

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Génie mécanique
Spécialité : Energétique

THEME :

**Simulation d'un chauffe-eau solaire
collectif à usage industriel**

Présenté par :

ACHLAF YOUNES

BOUSSAD ABDELMALEK

Promoteur : Mr. M. NADIR

Promotion 2021- 2022

Remerciement

Nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné le courage, la force et la volonté de faire cet humble travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au Dr M-NADIR pour avoir guidé ce travail mais aussi pour sa présence et les encouragements qu'il ne cesse de nous prodiguer. Nous sommes heureux de pouvoir lui exprimer nos sincères remerciements.

Nous remercions sincèrement Mr B-Boutaghriout, Chargé de Recherche au CRD Sonatrach, pour sa participation à la direction de ce travail.

Nous remercions également le M. C.BenAmara pour toute l'aide qu'elle nous a apportée dans notre recherche.

Nous tenons à remercier tous les enseignants et le personnel de l'Université M'Hamed Bougara Boumerdes, sans exception, pour tous les enseignants du Département Génie Mécanique.

Nous tenons également à remercier les membres du jury qui se sont intéressés à l'évaluation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Les deux personnes les plus chère à mon cœur, mon Père « rabah » et ma Mère

« hakima » et mes tantes et oncles

Mes amies qui m'ont soutenu M.M. Bouaouadja , F.Mansouri et chaque ami m'a aidé ou m'a encouragé

A toute ma FAMILLE sans exception.

A mes amis(es) du groupe MEN.

Dédicace

Les deux personnes les plus chère à mon cœur

Mon Père « Belkacem » et ma Mère « Fatéma » et les deux sœurs et Mon grand-père et ma

Grand-mère mes tantes et oncles

Mes amies qui m'ont soutenu Nasser et Ali

Et sans oublier A toute ma FAMILLE sans exception.

A mes amis(es) du groupe MEN.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Les abréviations	
Symbole	
Résumé	
Introduction Générale	1
Chapitre 1 : Généralité sur les chauffe-eaux solaires	
1. Introduction.....	2
2. Le rayonnement solaire	2
2.1. Les paramètres qui influent sur le rayonnement solaire.....	2
3. Rayonnement solaire au sol	3
4. Instruments de mesure du rayonnement solaire.	3
5. Potentiel solaire en Algérie	5
6. L'effet de serre.....	6
6.1. Principe de l'effet de serre dans les capteurs solaires thermiques	6
6.2. Fonctionnement de l'effet de serre dans le capteur solaire thermique	6
7. Les installations solaires de production d'eau chaude	7
7.1. Les capteurs solaires	8
7.1.1. Les capteurs solaires plans	8
7.1.2. Les capteurs tubulaires sous vide	14
7.1.3. Les capteurs solaires à concentration.....	15
7.2. Le cuve de stockage	16
7.3. Le système d'appoint	17
8. Les différents types de chauffe-eau solaire collectif.....	18
8.1. Disposition des capteurs	18
8.2. Les principales configurations	19
8.2.1. Production centralisée avec distribution directe	20
8.2.2. Production centralisée avec distribution par boucle de circulation.....	20
8.2.3. Production solaire collective à appoints individuels	21
9. Les autres composants d'un chauffe-eau solaire	22
9.1. Les conduites de circuit.....	22
9.2. Une pompe (circulateur).....	23

9.3.	Le clapet anti-retour.....	23
9.4.	Vase d'expansion.....	23
9.5.	Soupape de sécurité	24
9.6.	Les robinets des vidanges.....	24
9.7.	Les purgeurs.....	24
9.8.	Le manomètre.....	25
9.9.	Le fluide caloporteur.....	25
9.10.	Le Débit	25
10.	Différents types d'installations solaires pour process industriel	25
10.1.	Installation solaire a un seul circuit (sans échangeur)	26
10.2.	Installation solaire à double circuit (avec échangeur)	26
10.2.1.	Installation solaire avec échangeur dans le circuit primaire.....	26
10.2.2.	Installation solaire avec échangeur dans le circuit secondaire	27
10.2.3.	Installation solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve.....	28
11.	L'usage d'un chauffe-eau solaire.	29
12.	Conclusion	30

Chapitre 2 : Revue Bibliographique

1.	Etude bibliographies.....	31
1.1.	Bibliographie concernant les performances du chauffe-eau solaire.....	31
1.2.	Bibliographie concernant les applications industrielles d'un chauffe-eau solaire.....	34
1.2.1.	Processus de séchage	34
1.2.2.	Procédés de préchauffage.....	34
1.2.3.	Processus de chauffage à la vapeur.....	34
1.2.4.	Processus de pasteurisation et de stérilisation	35

Chapitre 3 : Etude Technique d'une installation de chauffe-eau solaire à l'aide de TSOL

1.	Prédimensionnement du champ de captage et de cuve de stockage.....	36
2.	Les expressions.....	36
2.1.	Les expressions du Tsol	36
2.2.	Les expressions du SO-PRO.....	37
3.	Installation du ballon pour process industriel	37
3.1.	Description du fonctionnement	37
3.2.	Les paramètre	38
3.3.	Profile de consommation	39
3.4.	Régulation de pompe	40

4. Logiciel de simulation.....	40
5. Guide de T*sol.....	41
6. Evaluation de la Température extérieur	47
7. Evolution des irradiations solaires mensuelles pendant l'année	47

Chapitre 4 : Résultats et discussions

1. Introduction.....	49
2. 1 ^{ère} installation de ballon tampon pour process industriel avec chauffe-eau instantané et Echangeur de chaleur externe.....	49
2.1. Evaluation de l'Energie produit par le système solaire pendant l'année.....	50
2.2. Variation annuelle des différentes énergies et de température	51
2.2.1. Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement.....	51
2.2.2. Variation de l'énergie produite par le système, chauffage d'appoint et le taux de couverture.....	53
2.3. Evaluation journalière des différents Energie et Température capteur	55
2.3.1. Site Boumerdes.....	55
2.3.2. Site Sétif/Ain-Arnat	57
2.3.3. Site Hassi-Messaoud.....	59
2.4. Interprétation de l'installation 1	62
3.1. Evolution de l'Energie produit par le système solaire pendant l'année	63
3.2. Variation annuelle des différents Energie et de différente température	64
3.2.1. Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et par an dans trio sites différente.	64
3.2.2. Evolution l'Energie produit par le système et l'Energie chauffage d'appoint avec le Taux de couverture.....	66
3.3. Evaluation journalière des différents Energie et Température de l'installation {journée type}	68
3.3.1. Site Boumerdes.....	68
3.3.2. Site Sétif/Ain-Arnat	70
3.3.3. Site Hassi-Messaoud.....	72
3.4. Interprétation de l'installation 2	74
4. Evaluation des différents paramètres sur l'Energie produit par le système.....	75
4.1. Evaluation de surface de capteur	75
4.2. Evaluation de Débit de circuite solaire.....	76
4.3. Evaluation de volume de ballon stockage	77

5. Évaluation de Rendement instantanée	78
6. Evaluation journalière des pertes.....	78
7. Conclusion	79
Chapitre 5 : Aspect Economique	
1. Introduction.....	80
2. Analyse économique	80
3. Modèle économique	81
3.1. Rentabilité	81
3.1.1. Valeur actuelle nette pour 1 année.....	81
3.1.2. Les flux monétaires sortant FMS	82
3.1.3. Les flux monétaires entrant FME.....	83
3.2. Coût actualisé d'énergie	83
4. Résulte et discussion	84
4.1. Valeur actuelle nette	84
4.2. Coût actualisé d'énergie CAE (DA).....	85
5. Conclusion	86
Conclusion Générale.....	87
Références	88

Liste des figures

Chapitre 1 : Généralité sur les chauffe-eaux solaires

Figure 1. 1 : Rayonnement solaire électromagnétique	2
Figure 1. 2 : Composantes du rayonnement incident.	3
Figure 1. 3 : L'héliographe	4
Figure 1. 4 : Pyrhéliomètres.....	4
Figure 1. 5 : Pyranomètre	5
Figure 1. 6 : Irradiation globale journalier sur plan horizontal d'un mois.....	5
Figure 1. 7 : Le phénomène de l'effet serre.....	6
Figure 1. 8 : Fonctionnement de l'effet de serre dans le capteur solaire	7
Figure 1. 9 : Schéma synoptique d'une installation de production d'eau chaude solaire.....	7
Figure 1. 10 : Un capteur solaire plan vitré.	9
Figure 1. 11 : Rayonnements Echanges thermiques.....	9
Figure 1. 12 : Absorbeur film d'eau.....	11
Figure 1. 13 : Absorbeur tube S.	11
Figure 1. 14 : Absorbeur montage Tickelman.....	11
Figure 1. 15 : Positionnement de la sonde de température sur le capteur.	13
Figure 1. 16 : Principe de fonctionnement de capteur solaire non vitré à revêtement sélectif.....	14
Figure 1. 17 : Composants d'un capteur tubulaire sous vide.	15
Figure 1. 18 : Différents types des capteurs solaires à concentration.	16
Figure 1. 19 : Capteur à concentration.....	16
Figure 1. 20 : La cuve de stockage avec échangeur.	17
Figure 1. 21 : L'appoint électrique.	18
Figure 1. 22 : L'appoint chaudière à gaz	18
Figure 1. 23 : L'appoint séparé.	18
Figure 1. 24 : L'appoint en série.....	18
Figure 1. 25 : Disposition des capteurs.....	19
Figure 1. 26 : Schéma production centralisée avec distribution directe.....	20
Figure 1. 27 : Production centralisée avec distribution par boucle de circulation.	21
Figure 1. 28 : CES collectif a appoints individualisés.....	21
Figure 1. 29 : Schéma d'un CES collectif a production et appoint centralises.....	22
Figure 1. 30 : Conduites de liaison isolées.....	22
Figure 1. 31 : Le circulateur.	23
Figure 1. 32 : Clapet anti-retour.....	23
Figure 1. 33 : Vase d'expansion.	23
Figure 1. 34 : Soupape de sécurité.....	24
Figure 1. 35 : Robinet de vidange.....	24
Figure 1. 36 : Purgeur automatique.....	24
Figure 1. 37 : Manomètre.....	25
Figure 1. 38 : Chauffe-eau solaire sans échangeur.	26
Figure 1. 39 : Chauffe-eau solaire avec échangeur placé sur le circuit primaire.	27
Figure 1. 40 : Chauffe-eau solaire avec échangeur dans le circuit secondaire.....	27
Figure 1. 41 : Chauffe-eau solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve.	28

