la surface des collecteurs solaires nécessaires pour chauffer un espace domestique, c'est-à-dire une maison individuelle dans la ville de Biskra,

Algérie. Les résultats montrent que le recours au chauffage solaire de cette habitation est nécessaire pendant six mois, à des degrés différents. Et, que la surface des capteurs solaires nécessaire au mois de janvier est évaluée à 71 m² pour un rendement des capteurs égal à 0,5 et 51 m² pour un rendement de 0,7. Il paraît que cette surface est assez importante et son installation requiert certaines considérations architecturales liées à l'image de l'habitation. Les résultats de la consommation d'énergie de chauffage moyenne mensuelle et de températures ambiantes mensuelles (2016) obtenues dans les figures suivants :

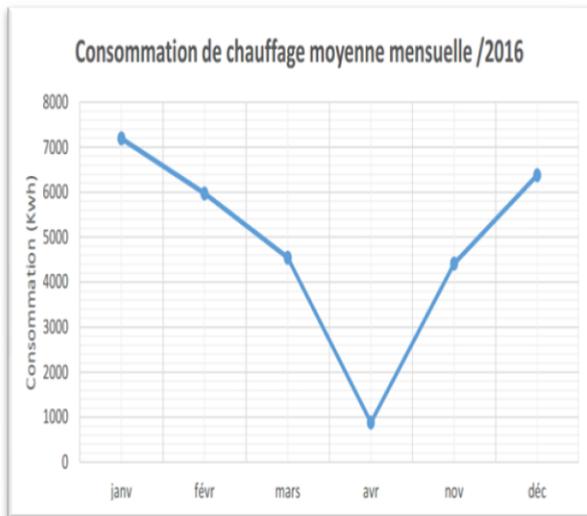


Figure I.17. Consommation de chauffage moyenne mensuelle (2016).

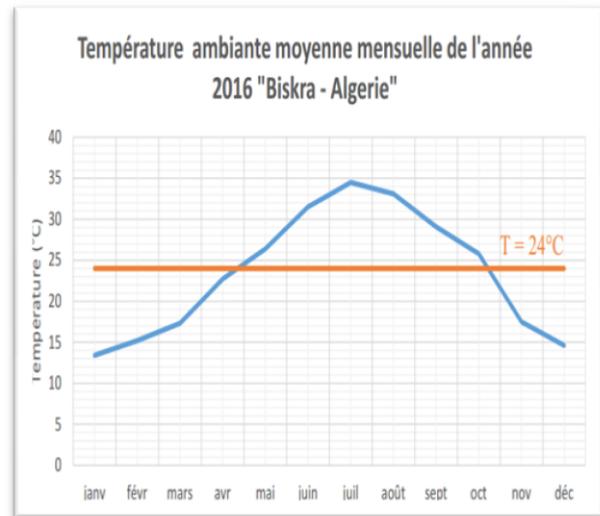


Figure I.18. Température ambiante moyenne mensuelle de l'année 2016

« Biskra – Algérie ».

K. Benlecheheb et N. Benallou [14] ont présenté une étude du réseau de chauffage à eau chaude qui a été menée afin de chauffer les salles d'études d'une école primaire. Les moyens institutionnels étudiés sont situés dans la zone de Ain Defla (zone climatique B) dans le but de fournir l'énergie nécessaire pour répondre aux besoins des occupants (étudiants et enseignants). Pour ce faire, la méthode donnée par le document technique réglementaire algérien (DTR-C32) a été adoptée pour le calcul thermique des différents paramètres. Le travail effectué a permis la conception d'un système de chauffage à eau chaude fonctionnant en régime de température 80°C/60°C où l'acier noir a été choisi pour la tuyauterie utilisée compte tenu de ses propriétés thermodynamiques et ses avantages précieux. Il convient de noter que la conception des éléments chauffants a été réalisée en majorant les pertes thermiques de chaque local de 20%. Ce projet sera une future solution pour les écoles rurales.

L'étude de **S. Arezki et H. Damous** [15] avait pour but l'étude thermique d'un chauffe-eau solaire qui met l'eau en contact direct avec l'absorbeur. Ce mémoire nous a permis de mettre en place un outil théorique permettant d'étudier le transfert de la chaleur dans un capteur solaire thermique avec l'eau en contact direct avec l'absorbeur et la vitre. La méthode des différences finies a été adoptée pour résoudre numériquement les équations régissant les transferts. Les résultats de la simulation numérique ont permis d'analyser la distribution de la température de l'eau dans les différents composants de l'installation et d'examiner les performances du capteur étudié. Les résultats discutés dans cette étude ont considéré qu'une installation comportant un capteur de 1 m² et un volume d'eau de 50 L est l'idéal pour satisfaire les besoins en eau chaude pour une personne car la température atteinte au bout de deux heures et demi est 49 °C, pour satisfaire toute une famille il faut augmenter ces deux paramètres (surface du capteur et volume du réservoir).

Pour un débit de 0.014 kg/s, rayonnement solaire de 1000W/m² et un réservoir de 50 L :

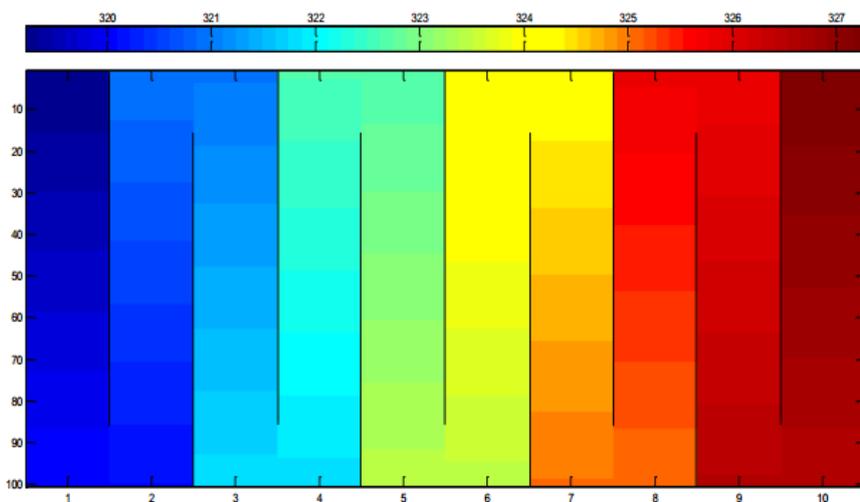


Figure I.19. Distribution de la température de l'eau dans le capteur.

I.3. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une revue bibliographique sur le chauffage solaire. Dans cette étude, des travaux effectués par de nombreux chercheurs prouvent clairement à l'évidence de l'utilisation de chauffage solaire et ses applications à travers presque le territoire algérien. Les résultats présentés dans ce chapitre montrent que le sujet étudié est important.

Chapitre II

Technologie des systèmes de chauffage

II.1.Introduction

La technologie de chauffage solaire repose sur les systèmes dits capteurs solaires. Ils sont de différents types selon : la conception (géométrie, matériaux utilisés, nombre de vitrages, température obtenue, nature du fluide caloporteur...etc.).

Le chauffage sanitaire de l'air ou de l'eau chaude diffère de celui-ci en termes de source. Donc par comparaison au chauffage classique le chauffage solaire est un procédé qui permet le confort d'air d'un local mais qui utilise la source solaire. Les systèmes solaires combinés et les chauffe-eau solaires sont des systèmes thermiques actifs qui utilisent l'énergie solaire pour couvrir une partie des besoins qui sont soit pour l'eau chaude à sanitaire ou pour le chauffage. Donc dans ce chapitre, nous présenterons tout cela.

II.2. Énergie solaire

Énergie produite à partir de la conversion du rayonnement solaire, c'est une énergie renouvelable. C'est également une source d'énergie intermittente. L'énergie solaire, peut être convertie en chaleur ou en électricité.

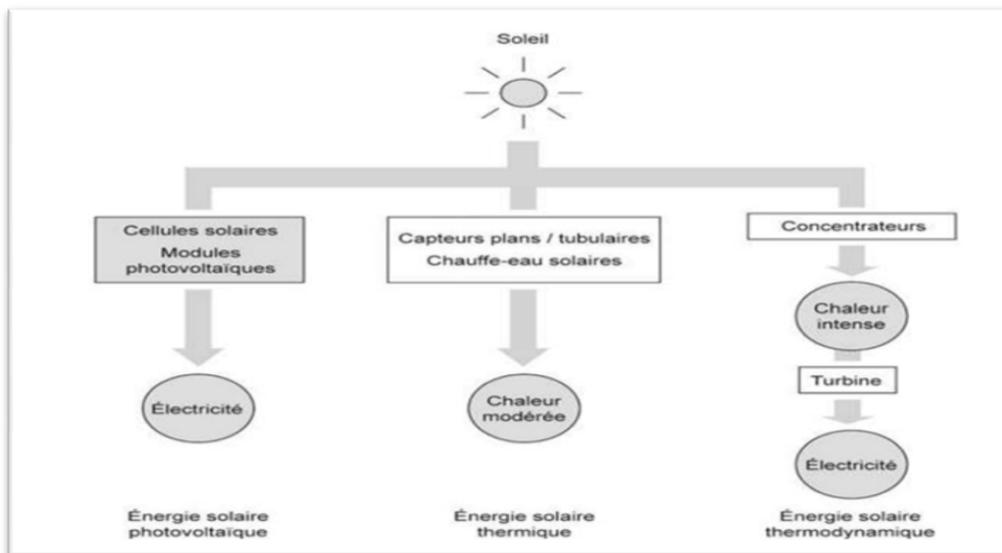


Figure II.1. Différents modes d'exploitation de l'énergie solaire [16].

II.2.1. Énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique consiste à produire de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge du Soleil afin de chauffer de l'eau, de l'air ou un autre fluide. La technologie est assez simple, comparée au photovoltaïque, donc moins onéreuse. Il s'agit de capter les calories grâce à des surfaces, des plaques métalliques peintes en noir et transférer en énergie calorifique utilisable par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur.

On distingue deux grandes familles de capteurs solaires : les concentrateurs solaires et les capteurs solaires plans [17].

II.2.2. Energie solaire électrique

L'énergie solaire électrique est transformée directement en électricité par des panneaux solaires photovoltaïques grâce à des photovoltaïques de silicium.

II.2.2.1. Principe de conversion photovoltaïque

Cette conversion d'énergie s'effectue par l'utilisation d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Lorsque la cellule semi-conductrice absorbe suffisamment de lumière solaire, des électrons sont arrachés aux atomes de la cellule par les photons et créent un courant électrique [18].

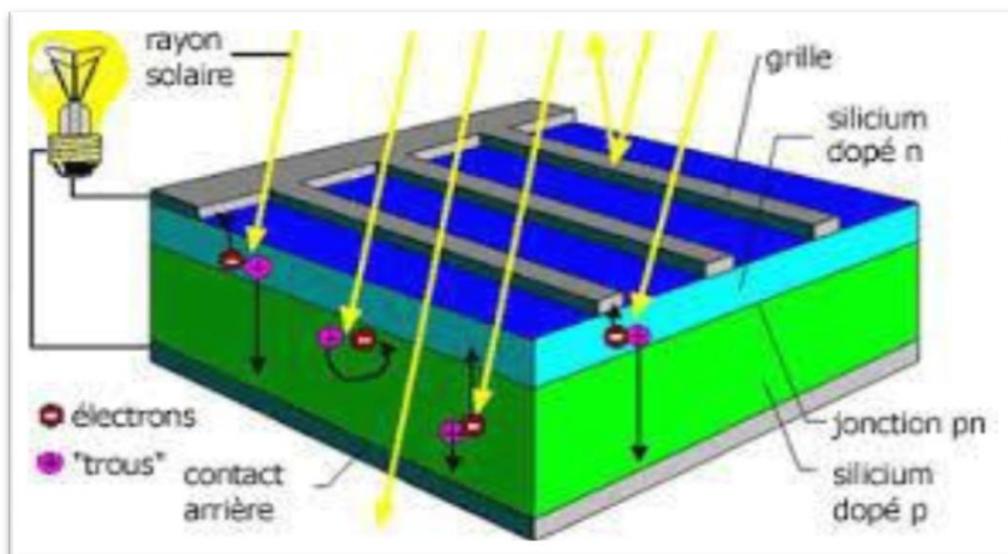


Figure II.2. Principe de Conversion de l'énergie solaire photovoltaïque [18].

II.3. Eléments constitutifs d'une installation thermique

Tout système de conversion thermique de l'énergie solaire se compose des éléments suivants:

- ✓ Un capteur solaire
- ✓ Un circuit caloporteur permettant de transférer l'énergie absorbée par le capteur à l'accumulation ou à l'exploitation. Les fluides utilisés généralement comme fluide caloporteur sont : l'eau et l'air.
- ✓ Un stockage thermique.
- ✓ Un réseau de distribution [7].

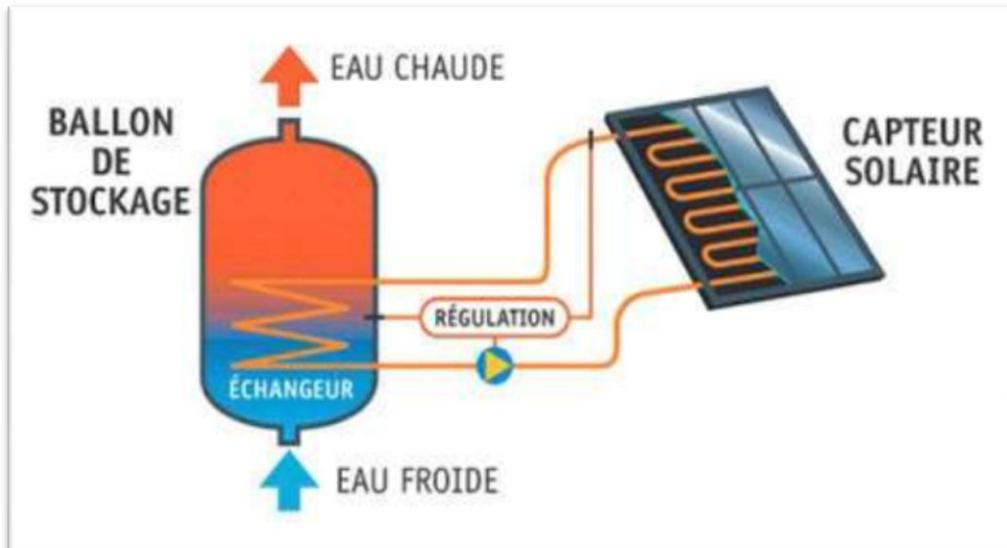


Figure II.3. Schéma de principe d'une installation solaire thermique [7].

II.3.1. Capteur solaire

Le capteur solaire est l'élément de base pour recevoir l'énergie solaire et la transformer cette énergie par rayonnement par un fluide caloporteur en une énergie utile (chaleur). Cette énergie thermique peut ensuite être utilisée pour le chauffage de bâtiments, pour la production d'eau chaude sanitaire Etc.

II.3.1.1. Composition des Capteurs solaire thermiques

Un capteur solaire thermique à eau est constitué d'un coffre vitré, composant une plaque et des tubes métalliques noirs (absorbeurs) qui reçoivent le rayonnement solaire, chauffant un liquide caloporteur (voir Figure II.4) [17].