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une installation chauffe-eau solaire avec cuve de stockage

Figure 3. 1 : Installation du ballon pour le process industriel.....	38
Figure 3. 2 : Profile de consommation pour les 2 installation.	40
Figure 3. 3 : Variation de température extérieur (ambiante) par année pour 3 sites.	47
Figure 3. 4 : Irradiations solaires mensuelles pour trois régions.	48

Chapitre 4 : Résulte et discussion

Figure 4. 1 : Installation de ballon tampon pour process industriel avec chauffe-eau instantané et Echangeur chaleur externe.	49
Figure 4. 2 : Evaluation de l'énergie produit par le système solaire par année pour les trios sites. ...	50
Figure 4. 3 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le site Boumerdes.	51
Figure 4. 4 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le site Sétif/Ain-Arnat.	51
Figure 4. 5 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour site Hassi-Messaoud.....	52
Figure 4. 6 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Boumerdès.	53
Figure 4. 7 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Sétif/Ain-Arnat.	53
Figure 4. 8 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Hassi-Messaoud.	54
Figure 4. 9 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {6-janvier}.	55
Figure 4. 10 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {6-janvier}.	56
Figure 4. 11 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {8-juin}.....	56
Figure 4. 12 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {8-juin}.....	57
Figure 4. 13 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {9-février}.....	57
Figure 4. 14 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {9-février}.....	58
Figure 4. 15 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {10-juin}.....	58
Figure 4. 16 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {10-juin}.	59
Figure 4. 17 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {29-décember}.	60
Figure 4. 18 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {29-décember}.	60
Figure 4. 19 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {7-juillet}.	61
Figure 4. 20 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {7-juillet}.	62
Figure 4. 21 : Installation de ballon tampon pour process industriel avec chauffe-eau instantané....	63
Figure 4. 22 : Variation de l'énergie produite par le système solaire dans trois sites différents	64
Figure 4. 23 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le site Boumerdes.	64

Figure 4. 24 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le Site Sétif/Ain-Arnat.....	65
Figure 4. 25 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le Site Hassi-Messaoud.....	65
Figure 4. 26 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le Site Boumerdes.....	66
Figure 4. 27 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le Site Sétif/Ain-Arnat.....	66
Figure 4. 28 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Hassi-Messaoud.	67
Figure 4. 29 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {20-Décember}.....	68
Figure 4. 30 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {20-décember}.....	68
Figure 4. 31 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {8-juin}.....	69
Figure 4. 32 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {8-juin}.....	69
Figure 4. 33 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {9-février}.....	70
Figure 4. 34 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {9-février}	70
Figure 4. 35 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {10-juin}.....	71
Figure 4. 36 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {10-juin}.....	71
Figure 4. 37 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {29-décember}.....	72
Figure 4. 38 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {29-décember}.....	72
Figure 4. 39 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {7-juillet}.....	73
Figure 4. 40 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {7-juillet}.....	73
Figure 4. 41 : Représente la variation de l'énergie produit par le système par année en fonction de surface de captation de circuit solaire.	75
Figure 4. 42 : Représente la variation de l'énergie produit par le système par année en fonction de débit de circuit solaire.	76
Figure 4. 43 : Représente la variation de l'énergie produit par le système par année en fonction de volume de stockage.....	77
Figure 4. 44 : Rendement instantané temporele.....	78
Figure 4. 45 : les pertes tuyauterie extérieur et inférieure avec les pertes de cuve de stockage.	78

Chapitre 5 : Aspect Economique

Figure 5. 1 : Répartition des coûts spécifiques d'investissement pour les systèmes solaires thermiques à grande échelle (Programme Solarthermie-2000) (Peuser, 2002).....	81
Figure 5. 2 : Période de retour d'investissement avec différents de taux d'actualisation (0%,5%,7%,10%).....	85
Figure 5. 3 : Evolution du coût du kilowattheure actualisé sur la durée de vie du système.	85
Figure 5. 4 : Les émissions de CO2 évitée et Gaz Natural Économie par année.....	86

Liste des tableaux

Chapitre 1 : Généralité sur les chauffe-eaux solaires

Tableau 1. 1 : Statistiques des degrés d'ensoleillement par zones.	5
Tableau 1. 2 : Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur.....	10
Tableau 1. 3 : les avantage et les inconvénients Installation solaire a un seul circuit.	26
Tableau 1. 4 : les avantage et les inconvénients d'une installation solaire avec échangeur dans le circuit primaire.....	27
Tableau 1. 5 : les avantage et les inconvénients d'une installation solaire avec échangeur dans circuit secondaire.	28
Tableau 1. 6 : les avantage et les inconvénients d'une installation solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve.....	28
Tableau 1. 7 : Plages de température des procédés appropriés	30

Chapitre 3 : dimensionnement d'une installation chauffe-eau solaire avec cuve de stockage

Tableau 3. 1 : Les données et les paramètre de l'installation chauffe-eau solaire.....	39
Tableau 3. 2 : les donnes géométriques de 3 sites étudiée.	39

Chapitre 5 : Aspect Economique

Tableau 5. 1 : Données techniques et économiques	84
--	----

Nomenclature

Les abréviations

CES : chauffe-eau solaire

CESI : chauffe-eau solaire individuel

STS : solar thermal systeme

CFD : Computational Fluid Dynamics

EFDM : Explicit finite difference method

CAE : Cout d'actualisee d'energie

VAN : Valeur actuelle net

FME : Flux monétaires sortant

FMS : Flux monétaires entrant

BAFA : Federal office of Economics and export control

SMMT : The Society of Motor Manufactures And Limited

EF : Eau froid

ECS : Eau chaud sortie

SO-PRO : Solar process heater.

TSOL : thermel solar (logiciel de simulation)

Symbole

C_{inv} : Investissement initial.

$C_{F\&M}$: Cout de fonctionnement et de maintenance.

C_c : Cout de consommation.

H_f : Les heures de fonctionnement.

P_{pompe} : Puissance de pompe.

P_{ele} : Prix d'électricité.

P_{gn} : Prix de gaz Natural.

$qsol$:Rendement solaire annuel spécifique .

$Qsol$: Rendement solaire annuel.

$Qusol$: Rendement solaire utile.

UR : Utilisation rate.

A_a : Surface des capteurs.

η_{sys} :Rendement de système solaire.

η_{chaud} : Rendement de chaudière .

d : Taux d'actualisation.

$Q_{\text{jour ouvrable}}$: L'énergie thermique par jour ouvrable

$m_{\text{jour ouvrable}}$: Masse d'eau froide chauffée par jour de travail

C_p : Capacité calorifique spécifique moyenne de l'eau

ΔT : Différence de température entre l'eau chaude et l'eau froid

A_{Ap} : La surface d'ouverture estimée du capteur solaire

T_{in} : Température d'entrée

m_p : Débit massique (l'eau+glycol)

KA : Coefficient de transfert de chaleur spécifique.

C : Charge thermique annuelle

$G_{\text{éa}}$: Gain énergétique annuel estimé

P_c : Profile de charge pour 1m^2 de chauffe-eau solaire

Résumé

يظهر التنظيف في المجال الصناعي امكانية هامة لاستخدام أنضمه الطاقة الشمسية الحرارية. ذلك لان كميات كبيرة من المجال الصناعي)، الغاز الطبيعي تستخدم من طرف هذا التطبيق من اجل توليد الطاقة الحرارية اللازمة (التنظيف في حيث يتطلب درجة حراره اقل من 100 درجة، من الممكن اليوم انتاج درجة الحرارة المطلوبة من خلال المجمع الشمسي الجماعي حيث تطرقنا في دراستنا الي جميع جوانب المجمع الشمسي الجماعي اي ان المنهجية المعتمدة لتحديد القدرة الحالية الطاقة الشمسية هي دراسة تقنية حيث تم ادراجها في برنامج محاكاة وتم تقييم النتائج وتم اجراء تحليل اقتصادي لحساب تكلفة الحرارة وفترة الاسترداد.

Le nettoyage dans le domaine industriel montre un potentiel important pour l'utilisation des systèmes d'énergie solaire thermique. En effet, de grandes quantités de gaz naturel sont utilisées par cette application afin de générer l'énergie thermique nécessaire (nettoyage dans le domaine industriel), car elle nécessite une température inférieure à 100 degrés. Aujourd'hui, il est possible de produire la température requise à travers le capteur solaire collectif Tous les aspects du capteur solaire collectif La méthodologie adoptée pour déterminer la capacité actuelle de l'énergie solaire est une étude technique où elle a été incluse dans un programme de simulation et les résultats ont été évalués et une analyse économique a été menée pour calculer la le coût de la chaleur et la période de récupération.

Cleaning in the industrial field shows an important potential for the use of solar thermal energy systems. This is because large quantities of natural gas are used by this application in order to generate the necessary thermal energy (cleaning in the industrial field), as it requires a temperature of less than 100 degrees. Today, it is possible to produce the required temperature through the collective solar collector. All aspects of the collective solar collector. The methodology adopted to determine the current capacity of solar energy is a technical study where it was included in a simulation program and the results were evaluated and an economic analysis was conducted to calculate the cost of heat and the recovery period.