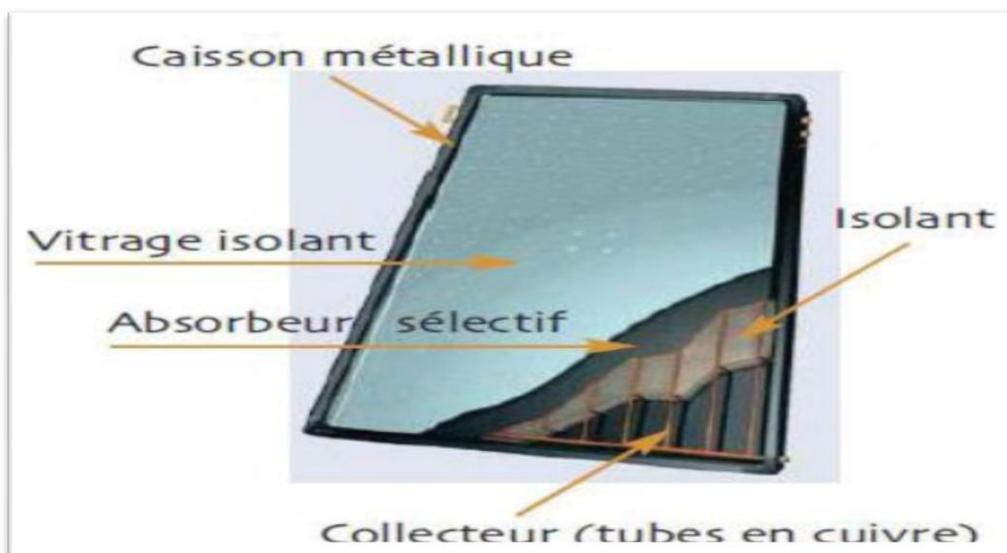


Figure II.4. Constituants d'un capteur solaire thermique [17].

A. Couverture transparente :

Utilisant l'effet de serre, la couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Généralement, on utilise le verre comme couverture transparente. Le verre utilisé laisse passer le rayonnement solaire de faible longueur d'onde (UV et visible) et réfléchit les rayons infrarouges émises par l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre. La qualité du verre est caractérisée par son rendement optique ou taux de transmission τ qui dépend de la nature et de l'épaisseur du vitrage.

B. Surface Absorbante :

L'absorbeur capte au maximum le rayonnement solaire et en réémet le moins possible. En effet, l'absorbeur, en chauffant, réémet des rayons infrarouges. Le revêtement de la surface est donc très important : il définit les caractéristiques de l'absorbeur qui sont l'absorption α du rayonnement solaire et l'émission ε des rayons IR. Une surface absorbante aura des performances optimums lorsque $\alpha = 1$ et $\varepsilon = 0$. De telles valeurs peuvent être obtenues grâce à un traitement de surface.

C. Tuyauterie de transport du fluide :

Les tuyaux sont soudés sous l'absorbeur dans lesquels circule un fluide caloporteur (air, eau ou un nano-fluide).

D. Isolant :

Les pertes thermiques vers l'extérieur sont limitées pour optimiser les performances du capteur. Souvent on utilise le polystyrène ou de la laine de verre réalise [17].

II.3.1.2. Différents capteurs solaires thermiques

Il ya plusieurs types de capteurs solaires thermique : les capteurs non-vitrés, les capteurs plans, les capteurs sous vide, les capteurs à concentration.

A. Capteurs plans vitrés :

Ce type de capteur solaire permet une élévation de température par rapport à la température de l'air ambiant qui peut atteindre $+70^{\circ}\text{C}$. Ceci permet de produire de l'eau chaude pour la maison ou pour le chauffage de tous les types de bâtiments. Le capteur plan vitré, le capteur sous vide et le capteur plan non vitré [15].

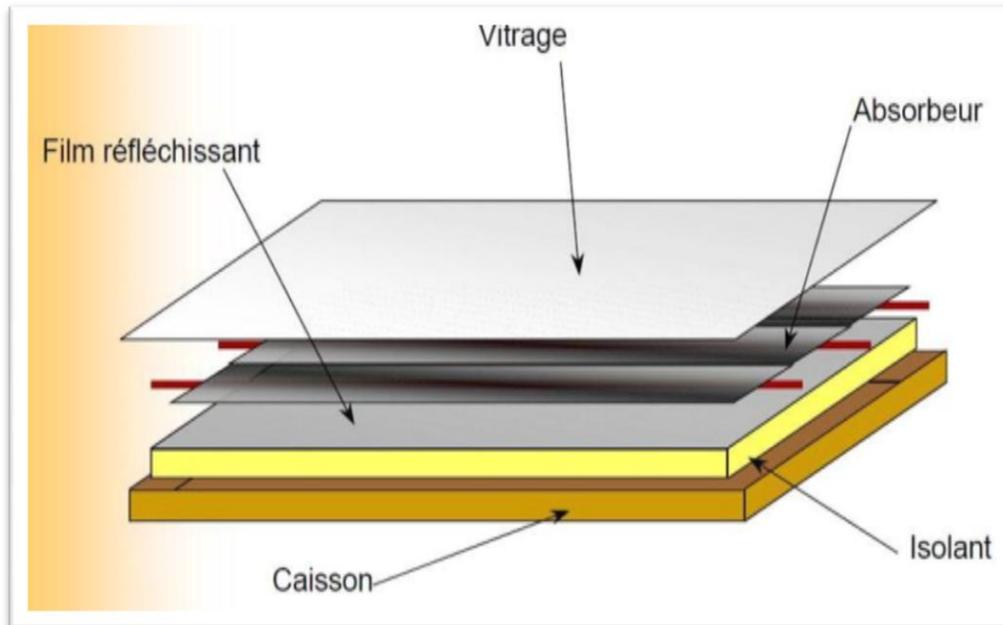


Figure II.5. Composants d'un capteur plan avec vitrage [15].

- Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
- Prix économique.	- Ne marche pas avec les grandes températures.
- Fiabilité.	- En cas d'inexistence de circulation de liquide, la température interne peut être très haute.
- Longue durée de vie.	
- Efficacité énergétique.	
- Intégration aux toitures.	

Tableau II.1. Avantages et inconvénients du capteur plan vitré.

B. Capteurs non vitrés « dit capteurs moquettes » :

Simple et économiques mais moins performants, constitués d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes pour le fluide caloporteur. Ils sont utilisés pour le chauffage des piscines extérieures [19].

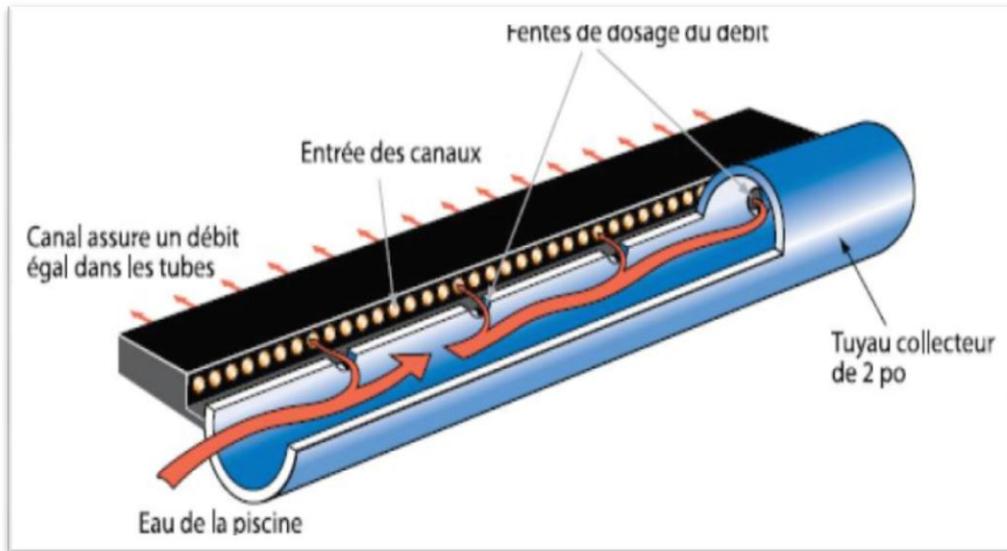


Figure II.6. Capteur non vitré [19].

C. Capteurs sous vide :

Ils sont composés d'une série de tubes en verre transparents dans lesquels on place des plaques absorbantes pour capter le rayonnement solaire. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques [19].



Figure II.7. Capteur sous vide [19].

D. Capteurs à concentration :

Un capteur solaire thermique à concentration est composé:

- ✓ D'un châssis, d'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords.
- ✓ D'un système de réflexion de la lumière.

- ✓ D'un absorbeur et d'un réseau de tubes en cuivre [20].

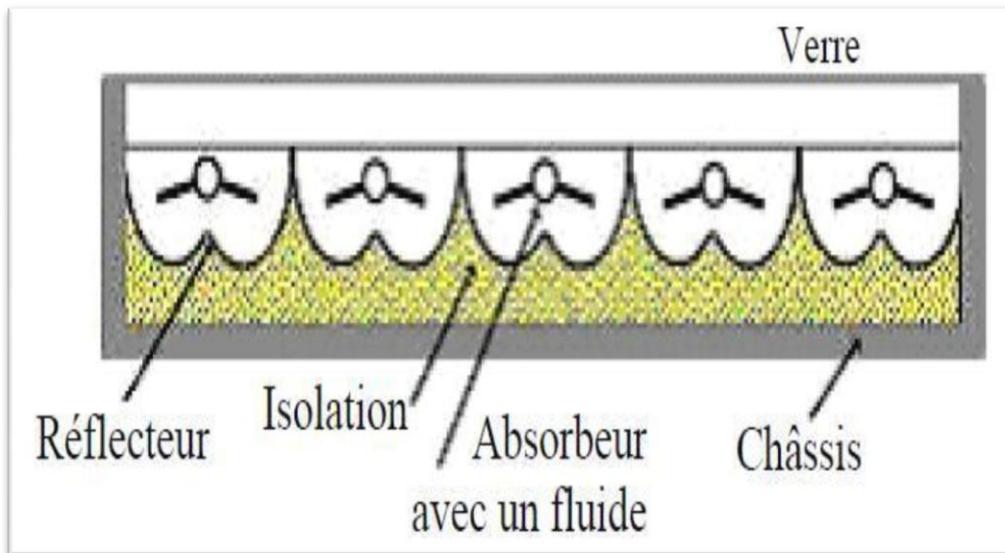


Figure II.8. Capteur à concentration [21].

II.3.1.3. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires

Les paramètres qui affectent le rendement d'un capteur solaire sont :
Paramètres externes, paramètres internes et paramètres de fonctionnements.

➤ **Paramètres externes :**

- Paramètre d'ensoleillement : éclairage énergétique et durée d'insolation
- La température extérieure
- La vitesse du vent

➤ **Paramètres internes :**

- Paramètre de position : l'inclinaison et l'orientation
- Dimensions du capteur: épaisseur, longueur, la largeur et la surface réceptrice.
- La section de passage du fluide.

➤ **Paramètres de fonctionnements :**

- La température d'entrée du fluide dans le capteur.
- Le débit du fluide caloporteur [22].

II.3.2. Fluide caloporteur

Le fluide caloporteur est essentiel pour transporter la chaleur. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique et capacité calorifiques élevées et une faible viscosité. Dans le cas des capteurs plans, on utilise soit de l'air ou de l'eau [7].

Par rapport à l'eau, l'air présente les avantages suivants :

- Il ne présente pas de problèmes de gel pendant l'hiver ou d'ébullition pendant l'été.
- L'air sec ne présente pas de problèmes de corrosion.
- Une fuite d'air est sans conséquence.
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur dans le cas du chauffage de locaux.
- Le système à mettre en place est plus important et plus fiable.

L'utilisation de l'air par rapport à l'eau entraîne les inconvénients suivants :

- Les conduites doivent avoir une grande section pour laisser passer un débit suffisant.
- Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau [23].

II.3.3. Réservoir de stockage

Elle permet de stocker l'eau chaude issue du capteur et peut contenir ou non un échangeur de chaleur. Aussi pour éviter les pertes thermiques vers le milieu extérieur, la cuve de stockage doit être bien isolée en choisissant une épaisseur de l'isolant thermique et économique adéquate (Voir figure II.9).

Suivant la capacité de stockage on distingue deux types :

- Stockage long durée (inter- saisonnier).
- Stockage court durée (ne dépassant pas quelques journées ou quelques heures) [7].

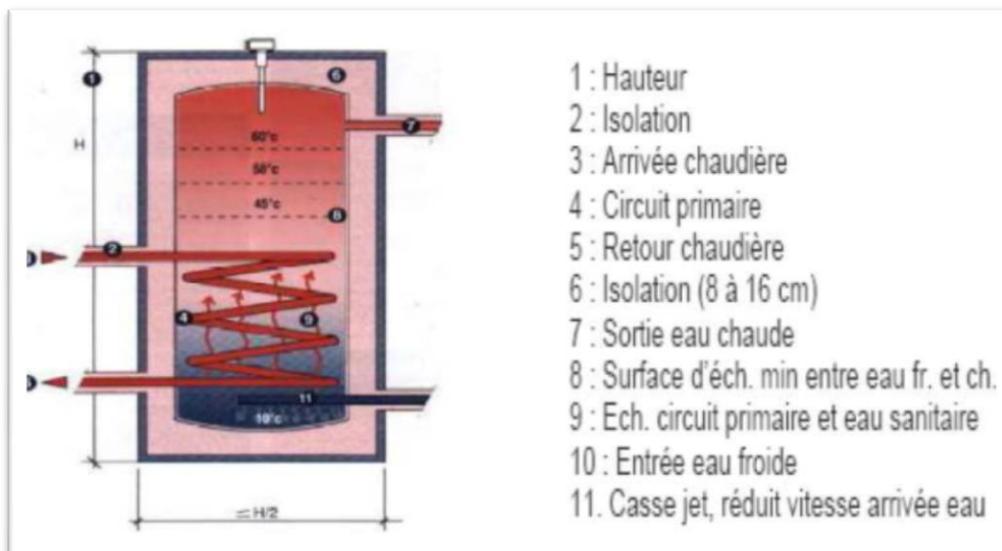


Figure II.9. Cuve de stockage avec échangeur [7].

II.4. Systèmes solaires thermiques

II.4.1. Systèmes solaires de production d'eau chaude sanitaire

II.4.1.1. Chauffe-eau individuels

A. Chauffe-eau sans réservoir :

Appelé chauffe-eau instantané, ne comporte pas de réservoir d'eau chaude ce qui élimine les pertes inhérentes au système par les parois du réservoir et les canalisations d'eau. Ils sont souvent utilisés comme système d'appoint [3].

B. Chauffe-eau solaire thermosiphon :

La circulation de la chaleur passe des capteurs au ballon naturellement sans pompe grâce à la différence de température (convection naturelle). Le ballon doit impérativement être placé plus haut que les capteurs [3].

On désigne deux types des systèmes thermosiphon :

- **Thermosiphon direct (monobloc)**

Dans ce système (figure II.10) l'échange de chaleur entre la partie du fluide chauffée par le capteur solaire et le fluide froid est directement dans le réservoir de stockage [24].