Introduction Générale

Les crises mondiales et les problèmes économiques et politiques internationaux sont la principale raison de la hausse ou de la baisse des produits économiques, et il ne fait aucun doute que l'énergie est l'un des plus importants de ces produits, et c'est pourquoi la plupart des pays ont eu recours à des énergies alternatives pour maintenir leur stock international d'énergie brute (gaz, pétrole et ses dérivés).

Parmi les pays qui se sont lancés sur la voie des énergies alternatives, il y a l'Algérie qui a réalisé plusieurs projets et adopté plusieurs schémas efficaces, mais avec l'ascension de son mandat, elle a adopté une politique plus stricte en termes de sensibilisation et de coûts. Elle a déclaré la grande importance de ces projets dans le développement futur du pays. Parmi ces projets, le projet 3000 de subventions de chauffe-eaux solaires à usage domestique.

Ce dernier reste la nécessité inévitable de l'économie internationale en raison des effondrements récents, mais à la lumière de ces circonstances, le facteur affectant la consommation d'énergie dans le chauffage de l'eau ne reste pas l'usage domestique, mais l'usage industriel, car il détermine l'économie de l'État et construit l'infrastructure.

Ainsi, l'objectif principale du présent mémoire est d'aborder une étude techno-économique Pour le dimensionnement et la simulation d'un champ des capteurs solaires à eau à usage industriel.

Afin d'atteindre cet objectif, les étapes suivants ont été étudiés :

- Présentation d'un aperçu sur les innovations les plus importantes dans l'amélioration des performances du chauffe-eau solaire, notamment par rapport aux application industriel.
- Dimensionnement à l'aide du logicielle TSOL.
- Tester de l'efficacité du système grâce aux résultats fournis par le programme de simulation.
- Discussion des résultats.
- Calcule l'aspect des performances économique.

Chapitre 1 : Généralité sur les chauffe-eaux solaires

1. Introduction

L'énergie solaire est une énergie abondante, propre et inépuisable à l'échelle humaine. L'énergie solaire thermique est une des sources d'énergie renouvelables la plus proche de l'utilisateur final et une des plus faciles à mettre en œuvre et à utiliser. En outre, elle est directement liée aux activités quotidiennes. Une des applications les plus répandues du solaire thermique est la production d'eau chaude à des fins domestiques, agricoles et industrielles. Quel que soit le type d'installations, les systèmes de production d'eau chaude solaires fonctionnent selon le même principe : l'énergie du rayonnement solaire est transformée en chaleur pour produire l'eau chaude. Celle-ci est ensuite stockée dans un ballon pour être utilisée ultérieurement de jour comme de nuit. Un bon dimensionnement de l'installation et un système performant de régulation des températures permettra d'atteindre un maximum de productivité solaire.

2. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le soleil. En plus des rayons cosmiques, particules animée d'une vitesse et d'une énergie extrême élevées, le soleil émet des ondes électromagnétiques dont le spectre s'étend des ondes radio aux rayons gamma, en passant par la lumière visible. Ce rayonnement transporte l'énergie solaire, indispensable à toute vie terrestre. [1]

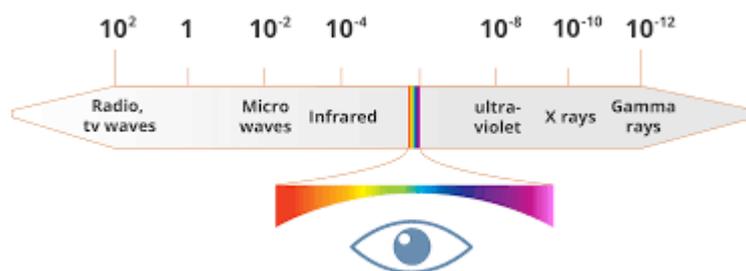


Figure 1. 1 : Rayonnement solaire électromagnétique

2.1. Les paramètres qui influent sur le rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol dépend de :

- L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre.
- La période de l'année.
- La nature des couches nuageuses.
- La latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude.
- L'instant considéré dans la journée. [2]

3. Rayonnement solaire au sol [3], [4]

L'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'il reçoit. Au cours de sa traversée de l'atmosphère terrestre, nous mentionnons 3 types de rayonnement solaire : la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussières et les molécules de gaz, la somme de ces trois rayonnements constitue le rayonnement global. Voir ces types dans (Figure 1.2) :

- Le rayonnement direct : Ses rayons sont parallèles entre eux et peuvent être concentrés par des miroirs. C'est la part du rayonnement qui traverse sans encombre l'atmosphère et arrive directement sur la surface terrestre.
- Le rayonnement diffus : Les molécules présentes dans l'atmosphère font varier la direction du faisceau de rayonnement, provoquant ainsi une dispersion et donnant lieu au rayonnement diffus multidirectionnel qui parvient depuis tout point de la voûte céleste
- Rayonnement réfléchi : appelé parfois albédo, cette composante provient du sol environnant par suite de la réflexion par ce dernier des rayonnements direct et diffus.

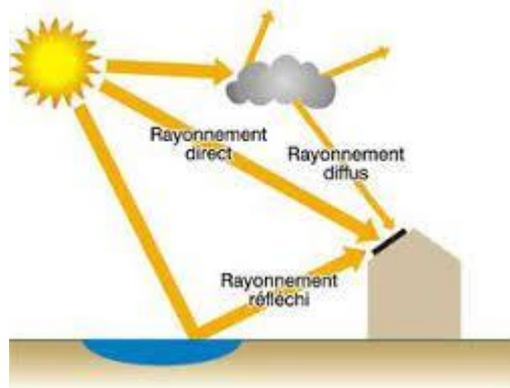


Figure 1. 2 : Composantes du rayonnement incident.

4. Instruments de mesure du rayonnement solaire.[5]

Il y a plusieurs instruments pour mesurer les rayonnements solaires et nous mentionnons 3 importants outils :

a. L'héliographe.

L'héliographe quant à lui mesure les périodes de la journée où l'intensité du rayonnement direct dépasse un seuil donné. Les météorologues parlent de rayonnement direct auquel l'héliographe est sensible tant que des ombres sont visibles au sol ($E > 120 \text{ W/m}^2$). L'agrégation de ces périodes indique la durée d'ensoleillement journalier, permettant de calculer la fraction d'insolation. Une sphère de verre concentre le rayonnement direct vers un point qui brûle un

papier particulier dans l'héliographe de Campbell-Stokes. Le mouvement apparent du soleil est décrit par le point brûlé qui se déplace en suivant une courbe dont la longueur est proportionnelle à la période d'insolation. Jordan utilise du papier photographique pour son héliographe. Nous utilisons actuellement des héliographes automatiques à base de cellules photovoltaïques.



Figure 1. 3 : L'héliographe

b. Le pyrhéliomètre.

Les pyrhéliomètres sont des instruments qui mesurent le rayonnement direct. Ils ont une ouverture plus petite et une surface de réception qu'un système de poursuite automatique doit maintenir perpendiculaire au rayonnement. Un disque d'argent noirci est posé au fond d'un tube muni d'un obturateur et d'un diaphragme qui limite l'angle d'ouverture à $5,7^\circ$ (le diamètre apparent du soleil plus $0,5^\circ$). Une monture équatoriale maintient le tube. En ouvrant et en fermant l'entrée de l'appareil à intervalles réguliers, la température du disque d'argent est mesurée.



Figure 1. 4 : Pyrhéliomètres

c. Le Pyranometre.

Le pyranomètre est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.



Figure 1. 5 : Pyranomètre

5. Potentiel solaire en Algérie

L’Algérie dispose d’un des gisements solaires les plus importants au monde. La durée d’ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse 2000 heures annuellement et peut atteindre 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) (Tableau 1.1). L’énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est d’environ 5 (KW/h) sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 (KW/h/m²) /an au Nord et 2650 (KW/h/m²) /an au Sud. Le potentiel d’énergie renouvelable le plus important en Algérie est le solaire. Il est le plus important de tout le bassin méditerranéen. [6]

Régions	Régions coterie	Haute plateaux	Sahara
Superficie	04	10	86
Durée moyenne d’ensoleillement (H/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue kWh/m ² /an	1700	1900	2650

Tableau 1. 1 : Statistiques des degrés d’ensoleillement par zones.

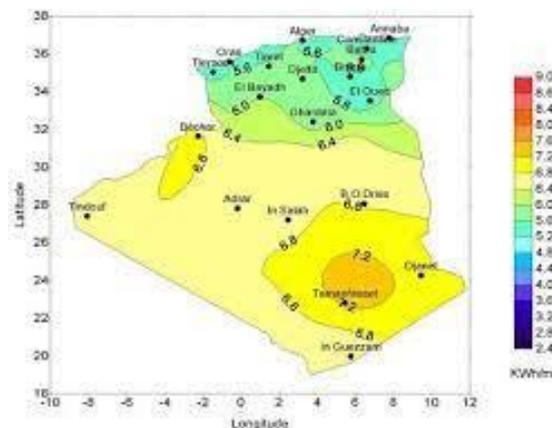


Figure 1. 6 : Irradiation globale journalier sur plan horizontal d’un mois.

6. L'effet de serre.

Un effet de serre est un processus naturel par lequel le rayonnement thermique d'une surface planétaire est absorbée par l'atmosphère des gaz à effet de serre, puis est réémise dans toutes les directions.

Étant donné qu'une partie de ce ré-rayonnement est de retour vers la surface et la basse atmosphère, il en résulte une élévation de la température moyenne à la surface. [7]



Figure 1. 7 : Le phénomène de l'effet serre.

6.1. Principe de l'effet de serre dans les capteurs solaires thermiques

L'énergie solaire nous parvient principalement sous forme de rayonnement visible, et le vitrage du capteur plan doit donc être le plus transparent possible pour permettre à cette lumière d'atteindre au mieux l'absorbeur situé juste derrière. Il a une autre fonction importante qui consiste à être quasiment opaque au rayonnement infrarouge, celui produit par l'échauffement de l'absorbeur noir, du fait de la longueur d'onde plus grande. C'est le phénomène de l'effet de serre.

Et à partir de là, les capteurs solaires thermiques fonctionnent grâce à un effet de serre. Il s'agit en petite effet serre.

6.2. Fonctionnement de l'effet de serre dans le capteur solaire thermique

Le rayonnement solaire, ne traverse pas entièrement le vitrage du capteur une telle qu'une petite partie est réfléchi (Pr) par la vitre, surtout si l'angle d'incidence est fort. Malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie (Pv) de l'énergie reçue sera absorbée par le verre.

Donc du rayonnement reçu par l'absorbeur, une partie (Pd) sera ré-rayonnée ou diffusée à l'air ambiant par convection.

Une faible partie de P_d va traverser la vitre et sera perdue définitivement, une autre partie (P_{v1}) sera absorbée par la vitre et le reste (P_a) retournera vers l'absorbeur. [8]

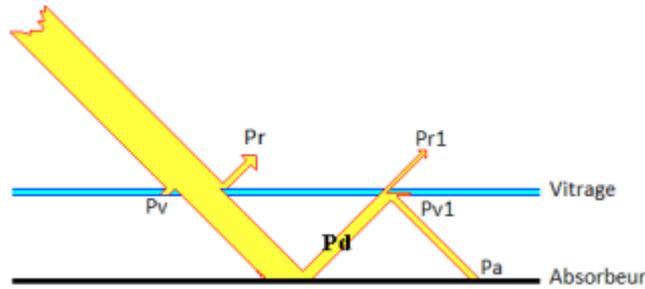


Figure 1.8 : Fonctionnement de l'effet de serre dans le capteur solaire

7. Les installations solaires de production d'eau chaude

Les systèmes de production d'eau chaude solaires fonctionnent selon le même principe. L'énergie du rayonnement solaire est transformée en chaleur pour produire l'eau chaude. Celle-ci est ensuite stockée dans un ballon pour être utilisée ultérieurement. Les CES nécessitent une énergie d'appoint pour parer à l'absence du soleil ou la demande en eau chaude est supérieure aux prévisions.

Les quatre principales parties qui composent les CES ont pour fonction (Figure 1.9) :

- Le captage du rayonnement solaire
- Le transfert et son système de régulation
- Le stockage d'eau chaude et l'appoint
- La distribution vers l'utilisateur

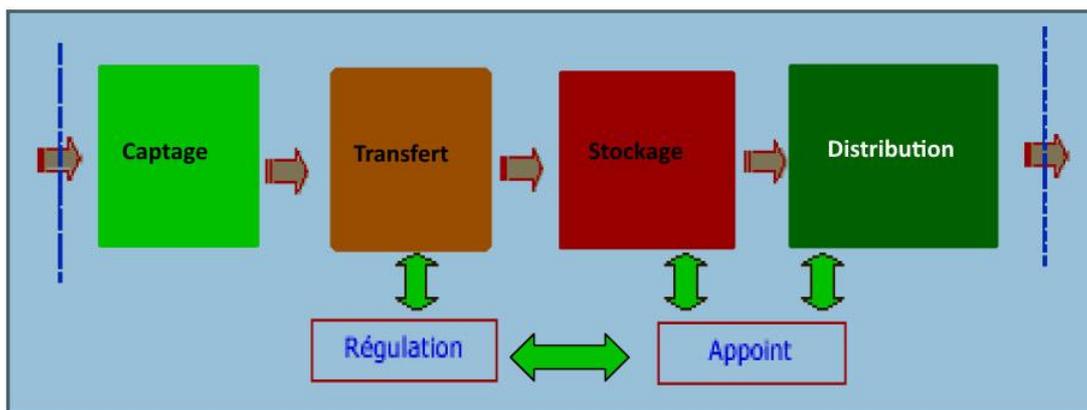


Figure 1.9 : Schéma synoptique d'une installation de production d'eau chaude solaire.

Grâce à des capteurs d'un niveau technique élevé (grande absorption et faible émissivité du rayonnement).

Dans notre mémoire, nous intéressons à trois éléments : les capteurs solaires, la cuve de stockage, Le système d'appoint. [9]

7.1. Les capteurs solaires

Les capteurs d'énergie solaire fonctionnent de manière similaire aux échangeurs de chaleur en ce sens qu'ils transforment une forme d'énergie, le rayonnement solaire, en une autre sous forme d'eau chaude. Le composant qui permet cet échange d'énergie est un capteur solaire. Le capteur solaire absorbe le rayonnement et le convertit en chaleur. Cette chaleur est ensuite transférée à un fluide, généralement de l'eau ou un mélange de glycol, qui circule dans le capteur il est ensuite transporté soit directement à l'endroit souhaité, soit dans un réservoir de stockage où il peut être utilisé en cas de besoin.

Les principaux types de capteurs solaires :

- Les capteurs solaires plans (vitrés ou non) utilisés pour les basses températures
- Les capteurs tubulaires sous vide qui sont plus performants que les capteurs plans
- Les capteurs solaires à concentration pouvant atteindre des températures de plus de 200°C.

Les capteurs solaires plans vitrés qui ont été utilisés dans notre installation feront dans ce qui suit l'objet d'une description détaillée. [10]

7.1.1. Les captures solaires plans

7.1.1.1. Les captures solaires plans vitres

7.1.1.1.1. Définition [11]

Un capteur solaire plan est généralement composé d'une plaque absorbante couverte par un revêtement sélectif et placée au-dessous d'un vitrage (ou même d'un double vitrage) qui emprisonne le rayonnement solaire reçu. Le tout est placé dans un boîtier isolé en arrière pour minimiser les pertes par conduction vers l'environnement.

Le vitrage a une grande transmissivité pour permettre à un maximum de rayonnement solaire de passer vers l'absorbeur. L'absorbeur est de forte absorptivité afin de convertir un maximum d'énergie en chaleur. Un capteur plan vitré est composé à :

- Absorbeur
- Isolation
- Des tubes
- Le Vitrage

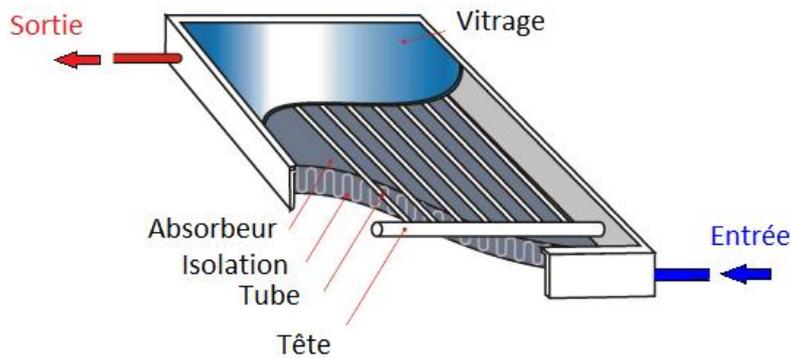


Figure 1.10 : Un capteur solaire plan vitré.

7.1.1.1.2. Fonctionnement

- Le rayonnement solaire (a) traverse la couverture transparente (1) en verre ou en matière synthétique. Il frappe ensuite l'absorbeur (2). C'est à la surface de celui-ci que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur (3) circule dans l'absorbeur et conduit la chaleur captée vers le consommateur. Une partie de la chaleur captée retourne cependant à l'environnement du capteur et est perdue. Le capteur est construit afin de limiter au maximum ces pertes :
- La couverture transparente a la propriété de mieux laisser passer le rayonnement solaire que le rayonnement thermique (c), appelé aussi rayonnement infrarouge, émis par l'absorbeur. La chaleur est ainsi piégée dans le capteur (d) : c'est ce qu'on appelle l'effet de serre. La couverture évite de plus le refroidissement de l'absorbeur par le vent. – L'efficacité du capteur est améliorée si l'absorbeur est revêtu d'une couche sélective. Ce traitement a la particularité de mieux absorber le rayonnement solaire qu'il ne réémet le rayonnement infrarouge.
- L'isolation (4) du cadre limite les pertes thermiques du capteur par les côtés (g) et l'arrière (h). La couverture et le cadre (5) protègent l'intérieur du capteur des influences néfastes de l'environnement : pluie, poussières etc.

- a. Rayonnement solaire incident
- b. Rayonnement solaire réfléchi par le vitrage
- c. Rayonnement thermique émis par l'absorbeur
- d. Rayonnement thermique réfléchi par le vitrage
- e. Rayonnement thermique absorbé par le vitrage
- f. Rayonnement thermique émis par le vitrage
- g. Pertes thermiques latérales
- h. Pertes thermiques inférieure [12]

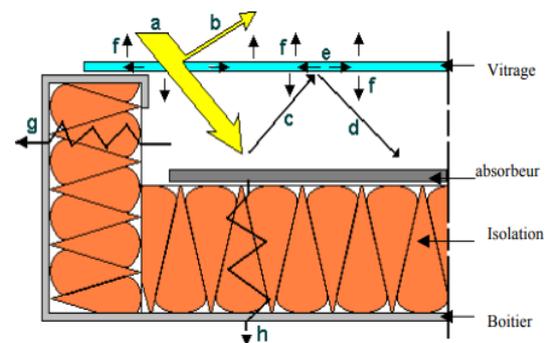


Figure 1.11 : Rayonnements Echanges thermiques.

Les composants

a. L'absorbeur

Le rôle principal d'un absorbeur est le captage du rayonnement solaire et sa conversion en énergie calorifique. Il est généralement peint en noir pour absorber tous les rayonnements dans le spectre du visible, du l'ultraviolet et une faible quantité dans l'infrarouge. L'absorbeur est choisi selon les caractéristiques suivantes :

- ✓ Un bon coefficient d'absorption.
- ✓ Une bonne conductivité thermique.
- ✓ Une bonne résistance à la corrosion.