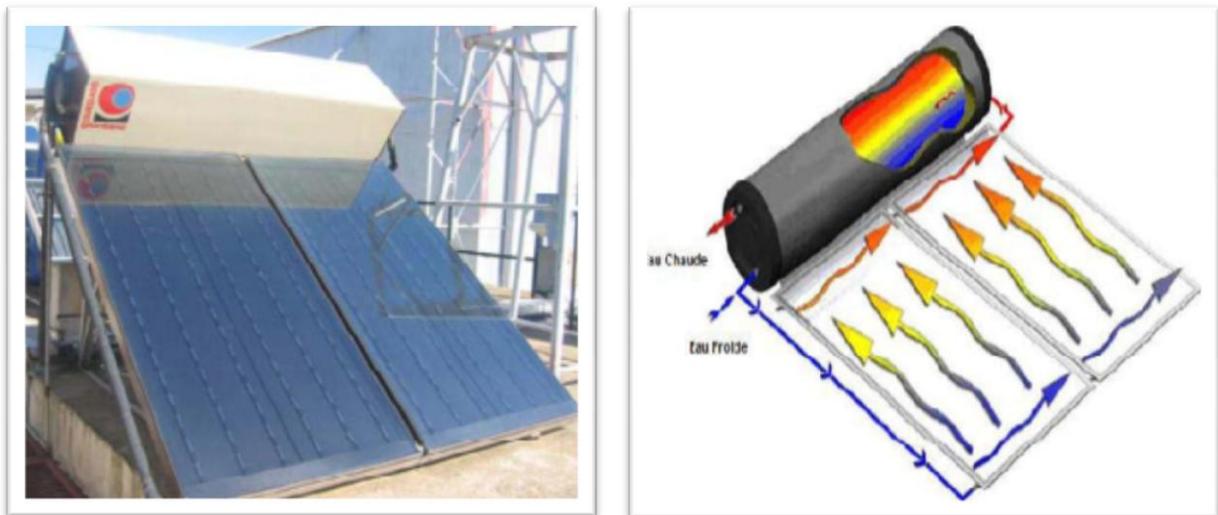


Figure II.10. Système de chauffe-eau solaire thermosiphon directe [3].

- **Thermosiphon indirect (à éléments séparés)**

Dans ce système (figure II.11) l'échange de chaleur entre les deux fluides chaud et froid par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur où le fluide chaud cède sa chaleur indirectement à l'eau (froide) du réservoir stockage [24].

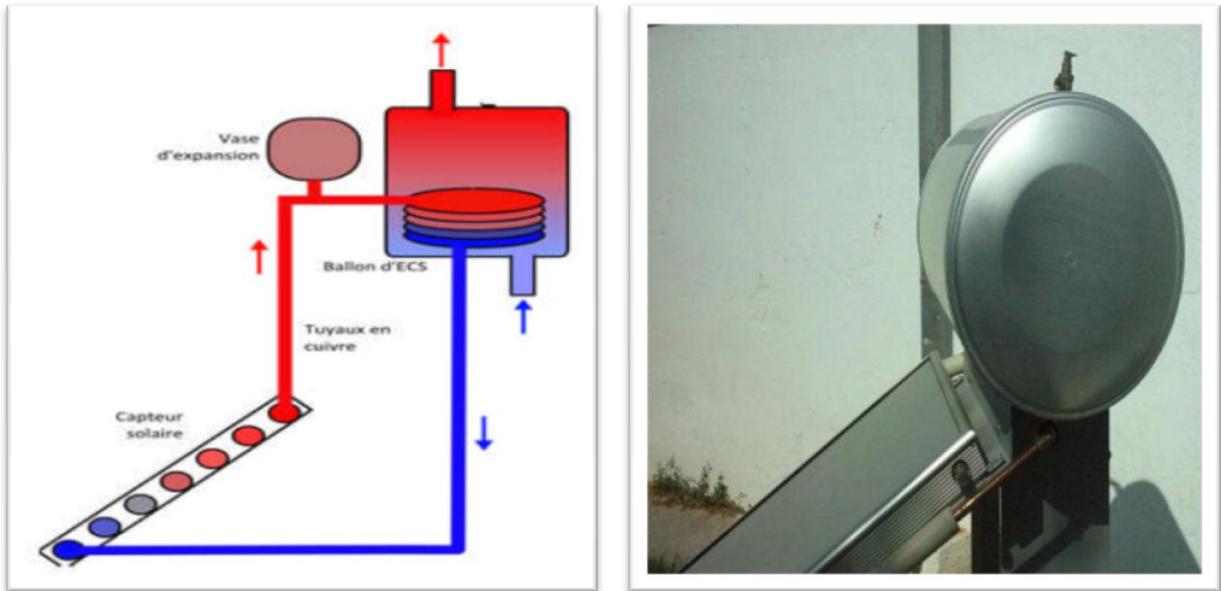


Figure II.11. Système de chauffe-eau solaire thermosiphon indirecte [3].

C. Chauffe-eau solaire à circulation forcée

Une pompe est nécessaire pour faire circuler le fluide caloporteur (Figure II.12). Ce type de chauffe-eau solaire est généralement constitué de trois parties : le capteur solaire, la cuve de stockage, le groupe de transfert et régulation [24].

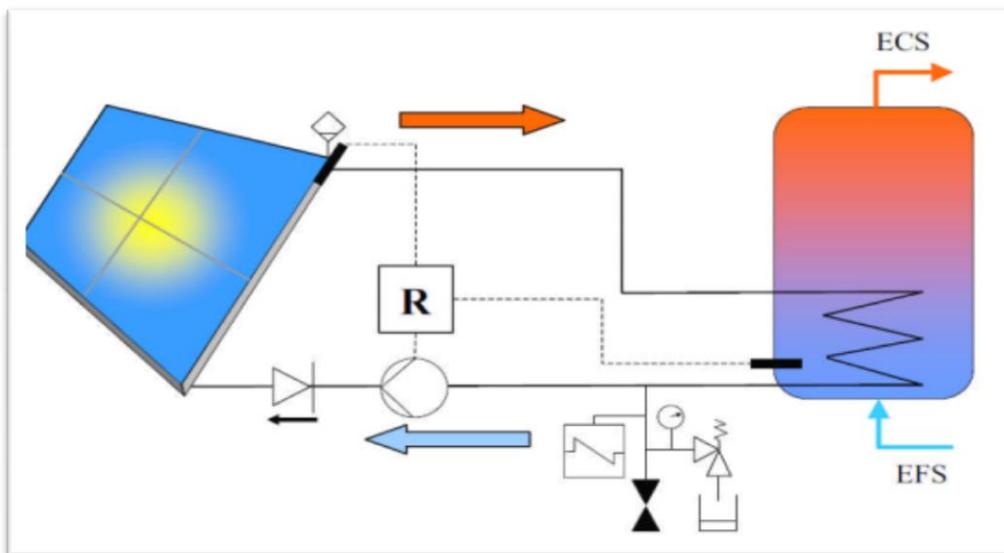


Figure II.12. Système de chauffe-eau solaire à circulation forcée [3].

D. Chauffe-eau solaire auto vidangeable à circulation forcée

Les capteurs et leurs canalisations se vident automatiquement à l'arrêt de la pompe dans une bouteille de récupération.

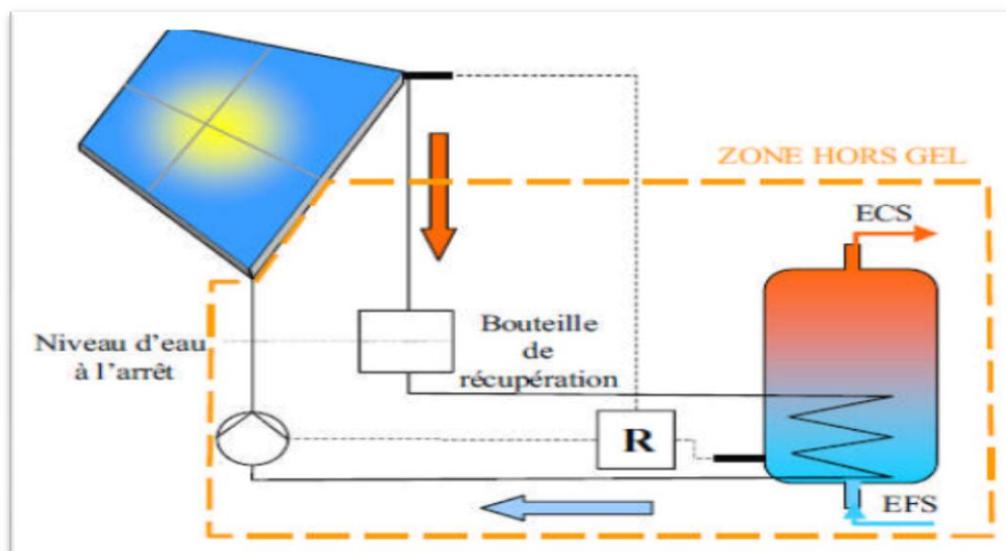


Figure II.13. Système de chauffe-eau solaire auto vidangeable à circulation forcée [3].

Le tableau ci-dessous présente une comparaison entre les configurations de CESI.

Comparaison des configurations de CESI

	<i>CESI thermosiphon</i>		<i>Le chauffe-eau solaire à circulation forcée</i>	
	<i>Le thermosiphon direct (monobloc)</i>	<i>Le thermosiphon indirect (à éléments séparés)</i>	<i>Le chauffe-eau solaire autovidangeable à circulation forcée</i>	<i>Le chauffe-eau solaire à circulation forcée</i>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Capteurs et ballon intégrés sur un même châssis rigide. - Pose facile, coût réduit. - Absence de pompe. - Fiabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuité de la production d'ECS solaire en cas de coupure d'alimentation électrique. - Système sans régulation. - Risques de pannes pratiquement exclus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Système adapté à toutes les configurations d'habitat. - Risques de pannes faibles. - Système performant. - Contrôle en température du ballon. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sécurité du système en cas de stagnation ou de gel. - Système pouvant fonctionner sans antigel. - Circuit hydraulique simplifié. - Meilleur échange de chaleur (si absence d'antigel).
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - N'est pas adapté aux régions froides. - Stockage soumis directement aux actions extérieures. - Poids important. - Limitation de la température de stockage à l'aide de soupapes à commande thermique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en œuvre délicate: les préconisations des fabricants doivent être parfaitement respectées. - Limitation de la température dans le ballon de stockage à l'aide de soupapes à commande thermique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'une régulation différentielle pilotant un circulateur. - Besoin d'une alimentation électrique. - Nécessité d'un liquide caloporteur antigel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Régulation différentielle pilotant une pompe. - Besoin d'une alimentation électrique. - Mise en œuvre délicate. - Moins de flexibilité dans le choix du capteur. - Risque de température de l'absorbeur élevée.

Tableau II.2. Avantages et inconvénients par type de Chauffe-eau individuels [3].

II.4.1.2. Chauffe-eau solaire pour une grande consommation (pour les bâtiments collectifs)

Conçue pour produire d'eau chaude sanitaire dans les internats des écoles et des universités, les établissements sportifs, les hôpitaux, les hôtels [26].

On désigne deux possibilités :

A. production centralise et distribution directe

Cette configuration est mise en œuvre lorsque les besoins d'ECS sont limités.

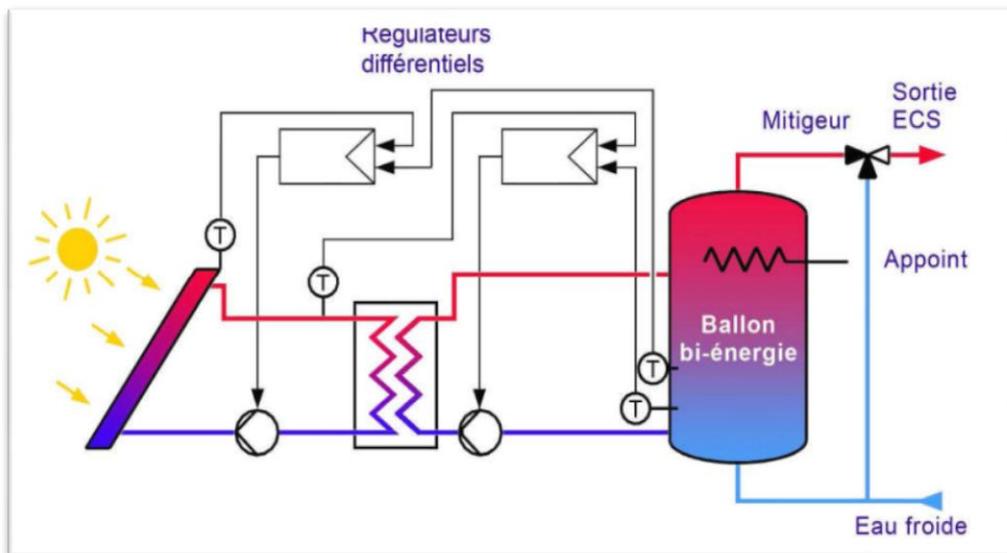


Figure II.14. Système de production centralise et distribution directe [27].

B. Production centralise et distribution par boucle de circulation

Ce type de configuration est adopté lorsque le volume de stockage est plus important.

Il permet aussi un encombrement moindre en hauteur.

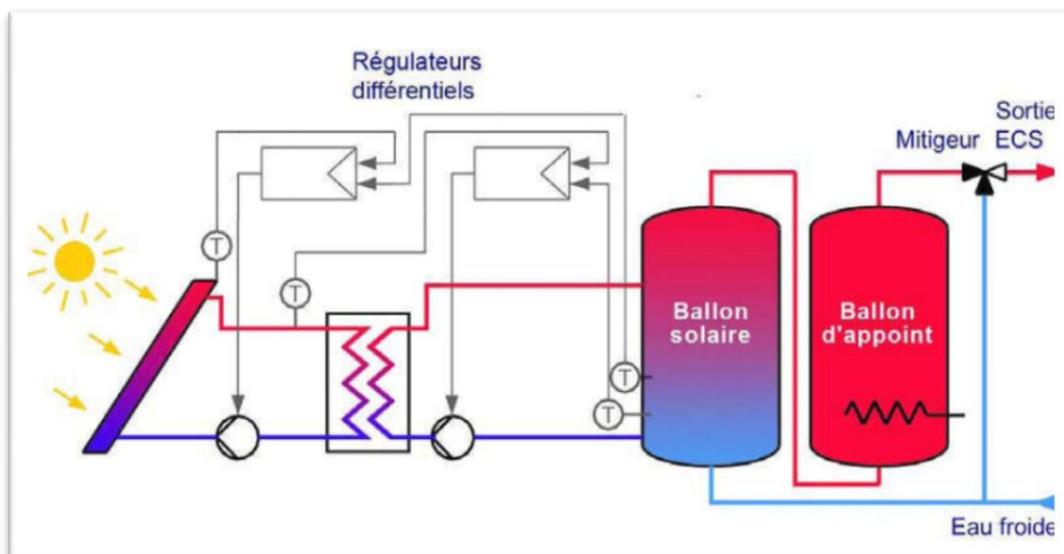


Figure II.15. Système de production centralise et distribution boucle de circulation [27].

Décentralisée, avec une distribution de l'énergie solaire par logement et par ballon. Cette solution est tout particulièrement adaptée aux immeubles d'habitation collectifs.