Le choix du matériau et le procédé de construction ont une grande influence sur la qualité d'un capteur. Du fait de leurs conductivités élevées, le cuivre, l'acier et l'aluminium sont les matériaux les plus couramment utilisés, Les caractéristiques de divers matériaux utilisés comme absorbeur sont données au tableau (1-2). [13]

Matière	Conductivité en W/m.°C	Masse volumique kg/m ³	Coefficient de dilatation en mm pour 1m et 100°C
Aluminium	230	2700	2,38
Cuivre	380	8930	1,65
Zinc	112	7130	2,90
Acier	52	7900	1,15
Inox	52	7900	1,15
Plastiques	0.2-0.4	1000 à 1500	7 à 20

Tableau 1. 2 : Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur.

La géométrie du circuit emprunté par le fluide caloporteur joue un grand rôle car elle assure une irrigation parfaite de l'absorbeur et d'avoir un transfert thermique rapide entre le fluide caloporteur et l'absorbeur afin d'éviter les zones chaudes et d'améliorer le rendement.

On rencontre plusieurs types :

Film d'eau : l'absorbeur est constitué de deux feuilles de métal avec un jeu de chicanes intérieures qui permet d'enfermer de fines lames de fluide caloporteur (radiateurs extra-plats)

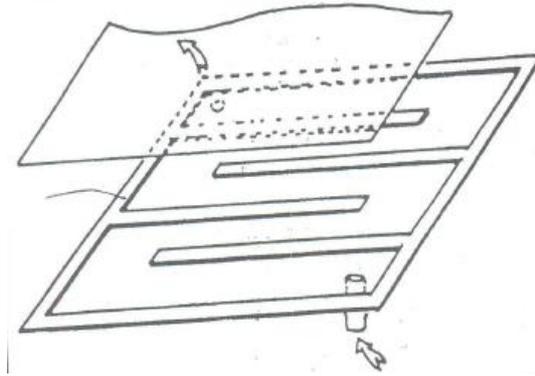


Figure 1. 12 : Absorbeur film d'eau.

Tube en S : l'absorbeur est constitué d'une plaque de métal avec un tube monté en S dans lequel circule le fluide caloporteur. Ce type d'absorbeur présente l'inconvénient d'avoir de fortes pertes de charge et une inégale répartition de la température du fluide.

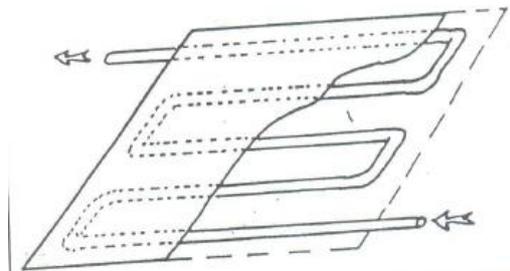


Figure 1. 13 : Absorbeur tube S.

Absorbeur avec tubes en parallèle montés en Tickelman : c'est la technique la plus utilisée. Elle consiste à souder sur une plaque de métal une série de tubes parallèles. Ces tubes sont reliés en haut et en bas par deux collecteurs.

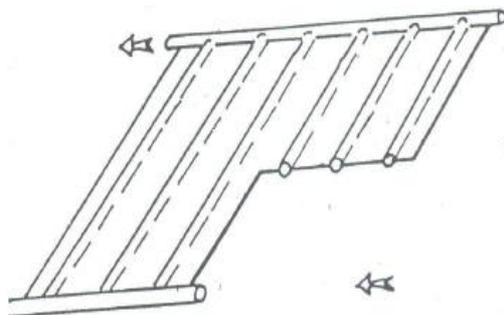


Figure 1. 14 : Absorbeur montage Tickelman. [14]

b. Isolation. [15]

L'isolation est essentielle dans les applications d'énergie solaire thermique pour limiter les pertes par conduction et convection vers le milieu environnant sur les côtés et le fond du capteur. L'isolant doit être opaque au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde émis par la plaque rayonnante (absorbeur).

Un bon isolant doit avoir les qualités suivantes :

- Une faible conductivité thermique
- Une faible densité (pour une faible inertie thermique)
- La chaleur massique doit être basse

On distingue trois types d'isolants :

- Isolants minéraux
- Isolants d'origine végétale
- Isolants organiques

L'absorbeur doit transmettre l'énergie qu'il capte au fluide caloporteur en évitant les pertes (conduction, convection, rayonnement) des différentes parties périphériques vers l'extérieur, les solutions adoptées sont les suivantes :

▪ **Partie avant de l'absorbeur**

La lame d'air d'épaisseur e' située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission par conductibilité ; mais si e' est trop grand, une convection naturelle de l'air intervient, ce qui entraîne des pertes non négligeables par convection. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan on prend : $e' \sim 2,5\text{cm}$. En plaçant deux vitres on limite évidemment les pertes dues à la réémission (double effet de serre) et on limite aussi les pertes par conduction – convection.

▪ **Les parties arrière et latérales**

On place un isolant (laine de verre, polystyrène, polyuréthane) sur ces parties afin de limiter les pertes par conduction – convection à la périphérie. [15]

c. Le vitrage

C'est une surface faite d'un matériau transparent au rayonnement visible mais opaque au rayonnement IR, favorisant ainsi l'effet de serre. Le vitrage laisse passer jusqu'à 95% de la lumière. Son utilisation permet de réduire les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur et d'éviter le refroidissement de l'absorbeur par le vent. Il est placé devant l'absorbeur pour deux raisons :

- L'isolation : elle permet à l'air extérieur de ne pas prendre contact avec l'absorbeur.
- L'effet de serre : a pour rôle de retenir les émissions entre le verre et l'absorbeur. [16]

d. Sonde de température

La plupart des capteurs plans sont équipés d'une sonde de température, élément fondamental du système de régulation du chauffe-eau solaire. Selon le modèle, cette sonde est soit plongée dans la tuyauterie de sortie du fluide caloporteur (connexion vissée au moyen d'un connecteur en « T »), soit fixée à l'absorbeur (fig. 1.15).

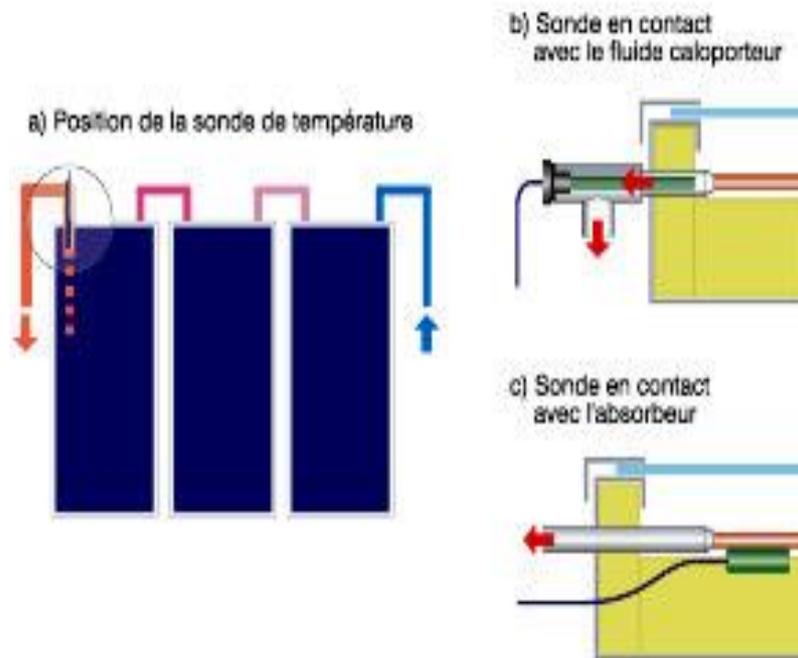


Figure 1.15 : Positionnement de la sonde de température sur le capteur. [9]

7.1.1.1.3. Les paramètres qui influent

➤ Les paramètres externes

Les principaux paramètres externes qui peuvent intervenir directement sur les performances d'un capteur plan sont :

- ✓ Paramètre d'ensoleillement : le rayonnement solaire, position du soleil, durée d'insolation, ...etc.
- ✓ Température ambiante
- ✓ Vitesse du vent

➤ Les paramètres internes

• Paramètres géométriques :

- ✓ Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- ✓ La surface du capteur

- ✓ Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur
- Paramètres de fonctionnement :
 - ✓ La température d'entrée du fluide caloporteur
 - ✓ Le débit massique du fluide caloporteur
 - ✓ Les températures des différents éléments du capteur. [17]

7.1.1.2. Les captures solaires plans sans vitres

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer son application typique est le chauffage de piscines extérieures ; il ne permet pas la production d'ECS sauf dans les pays où cela est requis par la loi. Il s'agit d'un absorbeur basse température constitué d'un seul matériau synthétique. Températures du métal revêtu d'un revêtement sélectif. [18]

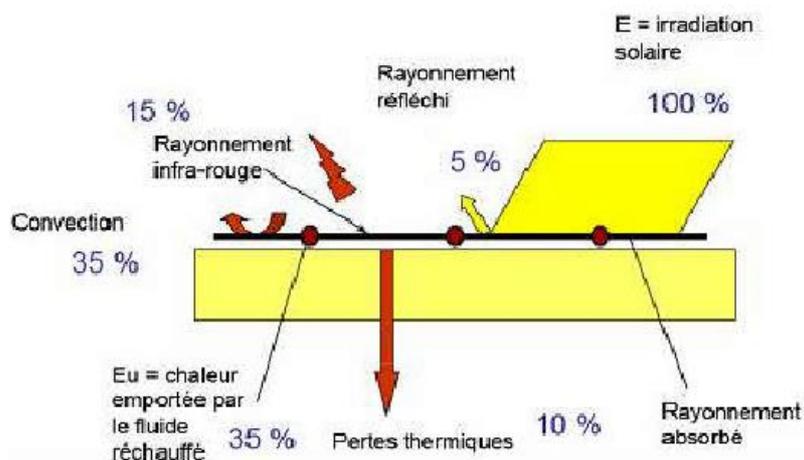


Figure 1. 16 : Principe de fonctionnement de capteur solaire non vitré à revêtement sélectif.

7.1.2. Les capteurs tubulaires sous vide [19]

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur.

On peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique ou un coffre de protection.

La fabrication des tubes et l'assemblage des capteurs sont simplifiés car il n'y a pas de soudures verre-métal. Par contre les tubes thermos sont particulièrement fragiles au point de liaison avec le collecteur, où les parties extérieure et intérieure de chaque tube se rejoignent. Ces capteurs

peuvent atteindre des températures élevées et les tubes sont inclinables, ce qui permet une utilisation en façade ou sur une toiture insuffisamment inclinée pour utiliser des capteurs plans.

Un capteur solaire thermique sous vide est composé :

- d'une série de tubes de verre sous vide,
- d'un absorbeur fixé à l'intérieur des tubes de verre,
- d'un tube en cuivre à l'intérieur des tubes de verre.

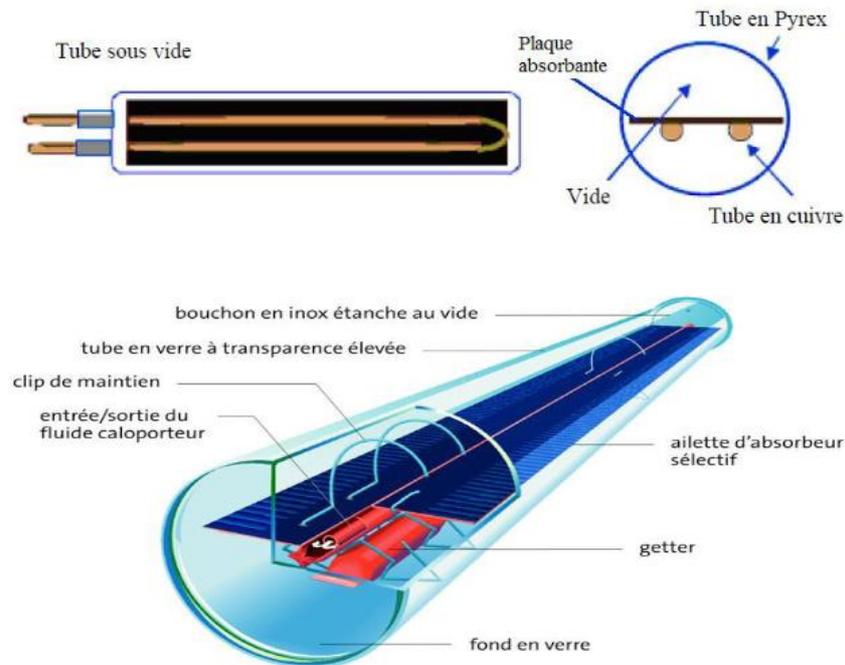


Figure 1. 17 : Composants d'un capteur tubulaire sous vide.

7.1.3. Les capteurs solaires à concentration

Ce type de capteur solaire réfléchit et focalise le rayonnement solaire qui est dirigé directement sur l'absorbeur afin d'augmenter l'intensité des rayons solaires. De ce fait, l'utilisation de ce type de capteur permet d'atteindre des températures supérieures à celles atteignables avec un capteur plan. [20]

On distingue deux types de concentration :

- 1) Les systèmes qui peuvent concentrer le rayonnement autour d'une ligne appelés concentration linéaire ou concentrateurs à deux dimensions. Il s'agit pour l'essentiel des lentilles 45 réflecteur Tube évacué Tube en verre absorbant (forme- 4)
- 2) cylindriques réfléchissantes réglées. (Forme- 3)
- 3) Les systèmes pouvant concentrer la lumière autour d'un point, appelés concentrateurs ponctuels ou concentrateurs à trois dimensions. Ces systèmes présentent une symétrie de révolution autour d'un axe. (Forme-1 ,2).

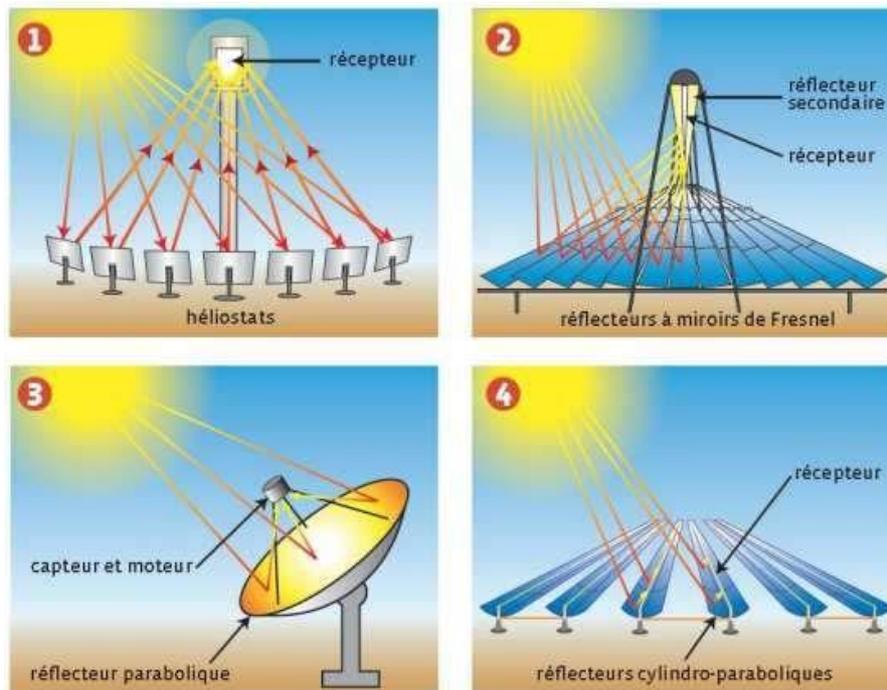


Figure 1.18 : Différents types des capteurs solaires à concentration.

Un capteur solaire thermique à concentration est composé [21] :

- 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.
- D'un réseau de tubes en cuivre.

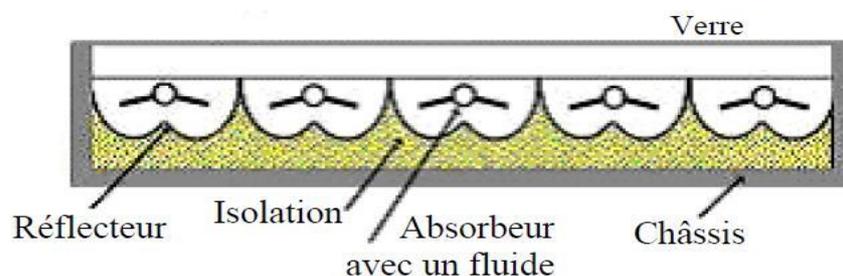


Figure 1.19 : Capteur à concentration.

7.2. Le cuve de stockage [22]

La cuve de stockage est un élément essentiel dans l'installation de chauffage d'eau solaire. Elle permet de stocker l'eau chaude venant des capteurs pour la restituer au moment des besoins d'utilisation, elle 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 Le réservoir peut également être recouvert d'une robe isolante afin de maintenir l'isolation.

Le stockage est caractérisé par :

- Le mode d'accumulation de chaleur (sensible ou latente).
- La capacité thermique du stock.
- Les pertes thermiques du stockage.

Suivant la capacité de stockage on distingue deux types :

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

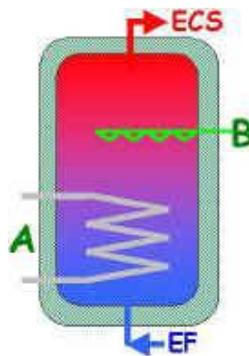


Figure 1. 20 : La cuve de stockage avec échangeur.

7.3. Le système d'appoint [23]

Un chauffe-eau solaire ne peut pas fournir de l'eau chaude en cas de faible ensoleillement, dans ce cas, il faut se servir d'un chauffage d'appoint utilisant une source d'énergie conventionnelle (gaz, fioul, électricité, bois).

Il existe plusieurs types de chauffage d'appoint :

- **L'appoint intégré :**

L'installation ne dispose que d'un seul ballon, pourvue de deux échangeurs, l'un récupère l'énergie solaire et chauffe d'abord l'eau située en partie basse du ballon "circuit capteurs". L'autre échangeur, qui peut être une résistance électrique (Figure 1.21) ou provenant d'une chaudière à gaz (Figure 1.22), situé en partie haute, apporte le complément d'énergie nécessaire à l'obtention du degré recherché

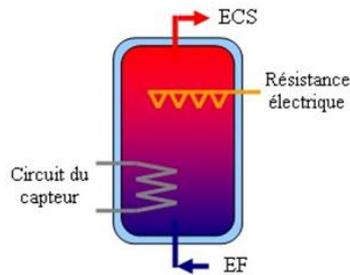


Figure 1. 21 : L'appoint électrique.

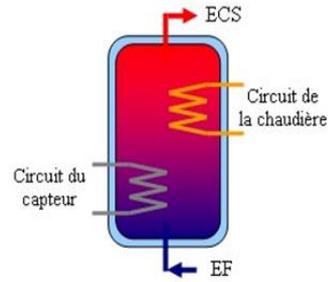


Figure 1. 22 : L'appoint chaudière à gaz

➤ **L'appoint séparé :**

Le nombre de jours qu'un chauffe-eau solaire puisse fonctionner sans appoint varie surtout avec le climat, l'appoint séparé peut être envisagé dans certains cas, généralement quand un ballon de stockage existe déjà, cette configuration comporte alors deux ballons de stockage et deux échangeurs de chaleurs (Figure 1.23).

➤ **L'appoint en série :**

L'eau chaude solaire pourrait servir directement ou transiter par le chauffe-eau électrique (Figure 1.24). Si nécessaire, le chauffe-eau électrique servira comme appoint et pourrait augmenter la température de l'eau préchauffée par le soleil.