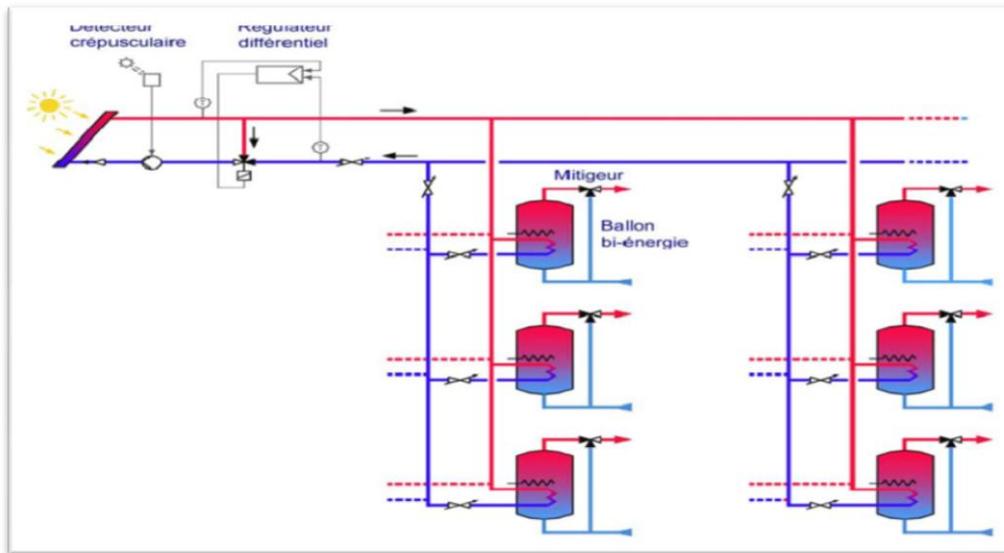


Figure II.16. Système de production solaire collective à appoints individuels [27].

II.4.2. Systèmes de chauffage solaire des bâtiments

On distingue 2 types d'installations :

II.4.2.1. Plancher Solaire Direct (PSD)

Le plancher solaire direct est un système de chauffage solaire qui est essentiellement alimenté par l'énergie du soleil grâce à des panneaux solaires thermiques, ce système utilisé pour chauffer le sol (Figure II.17) [28].

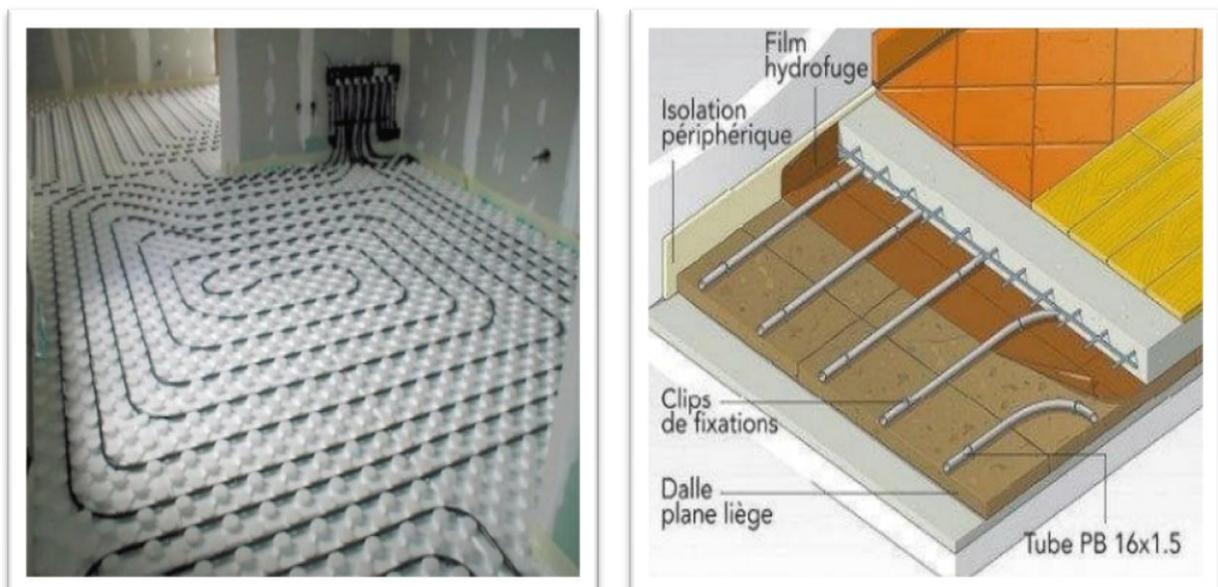


Figure II.17. Le plancher solaire direct [3].

II.4.2.2. Système solaire combiné (SSC)

Un système solaire combiné est une installation solaire qui fournit à la fois de l'eau chaude sanitaire et le chauffage (sur un réseau de radiateurs ou un plancher chauffant). Il est composé:

- De capteurs solaires souvent disposés en toiture.
- D'une dalle laquelle circule le fluide caloporteur.
- D'un ballon de stockage, qui gère le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire [29].

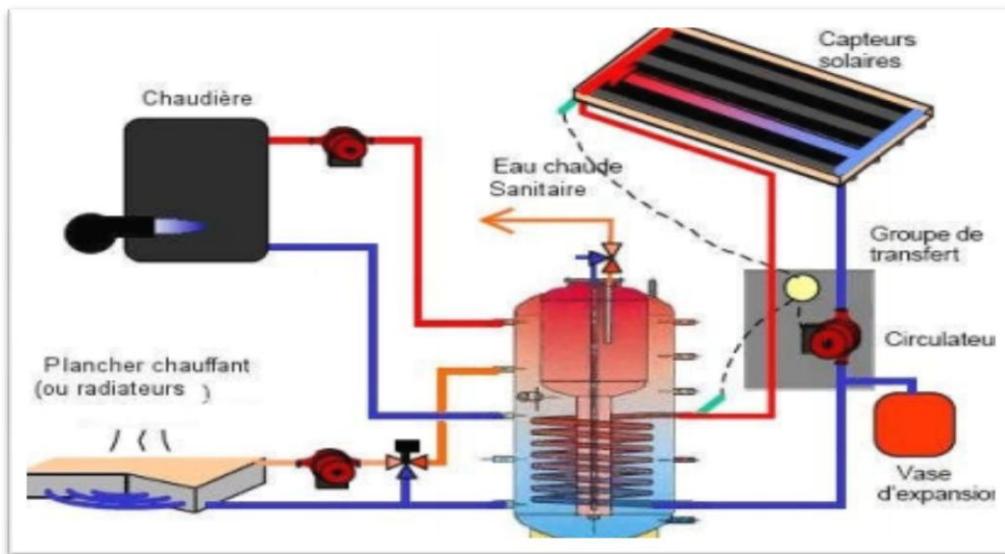


Figure II.18. Système de production eau chaude et chauffage avec appoint intégré [3].

Le tableau ci-dessus présente une comparaison entre les configurations de chauffage solaire des bâtiments.

Comparaison des configurations de chauffage solaire des bâtiments

<i>Le Plancher Solaire Direct (PSD)</i>		<i>Le système solaire combiné (SSC)</i>	
<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Le confort thermique: le sol, servant de radiateur, diffuse la chaleur de façon homogène à travers la maison pour un confort optimal. - L'encombrement est réduit, puisque le stockage solaire pour le chauffage est intégré au plancher. - L'inertie thermique: la chaleur emmagasinée dans la dalle béton pendant la journée continuera d'être diffusée durant la nuit. - Système simple de chauffage solaire qui permet de diminuer de moitié la facture de chauffage. - Système moins coûteux que le système solaire combiné. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ce système solaire requiert un revêtement de sol adapté tel que du parquet ou du carrelage. L'amoquetterie est donc déconseillée. - L'installation du plancher solaire direct (PSD) est plus particulièrement réservée aux 	<ul style="list-style-type: none"> - Système de chauffage solaire automatique (l'énergie d'appoint va faire automatiquement l'appoint du ballon). - Possibilité d'installer un plancher chauffant et/ou des radiateurs basses températures. - Économie plus importante d'énergie et d'argent par rapport au CESI (chauffe-eau solaire individuel). 	<ul style="list-style-type: none"> - Système plus complexe que le plancher solaire direct (régulation, ballon de stockage...). - Système plus coûteux que le Plancher Solaire Direct (PSD). - Besoin de place pour le ballon de stockage "500 litres minimum".

Tableau II.3. Avantages et inconvénients par type de chauffage solaire des bâtiments [3].

II.4.3. Systèmes de chauffage solaire des Piscines

Pour une piscine en plein air (utilisation estivale), les capteurs utilisés seront des capteurs plans sans vitrés. C'est la plus simple des applications solaires. La température atteinte est basse (inférieure à 30°C) et la masse d'eau à chauffer importante ; ces deux paramètres permettent d'obtenir des rendements intéressants [26].

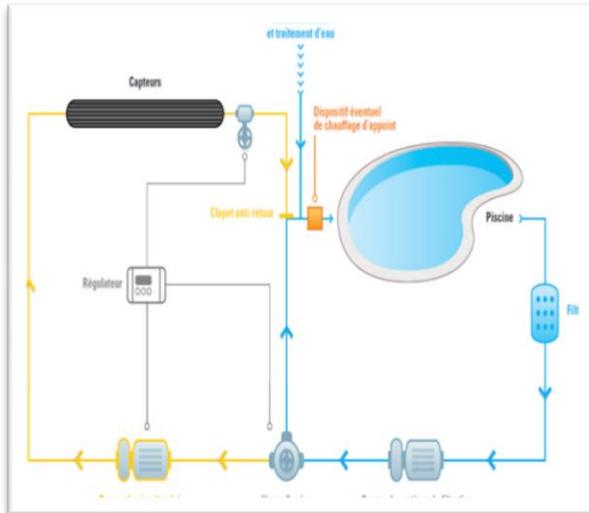


Figure II.19. Système de chauffage solaire pour piscine en plein air avec appoint séparé [26].

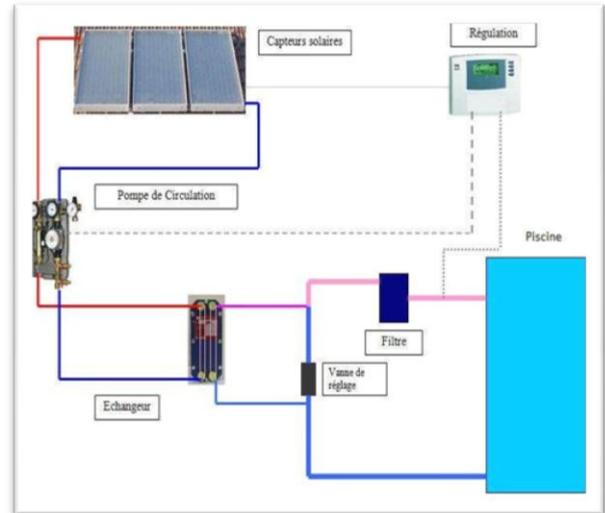


Figure II.20. Système de chauffage solaire pour piscine couverte [3].

II.5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de faire une revue générale des différents types de capteurs et d'installations solaires thermiques utilisées pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, ainsi que d'appréhender leurs technologies. On conclut que les installations de chauffe-eaux solaires sont des utilisations les plus simples de l'énergie solaire. Leur utilisation nécessite une compréhension des éléments sur lesquels on doit choisir le système adéquat par un investissement efficace et rentable.

Chapitre III
Dimensionnement
de l'installation

III.1. Introduction

Il est nécessaire de connaître avec une bonne approximation les besoins thermiques pour déterminer une installation de chauffage solaire (chauffage et chaud eau sanitaire). Ce chapitre sera consacré au calcul des besoins de chauffage et d'eau chaud sanitaire et la surface des capteurs solaires nécessaire pour chauffer sa maison et ses besoins d'eau sanitaire ainsi que des différents composants du système de chauffe, tels que les éléments chauffants (par exemple : les radiateurs).

III.2. Calculs des besoins énergétiques et résultats

III.2.1. Estimation des déperditions thermiques

III.2.1.1. Présentation de l'habitation

Il s'agit d'une habitation individuelle qui est située dans la ville de Biskra. La wilaya de Biskra dont elle est le chef –lieu, située à 470Km environ au sud-est d'Algérie (figure II.3). Biskra est la capitale des monts du Zab (Ziban). Elle est surnommée la reine des Zibans (Arrouss-ezzibane) et la porte du désert [30].

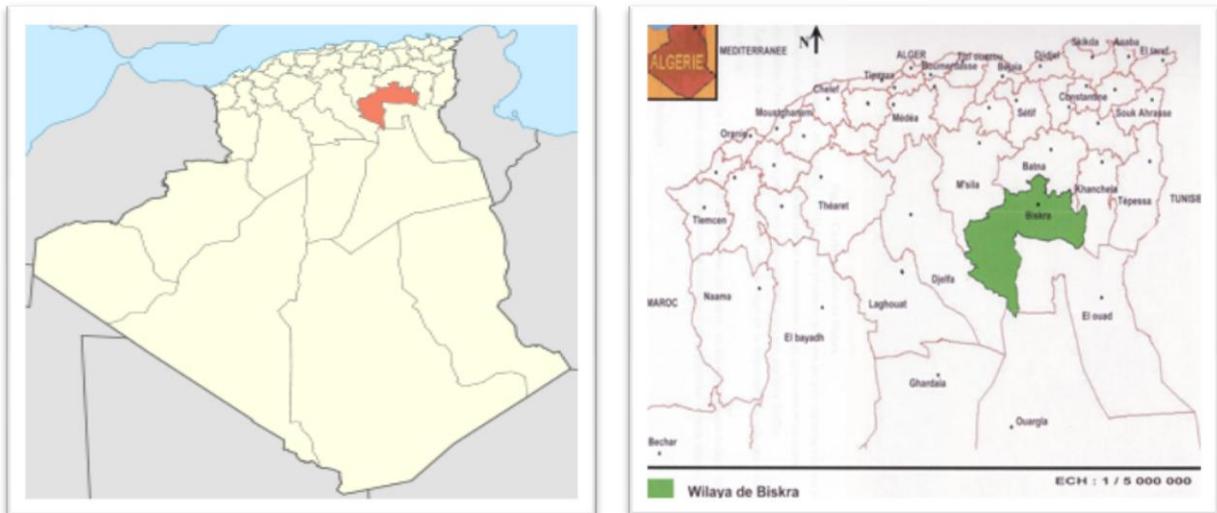


Figure III.1. Situation de la wilaya de Biskra [30].

Le cas d'étude est une habitation individuelle bâtie sur une assiette de 156 m² dont deux façades adjacentes donnent sur deux rues (Est et Nord) (figure III.2) ; et deux murs mitoyens. Elle est composée de deux niveaux : le R-D-C constituant la partie jour comportant un séjour familial, une salle de réception, une cuisine, une salle de bain, un patio et le 1^{er} étage constituant la partie nuit : 04 chambres, une salle de bain et un séjour [13].

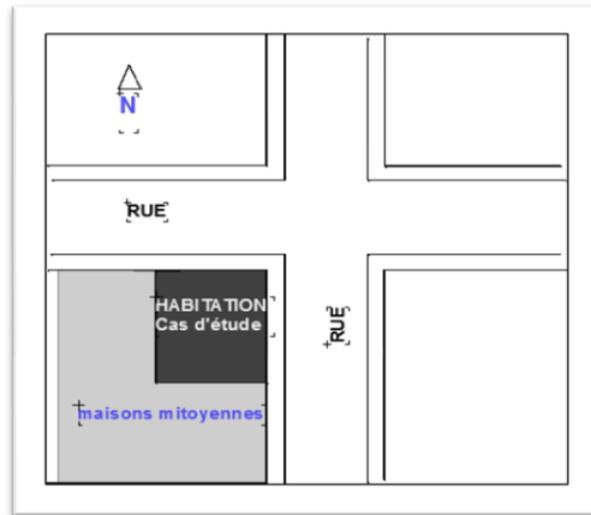


Figure III.2. Plan de situation du cas d'étude [13].