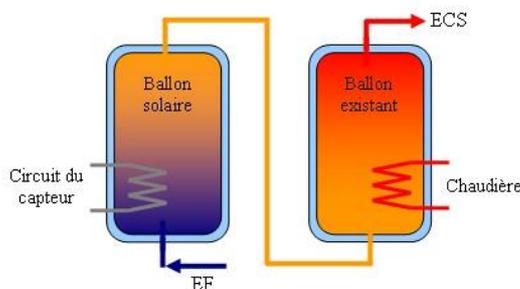


Figure 1. 23 : L'appoint séparé.

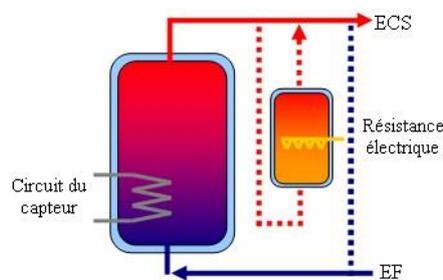


Figure 1. 24 : L'appoint en série.

8. Les différents types de chauffe-eau solaire collectif

Les CES collectifs fonctionnent selon le même principe que les CESI. Seules les dimensions des éléments diffèrent ainsi que les schémas hydrauliques et les systèmes de régulations.

8.1. Disposition des capteurs [24]

➤ **Capteurs en série**

Dans ce type de montage, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur dont la sortie est reliée à l'entrée du troisième capteur et ainsi de suite. Plus le parcours du

fluide caloporteur est long, plus les températures obtenues à la sortie du dernier capteur sont élevées.

➤ Capteurs en parallèle :

Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs.

➤ Capteur mixte :

Il s'agit d'un montage qui combine le mode série et le mode parallèle. Il en résulte une distribution plus uniforme de l'écoulement et donc des températures. Il existe deux types de raccordement mixte, particulièrement indiqués pour les installations de grande dimension.

- Le raccordement série parallèle.

- Le raccordement parallèle série.

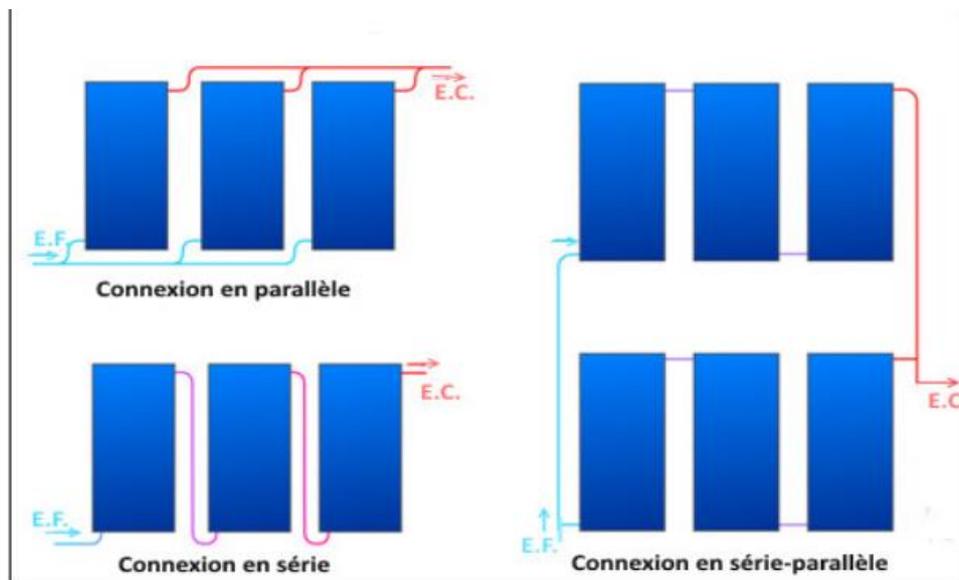


Figure 1. 25 : Disposition des capteurs.

8.2. Les principales configurations [25].

Suivant la nature des besoins et leur localisation, on peut considérer trois niveaux de contrainte conduisant aux solutions suivantes :

- Production centralisée avec distribution directe
- Production centralisée avec distribution par boucle de circulation.
- Production solaire collective à appoints individuels

8.2.1. Production centralisée avec distribution directe

Dans ce cas, le générateur d'appoint est un équipement unique placé en chaufferie à proximité du ballon de stockage solaire. Ce type de configuration concerne des installations de taille inférieure à 40 m² de capteurs.

L'échangeur est directement incorporé au ballon solaire. L'appoint est centralisé sur un seul ballon ou un seul groupe de ballons. Le nombre et le volume unitaire des ballons seront choisis en fonction de la place disponible dans le local technique et du volume de stockage.

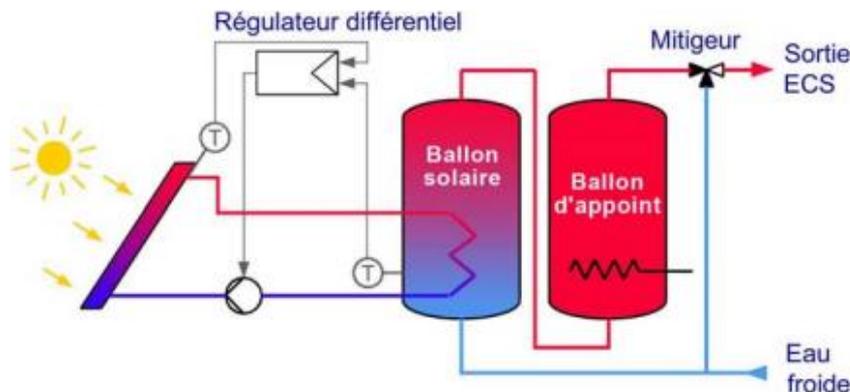


Figure 1. 26 : Schéma production centralisée avec distribution directe.

8.2.2. Production centralisée avec distribution par boucle de circulation

Ce type de configuration concerne des installations de taille supérieure à 40 m². On utilise un échangeur à plaques situé entre les capteurs et le ballon solaire. Ce montage permet un démarrage en deux étapes :

Une première étape où la boucle primaire est mise en circulation avec homogénéisation des températures dans les capteurs solaires et dans les canalisations.

Seconde étape où le circuit secondaire est mis en service avec transfert d'énergie de la boucle primaire à la boucle secondaire. Le circulateur secondaire de type « sanitaire » est asservi à celui du primaire, afin d'éviter qu'il ne fonctionne pour rien.

Si plusieurs ballons sont nécessaires ils seront disposés en série. La boucle de recirculation de l'eau chaude sanitaire doit être conçue de telle sorte que le réchauffage de la boucle pour compenser les pertes thermiques soit assuré par l'appoint et non par le ballon solaire.

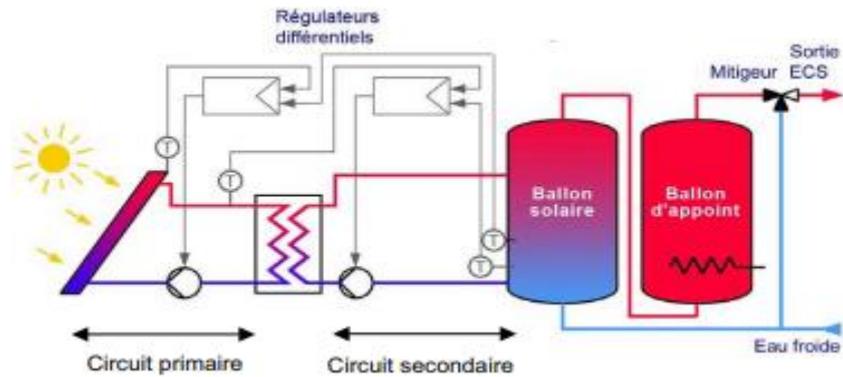


Figure 1. 27 : Production centralisée avec distribution par boucle de circulation.

8.2.3. Production solaire collective à appoints individuels [26].

Comme les installations solaires thermiques en général, les installations solaires collectives individualisées produisent de l'Eau Chaude Sanitaire et utilisent à cet effet, en partie l'énergie solaire.

Les installations solaires collectives individualisées comprennent :

- un champ de capteurs solaires qui convertit le rayonnement solaire incident en chaleur.
- autant de réservoirs de stockage que de logements, chaque volume étant adapté aux besoins individuels.
- des conduites (circuit primaire) reliant le champ de capteurs solaires aux échangeurs internes de chaque ballon de stockage.
- un fluide caloporteur circulant dans le circuit primaire et acheminant dans le réservoir de stockage, l'énergie produite par les capteurs.
- une pompe pour la mise en circulation du fluide caloporteur.
- des accessoires hydrauliques (purgeurs, vannes d'isolement vannes d'équilibrage, clapets anti-retour, vases d'expansion manomètres, compteur d'eau, sondes de température...).
- un dispositif de régulation automatique avec action sur la pompe.
- une source énergétique d'appoint.

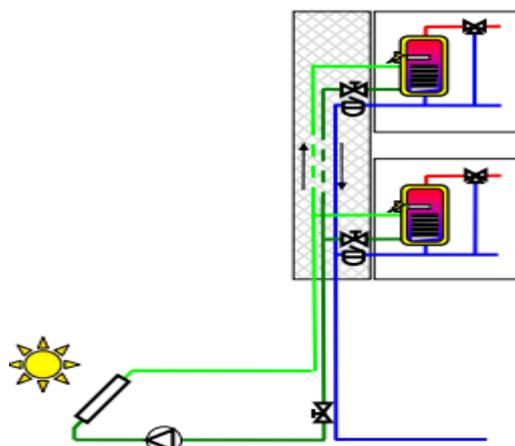


Figure 1. 28 : CES collectif a appoints individualises.

La figure I.25 présente un schéma d'un système collectif avec production et appoint centralises.