- **Données architecturales de la maison :**

La hauteur des murs	2.80 m
La surface habitable	171.39 m ²
altitude	128 m

- **Données géographiques du site :**

Latitude	34.48 N
Longitude	5.44 E
altitude	128 m

Après avoir calculé les déperditions obtenues, celles-ci sont données dans le tableau suivant [13]:

Déperditions totales du local	810,5W/°C
----------------------------------	-----------

III.2.2. Estimation des besoins en chauffage

La consommation totale en chaleur pendant la période de chauffage (Q) dépend de ces deux grandeurs [6].

Si on désigne par :

D : Déperditions totales du local.

$(T_{in} - T_{am})$: La différence entre la température à l'intérieur et la température extérieure moyenne.

N : Le nombre de jours de chauffage.

La consommation de chaleur de N jours de chauffage est :

$$Q_c = D \times N \times (T_{in} - T_{am}) \quad (\text{III.1})$$

Pour obtenir Q_c en KWh, il faut diviser par 10^3 et multiplier par 24 le résultat.

Pour effectuer ce calcul on suppose que :

- La Température intérieure de base fixée en fonction des besoins des locaux 21°C .
- La Température extérieure : température mensuelle pour le calcul du besoin en chauffage.

- **Calcul la température ambiante mensuelle :**

D'après la figure illustrant la température ambiante mensuelle et la température de confort d'hiver estimée à 21°C , on constate que la température ambiante est en dessous de celle du confort d'hiver pendant une période de cinq mois. (**Annexe 1**)

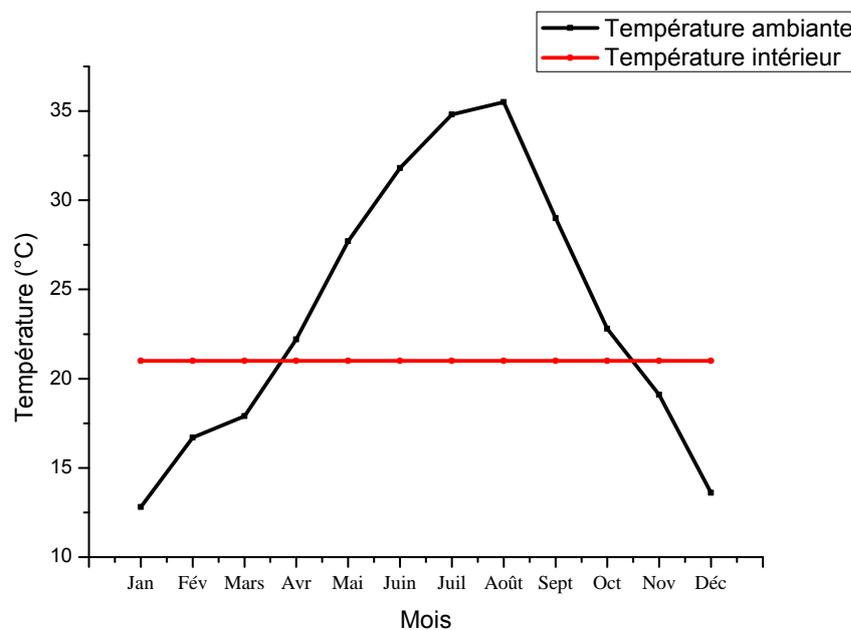


Figure III.3. Température ambiante moyenne mensuelle de l'année 2021 « Biskra».

La figure III.3 représente la température ambiante moyenne mensuelle de l'année 2020 de Biskra et la température de confort d'hiver estimée à 21° . Nous remarquons que la température ambiante est en dessous de celle du confort d'hiver pendant une période de cinq mois, du moins de novembre à mars. La température ambiante minimale en ce qui concerne la température de confort est au mois de septembre (12.8°C), celle maximale est au mois de novembre (19.1°C).

Donc, le besoin en chauffage est extrêmement nécessaire pendant cinq mois dont les valeurs sont représentées dans le tableau ci-dessous :

La température ambiante moyenne en [°C]				
Janvier	Février	Mars	Novembre	Décembre
12.8	16.7	17.9	19.1	13.6

Tableau III.1. Température ambiante moyenne mensuelle.

- **Calcul les besoins en chauffage :**

A partir de l'équation (III.1), on trouve les valeurs des besoins de chauffage Q_c :

Besoins de chauffage/mois (Q_c) en [Kwh]				
Janvier	Février	Mars	Novembre	Décembre
4944.70	2425.66	1869.34	1108.76	4462.29

Tableau III.2. Besoins en chauffage.

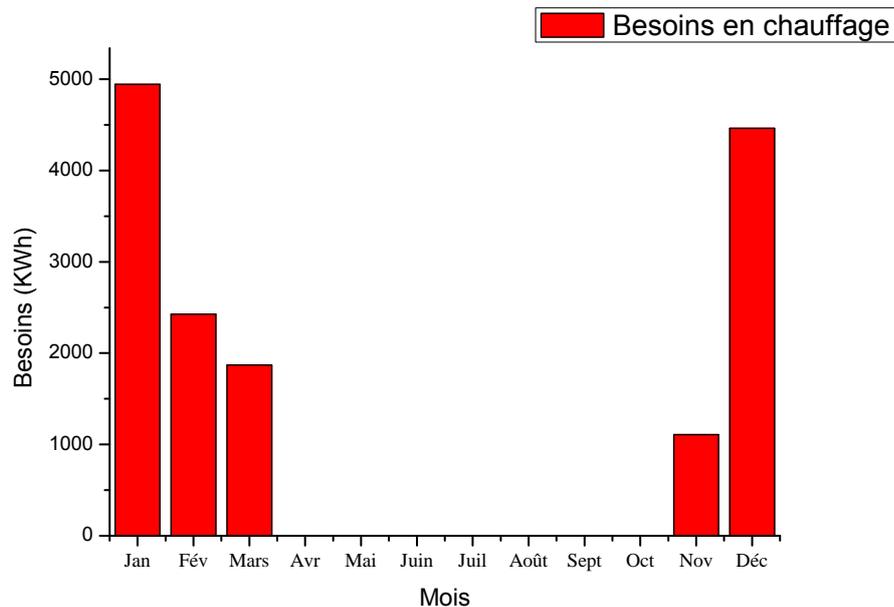


Figure III.4. Besoins mensuels en chauffage.

D'après la figure III.4 illustrant les besoins mensuels en chauffage, on montre que la consommation est plus importante pendant les mois de janvier et décembre, où la consommation maximale enregistrée en un mois de janvier (4944.70 KWh) suivi par celle de décembre (4462.29 KWh), ensuite en février avec une valeur de 2425.66 KWh, puis en mars (1869.34 KWh) et très faible au mois de novembre (1108.76 KWh).

III.2.3. Estimation des besoins en eau chaude sanitaire

La consommation d'eau chaude sanitaire à 50 °C varie en fonction des habitudes des occupants, du type de famille et du nombre de personnes. La consommation d'eau chaude peut être définie comme suit [7] :

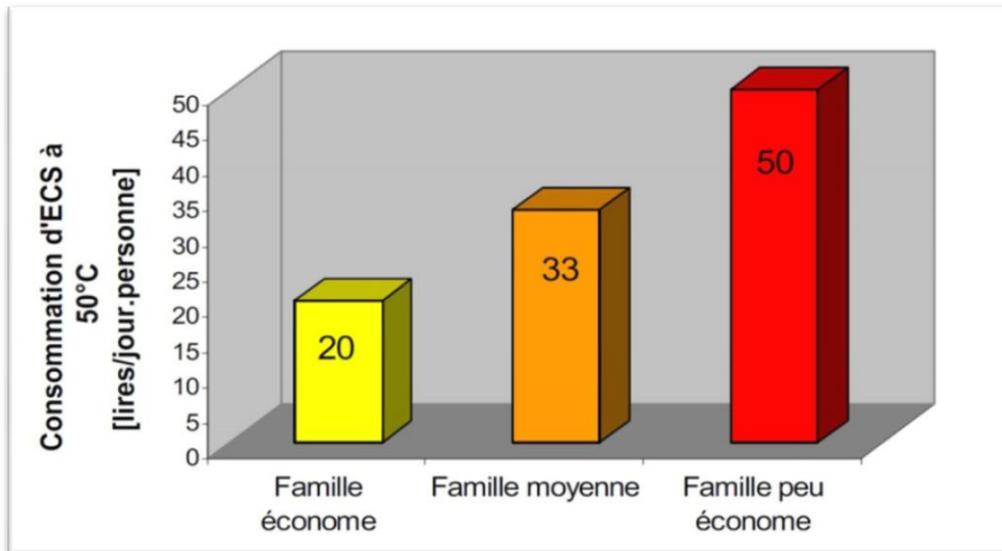


Figure III.5. Consommation d'eau chaude par jour en fonction du type de famille [7].

La quantité réelle d'énergie nécessaire pour la production d'eau chaude sanitaire est déterminée comme étant la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer ce volume de la température de l'eau froide jusqu'à la température demandée.

Si V_s est le volume d'eau chaude à soutirer et T_h la température demandée d'eau chaude, la quantité d'énergie nécessaire Q_{ecs} pour produire l'eau chaude est donnée par [29]:

$$Q_{ecs} = \rho \times C_p \times V_s \times (T_h - T_f) \quad [Joule] \quad (III.2)$$

Où:

C_p : La capacité thermique massique de l'eau (4200 J/Kg /C°).

ρ : La masse volumique (1Kg/l).

T_f : La température de l'eau froide.

Pour obtenir Q_{ecs} en Wh, il faut diviser par 3600.

- **Calcul des besoins en eau chaude sanitaire :**

Les besoins en eau chaude sanitaire en Algérie en moyenne est de 50L/personne par jour (famille moyenne économique). On considère une moyenne de 6 occupants, ce qui nous donne une consommation de 198L/jour pour toute la famille.

- La température de l'eau chaude est prise égale à 30 C°.

- La température de l'eau au réseau est supposée égale à 10 °C en saison froide.
- La température de l'eau au réseau est supposée égale à 15 °C en saison douce.

Mois	T (°C)	Consommation journalière (l/j)	Q _{ecs} (KWh/j)	Q _{ecs} (KWh/m)
Janvier	10	177	4.13	128.03
Février	10	170	3.97	115.13
Mars	10	156	3.64	112.84
Avril	10	148	3.45	103.5
Mai	15	140	2.25	69.75
Juin	15	113	1.98	49.4
Juillet	15	70	1.23	38.13
Août	15	84	1.47	45.57
Septembre	15	127	2.22	66.6
Octobre	10	148	3.45	106.95
Novembre	10	193	4.50	135
Décembre	10	198	4.62	143.22

Tableau III.3. Besoins mensuels en eau chaud sanitaire.

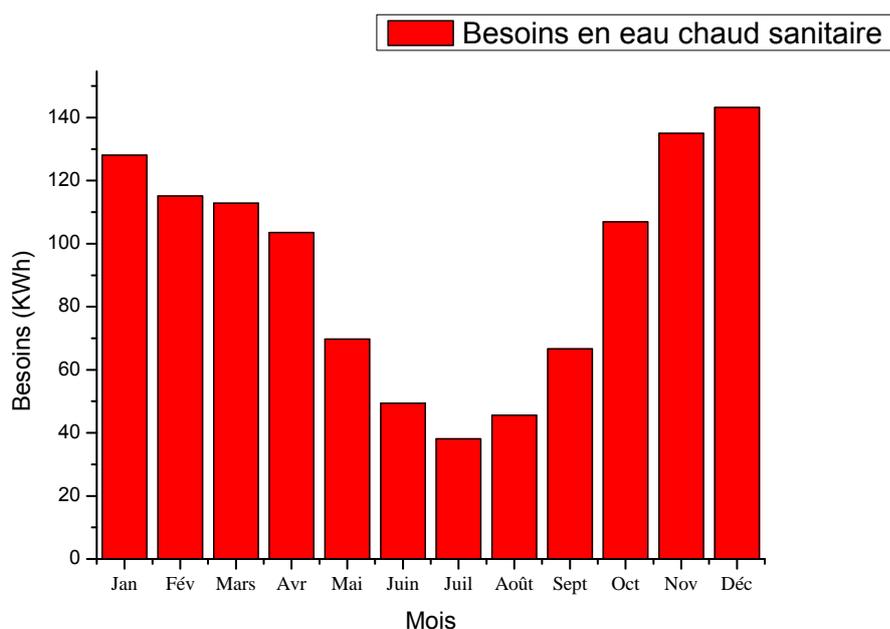


Figure III.6. Besoins mensuels en ECS.

La figure III.6 représente la consommation d'eau chaude sanitaire, où la consommation d'eau chaude saine est plus importante pendant les mois janvier, novembre et décembre avec un pic de consommation enregistré au mois de décembre de l'ordre de 143.22 KWh suivi par celle de novembre (135 KWh) et de janvier (128.03 KWh) . Alors que c'est presque la même chose pendant février (115.13 KWh) et mars (112.84 KWh), aussi au mois d'octobre (106.95 KWh) et avril (103.5 KWh), elle est approximativement la même. La consommation est très faible dans les mois suivants : (mai, juin, juillet, août et septembre), avec un minimum de consommation enregistré au mois de juillet (38.13 KWh).

III.2.4. Récapitulatif des calculs

Mois	Q_c [KWh]	Q_{ecs} [KWh]	$Q_c + Q_{ecs}$ [KWh]
Janvier	4944.70	128.03	5072.37
Février	2425.66	115.13	2540.79
Mars	1869.34	112.84	1982.18
Avril	0	103.5	103.5
Mai	0	69.75	69.75
Juin	0	49.4	49.4
Juillet	0	38.13	38.13
Août	0	45.57	45.57
Septembre	0	66.6	66.6
Octobre	0	106.95	106.95
Novembre	1108.76	135	1243.76
Décembre	4462.29	143.22	4605.51

Tableau III.4. Besoins total en chauffage et en eau chaude sanitaire.

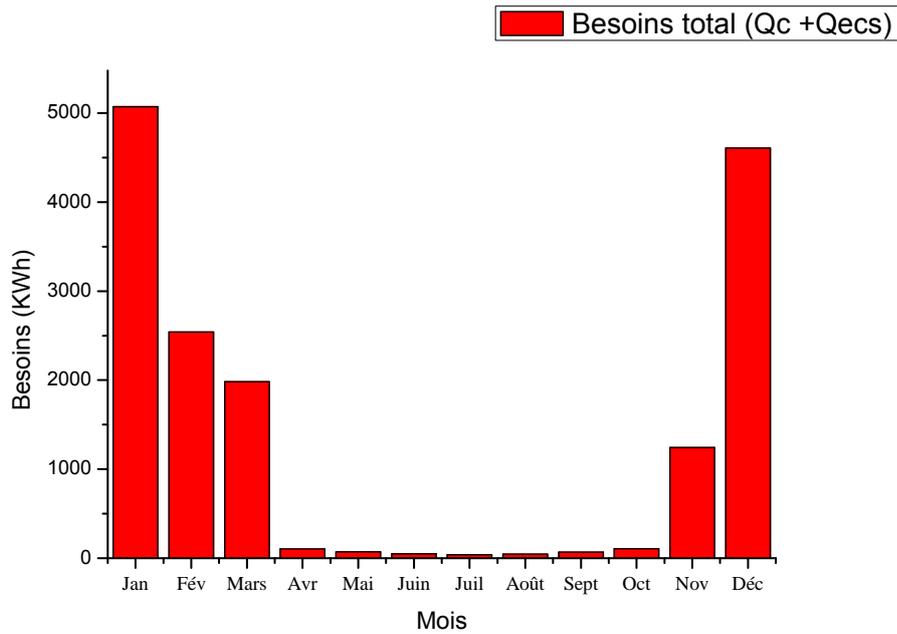


Figure III.7. Besoins total (eau chaude sanitaire et chauffage)

III.3. Dimensionnement des équipements

Les installations solaires thermiques individuelles conçues pour la production d'ECS et le chauffage sont composée de deux éléments principaux (la captation et le ballon d'eau chaude).

III.3.1. Surface de captation

La surface de captation nécessaire est donnée par [29]:

$$S_{cs} = \frac{(\text{besoin en chauffage} + \text{besoin en ECS})}{PSU} \times TCS \tag{III.3}$$

Avec :

TCS : Taux de couverture solaire en [%].

PSU: Puissance solaire utile en [KWh/m²].

III.3.1.1. Choix de capteur

Le capteur utilisé est plan de type SUPER ECO 200 disponible en entreprise de l'ENERGY PANEL [31].

Surface utile	2.38 m²
Glace	Verre normal
Rendement	0.75

Tableau III.5. Caractéristique du capteur utilisé.



Figure III.8. Capteur utilisé

III.3.1.2. Irradiation solaire du site de Biskra

On sait bien que le rayonnement solaire atteint son maximum en été et nous en avons besoin en hiver, nous le calculerons donc dans les cinq mois au cours desquels nous n'avons besoin que de chauffage.

L'irradiations globales de la ville de Biskra sont calculées à l'aide d'une application pour le calcul de rayonnement solaire en Algérie, hébergé dans le site CDER. (Annexe 2) Le calcul a été effectué selon : une orientation Sud et une inclinaison de 45° par rapport à l'horizontale.

P.Astronomique			Irradiation Globale Inclinée	
heures TSV	Azimuth du soleil	Hauteur du soleil	G-inclinée	P.électrique
4h00	-87.3°	0.0°	0	0
5h00	-79.5°	0.0°	0	0
6h00	-71.9°	0.0°	0	0
7h00	-63.9°	0.0°	0	0
8h00	-54.8°	9.8°	314	0
9h00	-44.1°	19.2°	583	0
10h00	-31.4°	26.7°	785	0
11h00	-16.4°	31.8°	911	0
12h00	0.0°	33.5°	954	0
13h00	16.4°	31.8°	911	0
14h00	31.4°	26.7°	785	0
15h00	44.1°	19.2°	583	0
16h00	54.8°	9.8°	314	0
17h00	63.9°	0.0°	0	0
18h00	71.9°	0.0°	0	0
19h00	79.5°	0.0°	0	0
20h00	87.3°	0.0°	0	0
			6140	0
			Wh/m ²	Wh/kWc
			Inclinaison: 45	
			Orientation: 0	

Figure III.9. Résultat du rayonnement solaire par jour en (Wh/m²).

Jour	Irradiation globale /jour en (Wh/m ²)				
	Janvier	Février	Mars	Novembre	Décembre
1	6234	6996	7566	6652	6140
2	6248	7021	7581	6635	6136
3	6263	7047	9591	6618	6127
4	6279	7075	7599	6599	6125
5	6293	7101	7608	6584	6116
6	6309	7125	7618	6567	6114
7	3626	7151	7624	6549	6110
8	6344	7175	7630	6530	6106
9	6362	7201	7636	6511	6105
10	6380	7224	7644	6494	6099
11	6400	7248	7648	6475	6099
12	6418	7270	7652	6460	6097
13	6436	7294	7654	6441	6099
14	6457	7315	7657	6426	6100
15	6475	7337	7661	6408	6100
16	6493	7358	7658	6391	6100
17	6517	7378	7660	6372	6107
18	6535	7399	7661	6357	6109
19	6558	7415	7658	6340	6114
20	6672	7436	7655	6325	6116
21	6700	7451	7656	6310	6123
22	6726	7470	7655	6295	6128
23	6753	7487	7650	6280	6137
24	6779	7500	7647	6269	6146
25	6809	7515	7642	6190	6153
26	6833	7528	7641	6182	6162
27	6860	7543	7636	6171	6171
28	6888	7557	7628	6162	6180
29	6914	7560	7625	6159	6189
30	6942	0	7619	6149	6201
31	6968	0	7612	0	6216

Tableau III.6. Irradiation globale par jour de Biskra.

Irradiation globale en [kWh/m ²]				
Janvier	Février	Mars	Novembre	Décembre
203.17	212.18	236.67	191.90	190.03

Tableau III.7. Irradiation globale par mois de Biskra.

III.3.1.3. Puissance solaire utile (PSU)

La puissance solaire disponible PSU est donnée par la formule suivante [29]:

$$PSU = E \cdot \eta \cdot C_i \cdot C_o \cdot C_c \quad (III.4)$$

PSU : Puissance solaire disponible exprimée en Wh/m².mois.

E : Énergie solaire reçue en KWh/m².mois.

C_i : Coefficient d'inclinaison des capteurs solaires.

C_o : Coefficient d'orientation des capteurs solaires.

C_c : Coefficient de correction du fluide caloporteur (eau).

η : Rendement du capteur solaire (dans notre cas égal à 75%).

Pour déterminer la puissance solaire disponible, nous avons besoin des valeurs des coefficients suivants:

$$C_i = 0,999 ; C_o = 1 \text{ (sud)} ; C_c = 1.$$

- **Calcul la puissance solaire utile :**

Le rendement du capteur choisi est 0.75

A partir de l'équation (III.4) on calcule la puissance solaire utile et les résultats obtenus sont :

Puissance solaire utile [KWh/m ²]				
Janvier	Février	Mars	Novembre	Décembre
152.38	159.14	177.50	143.93	142.52

Tableaux III.8. Puissance solaire utile en moyenne mensuelle à Biskra

- **Calcul la surface de capteur solaire :**

On va prendre la valeur minimale de la puissance solaire utile, la valeur maximale de besoin en chauffage et aussi la valeur maximale en eau chaude sanitaire.

Si on suppose un taux de couverture solaire [TCS] de 100% en valeur moyenne annuelle.

À partir de l'équation (III.3) la surface de captation nécessaire est :

$$S_{cs} = \frac{(4944.70 + 143.22)}{142.52} \times 1 = 35.70 \text{ m}^2$$

Donc le nombre de panneau est : $N_p = 35.70 \text{ m}^2 / 2.38 \text{ m}^2$

$N_p = 15 \text{ panneaux}$

III.3.2. Ballon de stockage

Choisir un volume du ballon de stockage plus grand que la consommation journalière d'eau chaude. Dans notre étude, la consommation journalière d'eau chaude pour cette famille est de 198 litres/jour. Pour cela nous avons choisi un ballon d'eau chaud d'une capacité de 300 litres.

III.3.3. Système d'appoint

Dans les installations solaires thermiques, une énergie d'appoint peut être nécessaire, mais le but de cette étude est de n'utiliser que l'énergie solaire et d'abandonner l'énergie d'appoint, et pour cela nous avons supposé que le taux de couverture est de 100%.

III.3.4. Autres composants

III.3.4.1. Pompe de circulation

Elle sert à accélérer le débit d'eau dans une installation de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Dans cette maison on a choisi d'installer deux pompes, une pour transférer l'eau des capteurs au ballon (entre la captation et la cuve) d'une puissance maximal de 45 watt (pompe 1) et l'autre pour accélérer l'eau dans les radiateurs (entre la cuve de stockage et le système de distribution) d'une puissance maximale de 83 watt (pompe 2).

- **Consommation électrique :**

Pompe	Puissance (W)	Temps d'utilisation (h /jour)	Consommation Journalière (Kwh)
1	45	8	0.36
2	83	24	1.992

Tableau III.9. Energie totale journalière demandée des pompes.

En hiver on a seulement 8 heures d'ensoleillement, c'est-à-dire que l'installation (capteurs) va fonctionner 8 heures par jour c'est pourquoi la pompe (1) ne fonctionne que 8 heures.

III.3.4.2. Nombre des éléments des radiateurs

La référence [12] ne donne pas les dimensions des espaces et des déperditions pour chaque pièce de la maison. Pour cela, dans cette maison, on propose de mettre un radiateur dans chaque espace (voir figure III.10).

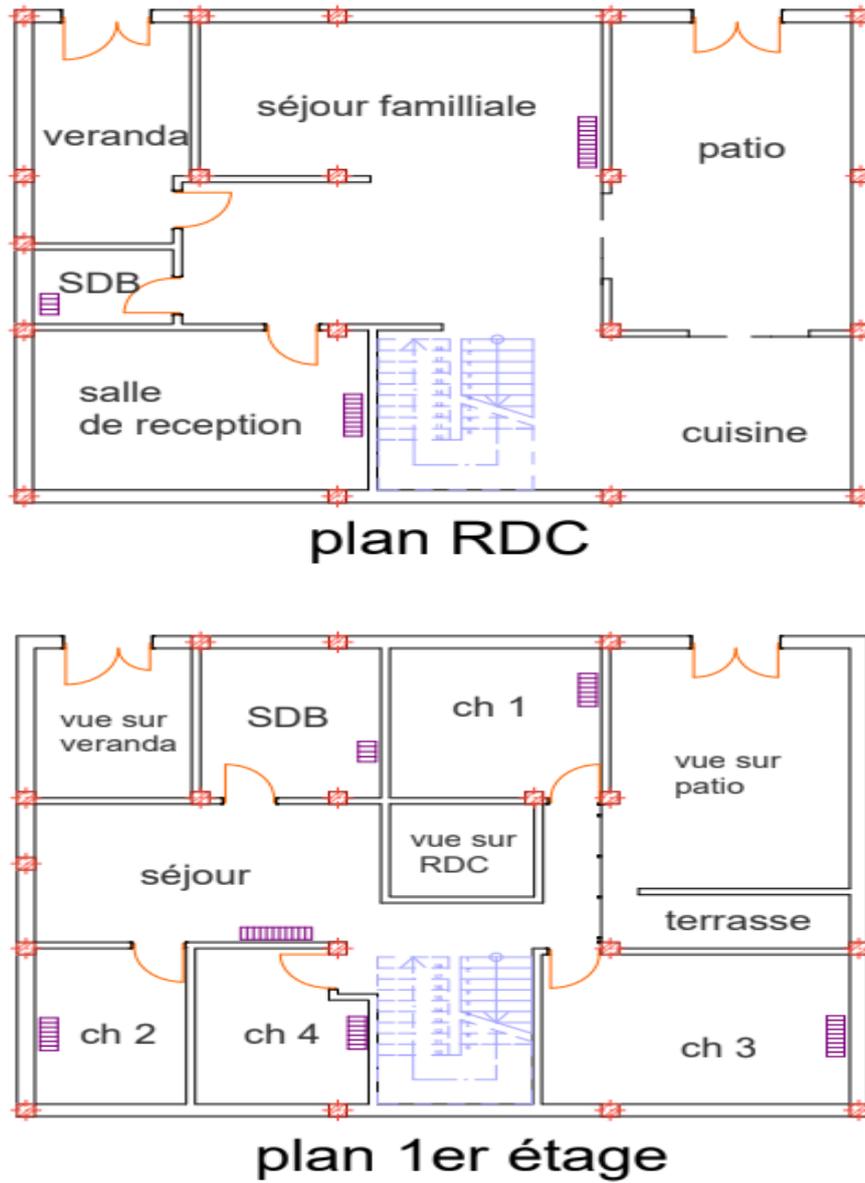


Figure III.10. Endroits de placement des radiateurs dans le cas d'étude.

Clé de plan

	Radiateur 12 éléments
	Radiateur 10 éléments
	Radiateur 8 éléments
	Radiateur 5 éléments

Dans ce cas la répartition des éléments des radiateurs sera :

- ❖ Chambre (1, 2,3) du 1^{er} étage : Radiateurs de 8 éléments.
- ❖ Chambre (4), séjour et réception : Radiateurs de 10 éléments.
- ❖ Séjour familial : Radiateur de 12 éléments

- ❖ Salle de bain de RDC et de 1^{er} étage : Radiateurs de 5 éléments.

Les radiateurs les plus utilisés sont les radiateurs en acier, en aluminium ou en fonte. Pour cette étude on choisit les radiateurs en aluminium pour leur bonne inertie thermique (permettent une montée en température rapide et une diffusion de la chaleur longue au-delà de leur arrêt) et ils sont donc économiques à l'usage, mais également à l'achat.

III.4. Schéma de l'installation solaire

Nous avons opté pour une installation mixte individuelle. (Figure III.11)

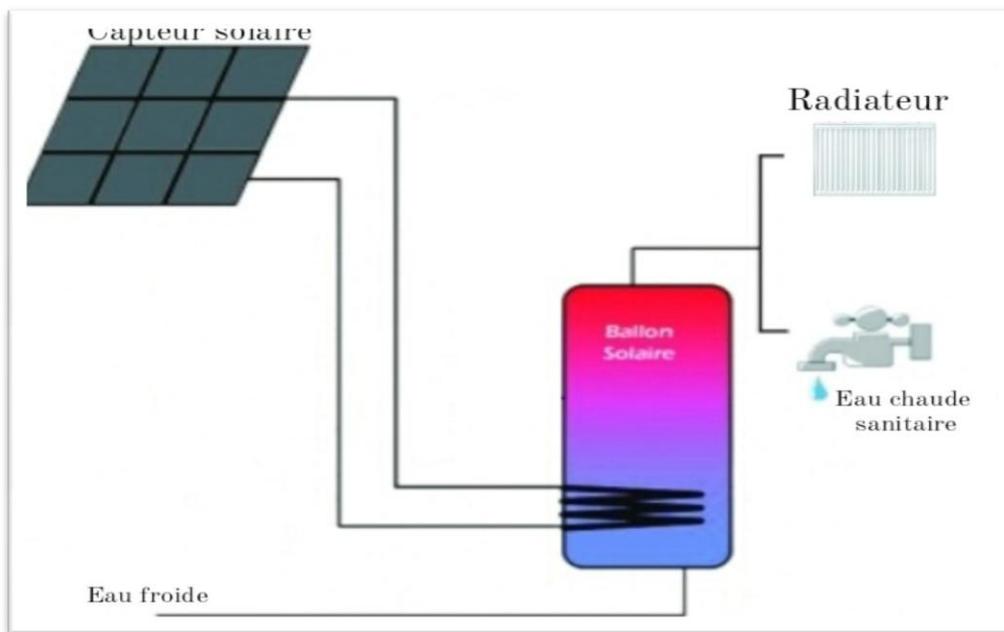


Figure III.11. Installation solaire de chauffage.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les un cas d'étude ainsi que les résultats relatifs au dimensionnement du système solaire étudié. Il s'est avéré que dans le site de Biskra, le recours au chauffage solaire de cette habitation est nécessaire pendant cinq mois.

Après le dimensionnement on est arrivé aux résultats suivants :

- ✓ Pour couvrir les besoins énergétiques en chauffage et en eau chaude sanitaire on aura à installer des capteurs des surfaces nécessaires 35.70m^2 (pour un rendement de 0.75).
- ✓ Les performances des systèmes choisis peuvent affecter les résultats.

Chapitre IV

Etude technico-économique

IV.1. Introduction

On appelle investissement, l'engagement d'un capital dans une opération de laquelle on attend des gains futurs, étalés dans le temps. On peut la définir aussi comme une analyse financière qui consiste en une simple période d'amortissement. Cette analyse introduit par le coût total du capital ainsi les économies annuelles arrivant à la dépense pour l'entretien et les fournitures de consommables.

Dans ce chapitre nous présenterons une étude économique liée à notre système solaire où nous évaluerons les différents coûts qui y sont liés puis nous faisons une comparaison entre les couts d'un système classique utilisant une énergie classique et un système de chauffage solaire.

IV.2. Système solaire (syst A)

IV.2.1. Evaluation de coût de l'installation thermique (Annexe3)

Equipement	Nombre	Coût unitaire (DA)	Coût (DA)
Panneau solaire thermique.	15	60000.00	900000.00
Ballon d'eau chaude.	1	75000.00	75000.00
Total =			975000.00

Tableau IV.1. Coût de l'installation thermique.

IV.2.2. Coût des éléments composants

Les coûts des différents composants sont donnés dans le tableau suivant :

Composants	Nombre	Coût unitaire (DA)	Coût (DA)
Les radiateurs	8 éléments : 4	11000.00	44000.00
	10 éléments: 2	13800.00	27600.00
	12 éléments : 1	16500.00	16500.00
	5 éléments : 2	6900.00	13800.00
Les pompes	2	9700.00	19400.00
Accessoires (vase d'expansion, tuyauterie ... etc.)	/	/	80000.00
Total =			201300.00

Tableau IV.2. Coût des éléments composants d'installation solaire.

IV.2.3. Coût d'investissement

Le coût d'investissement total du chauffage solaire est :

$$C_i = 975000.00 + 201300.00 = \mathbf{1176300.00 \text{ DA}}$$

D'après les résultats obtenus de calcul on remarque que le coût total du système solaire est cher, mais cela n'empêche pas sa rentabilité sur le long terme.

IV.2.4. Coût de la consommation d'électricité :

Le prix unitaire fixé par Sonelgaz pour l'électricité est :

- ✓ La consommation inférieure à 125 KWh est payée 1,7787 DA à l'unité.
- ✓ La consommation supérieure à 125 KWh est payée 4,1789 DA à l'unité.

Mois	Consommation de pompe 1	Consommation de pompe 2	Consommation (KWh)	Coût de la consommation (DA)
Janvier	11.16	61.75	72.91	
Février	10.44	57.77	68.21	
Mars	11.16	61.75	72.91	
1^{er} Trimestre	32.76	181.27	214.03	594.38
Avril	10.8	59.76	70.56	
Mai	11.16	61.75	72.91	/
Juin	10.8	59.76	70.56	
2^{eme} Trimestre	32.76	181.27	214.03	594.38
Juillet	11.16	61.75	72.91	
Aout	11.16	61.75	72.91	/
Septembre	10.8	59.76	70.56	
3^{eme} Trimestre	33.12	183.26	216.38	604.21
Octobre	11.16	61.75	72.91	
Novembre	10.8	59.76	70.56	/
Décembre	11.16	61.75	72.91	
4^{eme} Trimestre	33.12	183.26	216.38	604.21
Année	131.76	729.04	860.82	2397.18

Tableau IV.3. Prix de la consommation électrique par trimestre de système (A).

Le coût de consommation électrique est : **2397.18 DA**

IV.3. Système classique (syst B)

IV.3.1. Coût de Sonelgaz

a) Consommation en gaz naturel :

Le prix unitaire fixé par Sonelgaz pour le gaz naturel est :

- ✓ La consommation inférieure à 1125 KWh est payée 0,1682 DA à l'unité.
- ✓ La consommation inférieure à 1375 KWh et supérieure à 1125 KWh est payée 0,3245 DA à l'unité.
- ✓ La consommation inférieure à 5000 KWh et supérieure à 1375 KWh est payée 0,4025 DA à l'unité.
- ✓ La consommation supérieure à 5000 KWh est payée 0,4599 DA à l'unité.

Mois	Consommation mensuelle d'installation (KWh)	Coût de la consommation trimestrielle (DA)
Janvier	5072.37	
Février	2540.79	/
Mars	1982.18	
1^{er} Trimestre	9595.34	3611.56
Avril	103.5	
Mai	69.75	/
Juin	49.4	
2^{eme} Trimestre	222.65	37.45
Juillet	38.13	
Aout	45.57	/
Septembre	66.6	
3^{eme} Trimestre	150.3	25.28
Octobre	106.95	
Novembre	1243.76	/
Décembre	4605.51	
4^{eme} Trimestre	5956.22	2026.54
Année	15924.51	5700.83

Tableau IV.4. Prix de la consommation en gaz par trimestre de système (B).

b) consommation d'électricité :

Mois	Consommation	Coût de la consommation trimestrielle (DA)
Janvier	61.75	
Février	57.77	/
Mars	61.75	
1^{er} Trimestre	181.27	457.48
Avril	59.76	
Mai	61.75	/
Juin	59.76	
2^{ème} Trimestre	181.27	457.48
Juillet	61.75	
Aout	61.75	/
Septembre	59.76	
3^{ème} Trimestre	183.26	465.80
Octobre	61.75	
Novembre	59.76	/
Décembre	61.75	
4^{ème} Trimestre	183.26	465.80
Année	729.04	1846.56

Tableau IV.5. Prix de la consommation électrique par trimestre de système (B).

• Montrant en DA

Electricité	1846.56 DA
Gaz	5700.83 DA
Total	7565.4 DA

IV.3.2. Evaluation des coûts de l'installation classique (Annexe 4)

Equipement	Coût (DA)
Chaudière	118000.00
Chauffe bain	23300.00
Total : 141300.00	

Tableau IV.6. Coût de l'installation classique.

IV.3.3. Coût des éléments composants

Les composants dans ce système est présent dans le tableau suivant :

Composants	Coût (DA)
Les radiateurs	101900.00
Les accessoires	159523.00
Total : 261423.00	

Tableau IV.7. Coût des éléments composants d'installation classique.

IV.3.4. Coût d'investissement

Le coût d'investissement total du chauffage classique est :

$$C_i = 141300 + 261423 = \mathbf{402723.00 \text{ DA}}$$

IV.4. Comparaison et discussions

Le coût d'investissement référence C_{iref} : c'est la valeur du quotient du coût d'investissement du système (A) sur le coût d'investissement du système (B).

$$C_{iref} = \frac{C_i(A)}{C_i(B)}$$

Le coût d'investissement référence $C_{ce\ ref}$: c'est la valeur du quotient du coût de la consommation annuelle de Sonelgaz (gaz et électricité) du système (B) sur le coût Sonelgaz (électricité seulement) du système (A).

$$C_{ceref} = \frac{C_{ce}(A)}{C_{ce}(B)}$$

Pour comparer les deux systèmes, nous donnons le coût d'investissement et le coût de consommation annuelle d'électricité et de gaz pour chacun d'eux dans le tableau suivant :

Système	Ci (DA)	C _i /C _i ref	Cce (DA)	C _{ce} /C _{ce} ref
Solaire (A)	1176300.00	2.92	2397.18	1.00
Classique (B)	402723.00	1.00	7565.4	0.32

Tableau IV.8. Coût investissement et coût Consommation (électrique et gaz)

pour syst(A) et (B).

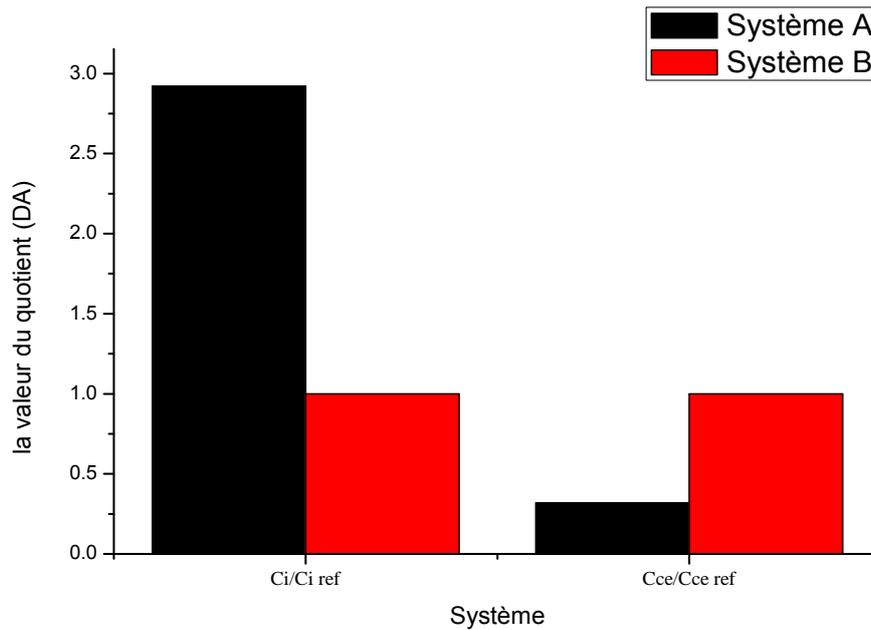


Figure IV.1. Récapitulatif de comparaison pour les systèmes (A) et (B).

Nous remarquons sur la figure IV.1 que le coût d'investissement initial du système solaire est environ trois fois plus élevé que le coût d'investissement initial du système classique, et nous notons également que le coût de la consommation d'énergie pour le système (A) est moins cher que le coût de la consommation d'énergie pour système (B).

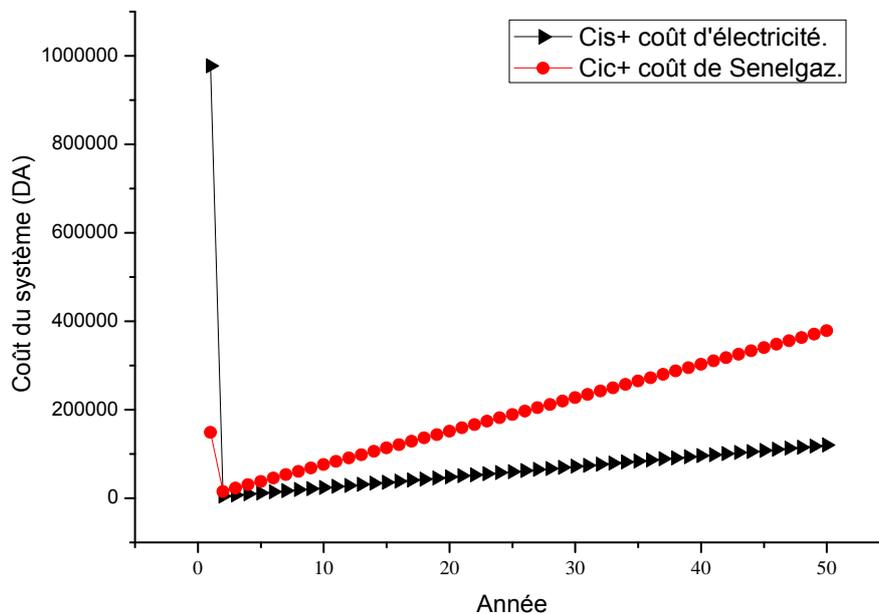


Figure IV.2. Récapitulatif de comparaison pour les systèmes (A) et (B) sans le coût de la maintenance et des accessoires.

La figure IV.2 représente la somme du coût de l'installation solaire et de sa consommation d'électricité (système A) et la somme du coût de l'installation classique (système B) et de sa consommation d'électricité et de gaz, sans tenir compte des différents coûts de chacun (le coût de maintenance et des accessoires). On remarque que le coût de l'installation solaire est très élevé au début par rapport au faible coût de l'installation classique, puis avec le temps, le coût du système (B) commence à augmenter.

IV.5. Durée d'amortissement

La durée d'amortissement est la durée de retour sur investissement d'une installation. La durée de vie de système solaire (B) est nettement plus de 25 ans contre 10 ans au système classique (A).

L'équation suivante donne le coût d'investissement cumulé en fonction du coût d'investissement, coût de consommation et coût de la maintenance [32]:

$$C_{c \text{ syst}} = C_i + x (C_{ce} + C_m) \quad (\text{IV.1})$$

Avec :

C_i : Le coût d'investissement.

C_{ce} : Le coût de consommation (dans ce cas le système classique est consommée électricité et gaz et système solaire consommée électricité seulement).

C_m : Le coût de la maintenance ($C_m = 0.01 \cdot C_{ce}$).

Donc à partir de l'équation (IV.1) nous trouvons le coût d'investissement cumulé des deux systèmes :

$$C_{c \text{ syst A}} = 1176300 + x (2397.18 + 11763)$$

$$C_{c \text{ syst A}} = 1176300 + x (14160.18)$$

$$C_{c \text{ syst B}} = 402723 + x (7565.4 + 4027.23)$$

$$C_{c \text{ syst B}} = 402723 + x (11592.63)$$

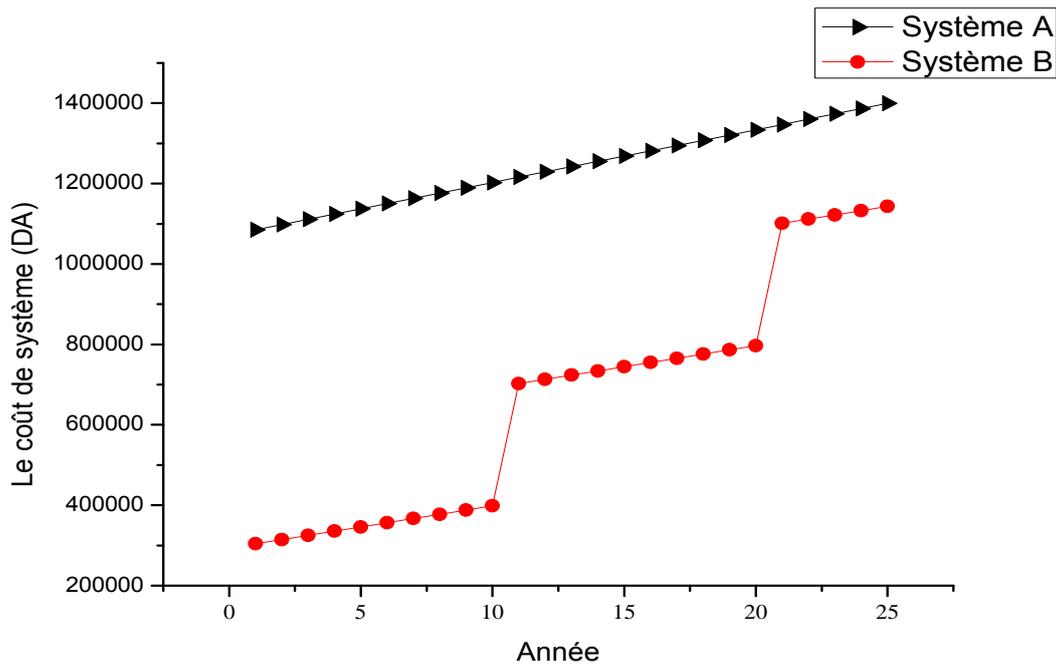


Figure IV.3. La durée d'amortissement des systèmes A et B.

La figure IV.3 représente l'évolution en fonction du temps du déroulement des deux projets A et B. Les courbes montrent que malgré le coût élevé du système solaire, l'investissement en général commence à se rapprocher de l'investissement du système classique à partir de 25^{ème} année. Ceci est dû au soutien de l'état aux énergies classiques qui sont presque gratuites. Également les éléments constituants du système solaire ne sont pas subventionnés par l'état, leur prix reste toujours élevé.

IV.6. Conclusion

L'étude technico-économique qui a été menée sur le cas étudié a montré la faisabilité du système solaire (A) par rapport au système classique (B) du point de vue du coût d'investissement et de la consommation d'électricité et de gaz, comme le prouvent les résultats obtenus. Aussi le coût d'investissement lié au système classique (B) est beaucoup moins cher que le coût du système solaire (A) parce que la technologie de l'énergie solaire est encore très chère aujourd'hui et qu'il y a un manque d'aide de l'état, et le fait que le prix de gaz en Algérie est encore très faible grâce aux grandes réserves de gaz naturel.

Le coût d'investissement de système solaire (A) ne peut être amorti que si l'état réoriente son soutien de l'électricité et le gaz et le soutien du coût d'investissement du système solaire.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de ce travail, nous avons étudié la faisabilité d'installation solaire thermique individuelle en Algérie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

Dans laquelle, nous avons pris en considération les facteurs qui affectent l'installation du système, à savoir les déperditions thermiques, la puissance solaire utile, la consommation mensuelle de chauffage et de chauffage de l'eau sanitaire et le coût mensuel de l'énergie consommée.

Les résultats obtenus ont montré que :

- L'utilisation du chauffage solaire dans cette maison installée dans le site de Biskra est nécessaire pour une durée de cinq mois de l'année. Quant à l'eau chaude sanitaire, nous en avons besoin toute l'année.
- La surface des capteurs solaires indispensable pour cela est de 35,70 m² lorsqu'il s'agit de choisir un système caractérisé par un rendement égal à 0,75.
- L'amortissement de l'investissement est long, car le coût de l'énergie conventionnelle est moins cher que le coût de l'énergie solaire (subvention de l'état).

A remarquer à l'issue de ce travail qu'il y a nécessité urgente de l'état pour développer ce domaine surtout que notre pays est considéré comme l'un des pays les plus exposés au soleil. A noter également qu'une telle technologie coûteuse, difficile à supporter car il nécessite des coûts importants pour la production d'énergie, mais rentable à l'avenir.

Mon rêve est donc: que l'Algérie soit pionnière dans le domaine des énergies renouvelables, réalise la transition énergétique et bénéficie de cette énergie alternative, qui est quasi gratuite.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] F. Mokhtari et al, "Etude du comportement thermique d'une maison munie d'un système de chauffage solaire ", Revue des Energies Renouvelables, vol. 9, no 4, p.363-370, 2006.
- [2] A. Lahlali et N. Laib, "Étude théorique et expérimentale d'un chauffe-eau solaire", Mémoire d'Ingénieur, Université de Biskra, 2010.
- [3] R. Zouagri, "Etude de faisabilité technique et économique des installations solaires thermiques dans un bâtiment", Mémoire de Magister, Université de Batna, 2012.
- [4] O. Boukhalfa, "Étude théorique et expérimentale d'un chauffe-eau solaire", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2012.
- [5] S.O, Benakli et M. Addad, "Simulation d'une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire et chauffage pour une maison individuelle", Mémoire de Master, Université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2013.
- [6] D. Fites, " Comparaison technico-économique entre différentes installations de chauffage et de climatisation des locaux", Mémoire de Magister, Université de Batna, 2014.
- [7] T. Reddah, "Etude et dimensionnement d'un système solaire combiné application : Logement individuel type F3 à Batna", Mémoire de Magister, Université de Batna, 2015.
- [8] D. Zebbar et al, "Etude technico-économique d'un champ solaire de type dish à Tissemsilt", Revue des Energies Renouvelables, vol. 18, no 2, p. 315-327, 2015.
- [9] S. Guenifi, "Etude de faisabilité des applications solaires utilisant des CPS en fonction de leur température de sortie", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2016.
- [10] B. Khaled, "Installation chauffage solaire d'un bâtiment", Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annba, 2015.
- [11] A. Belouadah, "Étude Technico-économique d'un Projet de Chauffage Solaire", Thèse de doctorat. Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila, 2017.
- [12] F.Aissaoui, "Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra", Thèse de Doctorat, Université de Biskra, 2017.
- [13] A. Bada, "Etude des apports énergétiques d'un local", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2017.

- [14] K. Benlecheheb et N. Benallou, "Etude d'une installation de chauffage à eau chaude d'une Ecole située dans la wilaya de Ain Defla", Mémoire de Master, Université de Khemis Miliana, 2018.
- [15] S. Arezki et H. Damous, "Etude et conception d'un chauffe-eau solaire", Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2018.
- [16] J. Desautel, "Les capteurs héliothermiques", Editions EDISUD & Pyc-EDITIONS, 1979.
- [17] C. BELDJANI, "Amélioration du refroidissement d'un module photovoltaïque par l'usage de la nanotechnologie", Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2020.
- [18] H. Kaidouchi, "Etude théorique d'un capteur hybride photovoltaïque/thermique à eau et à air", Mémoire de Master, Université 8 mai 1945 Guelma, 2014.
- [19] A. BRAHIMI, "Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau", Thèse de Doctorat", Université de Lorraine, 2016.
- [20] T. SALEM, "Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie", Thèse INSA de Lyon, 2007.
- [21] N. Belmabrouk, "Modélisation et simulation du comportement thermique transitoire d'un capteur solaire plan à air", Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2019.
- [22] S. Saadi, "Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan", Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2010.
- [23] J. Bernard, "Solar energy. Calculations and optimization; Energie solaire. Calculs et optimisation", 2004.
- [24] F. Yettou1, A. Gama1 C. Hamouda et A. Malek, "Etude et réalisation d'un banc d'essai pour un chauffe-eau solaire à circulation forcée dans la région des Hauts Plateaux", Revue des Energies Renouvelables, vol.11, N°1, p.119 -128, 2008.
- [25] Eau chaude sanitaire solaire, application à l'individuel et au collectif, Guide pour l'installateur. ADEME fédération française du bâtiment, édition 2008.
- [26] A. Khedim, "L'énergie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque", centre de publication universitaire, Tunis ,2003
- [27] Production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire, Guide de conception des installations collectives. Ademe édition 2008.

- [28] A. Mokhtari, H. Kazeoui, Y. Boukezzi et G. Achard, "Utilisation d'un Circuit Hydraulique dans un Plancher pour le Chauffage et le Rafraîchissement des Locaux", *Revue des Energies renouvelables*, vol.1, p.17-27, 1998.
- [29] R. Kharchi et al, "Système solaire combiné, Estimation des besoins énergétiques", *revue des énergies renouvelables ICRES-07 Tlemcen*, p.109-114, 2007.
- [30] A. MERABET, "Dimensionnement d'un système d'alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l'alimentation d'une habitation", *Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra*, 2018.
- [31] <https://energypanelmaroc.com/>
- [32] H. BENFATAH, "Etude et analyse des procédés solaire de production de froid par sorption en vue d'une réalisation d'un premier prototype à Biskra", *Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider Biskra*, 2020.
- [33] <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2020/biskra/valeurs/60525.html>
- [34] CDER Centre de Développement des Energies Renouvelables. Application Web pour le calcul du rayonnement solaire en Algérie. Disponible sur : <<http://data.cder.dz:81/>>. Consulté le (22/05/2021).

Annexes

ANNEXE 1

- CLIMATOLOGIE DE L'ANNEE 2020 A BISKRA [33].

« Climatologie globale	« Année 2019		Valeurs climatologiques				Occurences de phénomènes			Jour par jour			Année 2021 »
	janv. 2020	fev. 2020	mars 2020	avr. 2020	mai 2020	juin 2020	juil. 2020	août 2020	sept. 2020	oct. 2020	nov. 2020	dec. 2020	
Tempé. maxi extrême	22,5 le 30	27,0 le 4	30,2 le 14	33,2 le 18	41,0 le 8	44,2 le 27	47,5 le 2	45,7 le 19	38,5 le 18	35,4 le 1	31,0 le 8	23,9 le 12	47,5 le 20 juil.
Tempé. maxi moyennes	18,3	23,3	23,2	27,5	34,3	38,1	41,2	42,0	34,5	28,4	24,5	18,5	29,5
Tempé. moy moyennes	12,8	16,7	17,9	22,2	27,7	31,8	34,8	35,5	29,0	22,8	19,1	13,6	23,7
Tempé. mini moyennes	7,4	10,0	12,5	16,8	21,2	25,6	28,3	29,0	23,5	17,2	13,7	8,8	17,8
Tempé. mini extrême	2,5 le 3	4,3 le 7	6,3 le 28	11,0 le 22	17,7 le 18	21,0 le 2	25,0 le 19	25,0 le 8	18,4 le 29	12,8 le 28	7,7 le 28	1,1 le 28 dec.	1,1 le 28 dec.

ANNEXE 2

- SITE POUR LE CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE [34].

Calcul du rayonnement solaire (ciel clair)
Application
Manuel
Aide
A propos

Selectionnez la ville

Biskra

Selectionnez le mois

decembre

Selectionnez le jour

1

Selectionner le module

Numéro du jour dans l'année

335

Déclinaison du soleil

-21.68°

Calculer

vue globale Map Graphe résultat

Vous avez besoin de Flash Player pour voir le graphe

ANNEXE 3

- LE PRIX DE CAPTEUR THERMIQUE ET BALLON D'EAU CHAUD [31].



Casablanca le :09/06/2021

MME .ZABOUBI Sara

Qté	Désignation	Prix unitaire	Prix totale
1	Panneau solaire thermique super eco 200	3965.66	
1	Ballon de stockage d'eau chaud sanitaire	4957.8	

TOTAL HT	8923.46
TVA	
TOTAL TTC	8923.46

ENERGY
PANEL

DIRECTION



20, Rue Chemin Des Dahlias
Ain sebâa, Casablanca - Maroc

+212 522 663 518
+212 522 660 053

contact@energypanelmaroc.com
www.energypanelmaroc.com

1MAD = 15.13DZD

ANNEXE 4

- LE PRIX DE L'INSTALLATION CLASSIQUE

SAID DJENEN

PLOMBERIE SANITAIRE CHAUFFAGE CENTRAL
EL3ALIA 17 COPIRATEIF
Client : ZABOUBI

19/05/2021

BON DE LIVRAISON N°1734/2021

Libellé	Qte	Prix	Total
CHAUDIERE MURAL SAUNIER	1	118000.00	118000.00
CHAUFFE BAIN JUNKEUR 11L	1	23300.00	23300.00
VASE D'EXPANSION 50L VERTICAL	1	7900.00	7900.00
RADIATEUR ALLUMINIUM 8 ELM	4	1100.00	44000.00
RADIATEUR ALLUMINIUM 12 ELM	1	16500.00	16500.00
RADIATEUR ALLUMINIUM 10 ELM	2	13800.00	27600.00
RADIATEUR ALLUMINIUM 5 ELM	2	6900.00	13800.00
TUBE MULTICOUCHE 16 CALO	150	138.00	20700.00
TUBE MULTICOUCHE 20 CALO	100	199.43	19943.00
PLAQUE RADIATEUR SANS	7	320.00	2240.00
SUPPORT RADIATEUR TIGE	14	100.00	1400.00
ROBINET D/R CHAPPEE	7	1250.00	8750.00
TIEMME COUDE FEMELLE 20	38	430.00	16340.00
TIEMME DISTRIBUTEUR 5 VOIS	4	5250.00	21000.00
TIEMME VANNA D'ARRET M/F	2	2100.00	4200.00
TIEMME RACCORD ECROU LIBRE	4	1050.00	4200.00
TIEMME TE 26×20×26 A SERTIR	10	1060.00	10600.00
FLR ROBINET PUISAGE CROME	10	550.00	5500.00
FLR MILTIGEUR DOUCHE	1	4000.00	4000.00
FLR MILTIGEUR EVIER MONI	1	4000.00	4000.00
FLR MILTIGEUR LAVABO	1	3200.00	3200.00
POMPE CRPWN 370W	1	4500.00	4500.00
SERVEAU DINGQI	1	3500.00	3500.00
POMPE ACCELERATUR DAP	1	9700.00	9700.00
FILTRE A EAU 3 PCS ITALY	1	6500.00	6500.00
TUBE CHIMILIER 110	1	600.00	600.00
TUBE CHIMILIER 125	1	750.00	750.00
Remise :		0.00 DA	
Total :		402723.00 DA	
Montant encaissé :		0.00 DA	

By Rival Solft

Résumé

Ce mémoire est relatif à l'étude de la conversion thermique de l'énergie solaire. Une étude technico-économique a été menée pour appréhender la technologie des systèmes de chauffage utilisant l'énergie solaire et comparer les coûts du système traditionnel utilisant l'énergie conventionnelle et le système de chauffage solaire. Le sujet de l'étude menée est une résidence individuelle située dans le site de Biskra. Cette étude nous a permis de connaître la superficie des capteurs solaires nécessaire pour fournir l'énergie nécessaire au chauffage de l'habitation et de l'eau sanitaire. Ainsi parmi les résultats obtenus, c'est que le chauffage solaire est faisable sauf que son cout est élevé en termes de coût d'investissement total du fait que les composants sont plus chers et que l'utilisateur doit en supporter le coût à moins que l'état ne réoriente ses subventions.

Mots clés : Etude, Faisabilité, Solaire, Chauffage, Technico-économique, Comparaison.

ملخص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة التحويل الحراري للطاقة الشمسية. تم إجراء دراسة اقتصادية تقنية لفهم تكنولوجية أنظمة التدفئة باستخدام الطاقة الشمسية ومقارنة تكاليف النظام التقليدي باستخدام الطاقة التقليدية ونظام التدفئة الشمسي. موضوع الدراسة التي أجريت هوسكن فردي يقع في موقع بسكرة. مكنتنا هذه الدراسة من معرفة مساحة اللواقط الشمسية لتوفير الطاقة الضرورية للتدفئة و تسخين الماء المنزلي. و من النتائج المتحصل عليها هو أن التسخين الشمسي ممكن غير أن تكلفته مرتفعة من حيث تكلفة الإستثمار الإجمالية لأن المكونات غالية كثيرا و المستخدم من يجب أن يتحمل التكلفة ما لم تقم الدولة بإعادة توجيه إعاناتها.

الكلمات المفتاحية : دراسة، جدوى، الشمسية، التدفئة، تقنية اقتصادية، مقارنة.

Abstract

This thesis is related to study the thermal conversion of solar energy. A technical economic study was conducted to understand the technology of heating systems using solar energy and to compare the costs of a traditional system using conventional energy and a solar heating system. The subject of the conducted study is an individual home located in the Biskra city. This study allowed us to know the area of the solar collectors to provide the necessary energy for heating and water domestic heating. One from the results acquired t is that solar heating is possible, but it is expensive in terms of the total investment cost because the components are very expensive and the user must bear the cost unless the state redirects its support.

Keywords: Study, Feasibility, Solar, Heating, Technico-economic, Comparison.