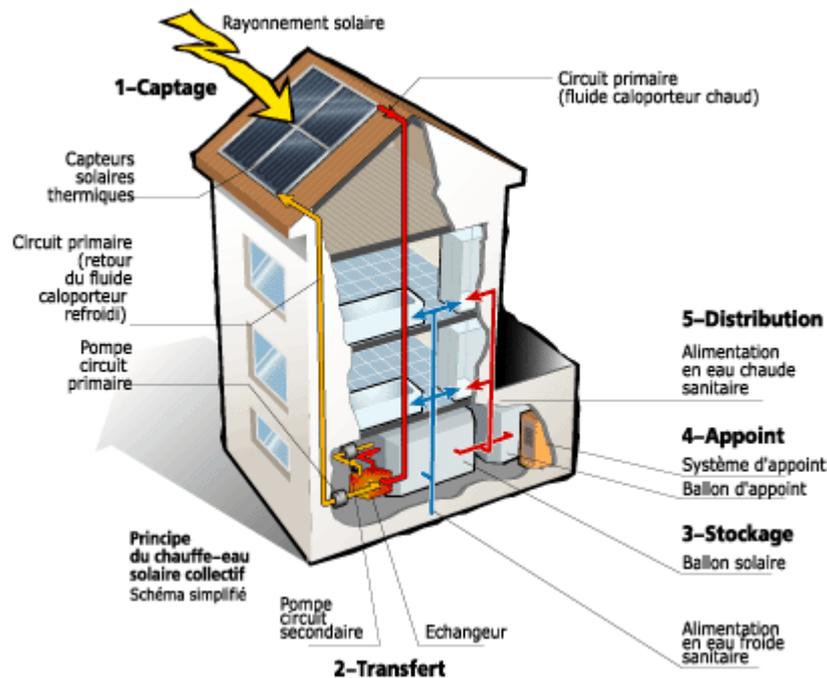


Figure 1. 29 : Schéma d'un CES collectif a production et appoint centralises.

9. Les autres composants d'un chauffe-eau solaire [27]. [28]

9.1. Les conduites de circuit

Habituellement, les matériaux utilisés pour les tuyauteries sont des tubes en cuivre ou des tubes en acier simple. Des systèmes complets comprenant les tuyauteries allées et retour ainsi que le câble pour la sonde de température de capteur et l'isolation (Figure 1.30). Ce système de la tuyauterie permet un gain de temps à l'installation. Les tuyauteries du circuit primaire ont intérêt à être isolée de manière à limiter les pertes de chaleur entre les collecteurs et le ballon de stockage.



Figure 1. 30 : Conduites de liaison isolées

9.2. Une pompe (circulateur)

Le rôle du circulateur est d'assurer la circulation du fluide caloporteur dans la boucle solaire, les circulateurs utilisés dans les installations de chauffage centrale avec radiateur conviennent normalement aussi pour les installations avec chauffe-eau solaire.



Figure 1. 31 : Le circulateur.

9.3. Le clapet anti-retour

Le clapet anti-retour a pour fonction d'empêcher, dans les systèmes sans vidange qu'un effet de thermosiphon n'entraîne une inversion du circuit primaire en cas d'arrêt de la pompe.



Figure 1. 32 : Clapet anti-retour.

9.4. Vase d'expansion

La vase d'expansion doit permettre l'expansion du fluide caloporteur et permettre d'absorber le volume de ce dernier expulsé du capteur solaire lorsqu'un phénomène d'ébullition survient, et cela sans hausse excessive de la pression.



Figure 1. 33 : Vase d'expansion.

9.5. Soupape de sécurité

La soupape de sécurité sert à limiter la pression maximale dans le circuit primaire, les soupapes de sécurité sont constituées d'un boîtier en laiton et peuvent être associée à un manomètre, habituellement les soupapes de sécurité ont des pressions d'ouverture de 4 à 6 Bars.



Figure 1. 34 : Soupape de sécurité

9.6. Les robinets des vidanges

Des robinets de vidange et de remplissage devront être placés au point le plus bas du circuit solaire et sur l'arrivée d'eau froide afin de pouvoir effectuer la vidange complète de l'installation.



Figure 1. 35 : Robinet de vidange.

9.7. Les purgeurs

Les purgeurs permettant à l'air de s'échapper des tuyauteries, ce qui se produit lors de remplissage et le cas échéant ultérieurement en cours de fonctionnement de l'installation, les purgeurs doivent être disposés aux points les plus élevés de l'installation, le purgeur est uniquement prévu pour les installations sans vidange. On utilise exclusivement des purgeurs à commande manuelle ou des purgeurs automatiques (verrouilla blés) lors du fonctionnement normal de l'installation.



Figure 1. 36 : Purgeur automatique.

9.8. Le manomètre

Il indique la pression dans le circuit et doit permettre un contrôle régulier de la pression, il est normal de constater une élévation de pression lorsque le circuit primaire est chaud.



Figure 1. 37 : Manomètre.

9.9. Le fluide caloporteur

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de l'installation. Différents fluides peuvent être utilisés (eau, glycol,..), mais il faut veiller au risque de gel de l'installation dû à la présence des capteurs à l'extérieur en hiver. On choisira donc habituellement de travailler avec un fluide résistant à des basse températures en veillant bien à la vidange complète des parties de l'installation présentant un risque de gel.

9.10. Le Débit

Deux possibilités se présentent pour la circulation du fluide caloporteur en fonction de la vitesse d'écoulement de celui-ci dans le circuit primaire : le bas débit et le haut débit.

- Dans un système faible débit : la circulation du fluide caloporteur dans la boucle primaire de l'installation est réalisée à faible débit. Cela permet de travailler avec des faibles diamètres de tuyauteries et des Δt (différences de température entre l'entrée et la sortie de l'absorbeur) assez élevés. On favorise donc la production d'une petite quantité d'eau avec une grande augmentation de température, ce système est rarement utilisé, excepté dans le cas où l'eau chauffée par les capteurs est directement utilisée sans passer dans un échangeur.
- Dans un système haut débit : la circulation du fluide caloporteur dans la boucle primaire est réalisée à haut débit. Cela nécessite un diamètre de tuyauteries plus important et entraîne un échange avec de faibles différence de température. On favorise ainsi la production d'une plus grande quantité d'eau avec une faible augmentation de température.[29]

10. Différents types d'installations solaires pour process industriel [30]

Il existe plusieurs types d'installations de chauffe-eau solaire collective, à un seul circuit, à double circuit ou à échangeurs.

10.1. Installation solaire a un seul circuit (sans échangeur)

Le capteur et la cuve de stockage forment un seul circuit hydraulique dans le système comme le représente la figure

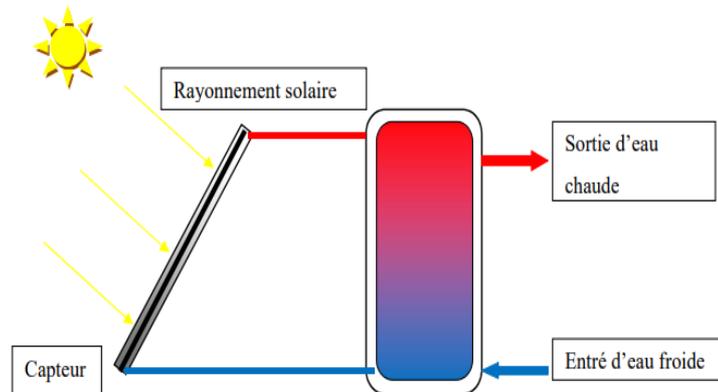


Figure 1. 38 : Chauffe-eau solaire sans échangeur.

Celui-ci présente des :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Sa réalisation est très simple. • Un bon rendement thermique étant donnée l'absence d'échangeur. • Un coût bas dû à l'absence aux deux éléments d'échangeur de chaleur et de fluide antigel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque aux fortes pressions pour la cuve et pour le capteur (pression de réseau). • Risque de gel dans le circuit

Tableau 1. 3 : les avantage et les inconvénients Installation solaire a un seul circuit.

10.2. Installation solaire à double circuit (avec échangeur)

Il en existe trois différents types.

10.2.1. Installation solaire avec échangeur dans le circuit primaire.

Le fluide circulant dans le circuit primaire (capteur – échangeur - capteur) est en général différent de l'eau stockée dans la cuve. Le fluide caloporteur va circuler dans le circuit primaire, en absorbant de l'énergie du capteur pour aller ensuite la céder à travers l'échangeur à l'eau stockée dans la cuve, représenté en figure.

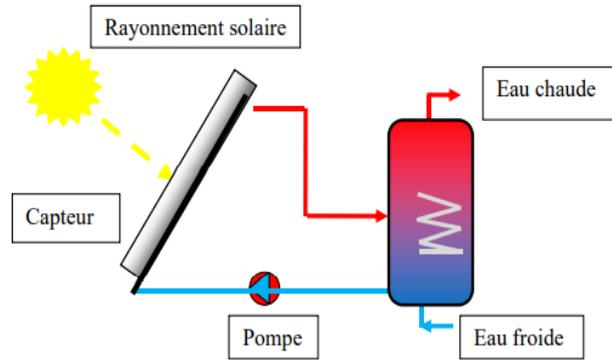


Figure 1. 39 : Chauffe-eau solaire avec échangeur placé sur le circuit primaire.

Ce système présente :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Le capteur n'est pas soumis à la pression du réseau. • Une bonne stratification à l'intérieur de la cuve. • Une quantité relativement réduite d'antigel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Moins d'énergie calorifique transmise à l'eau dans la cuve. • Coût élevé à cause de l'échangeur et de l'antigel.

Tableau 1. 4 : les avantage et les inconvénients d'une installation solaire avec échangeur dans le circuit primaire.

10.2.2. Installation solaire avec échangeur dans le circuit secondaire

Deux fluides différents Circulent l'un en générale additionné d'une portion d'antigel dans le circuit primaire et le second fluide est généralement l'eau de réseau dans le circuit secondaire (réseau échangeur utilisation), comme le représente la figure. L'énergie calorifique est transmise à travers l'échangeur qui se trouve à l'intérieur de la cuve.

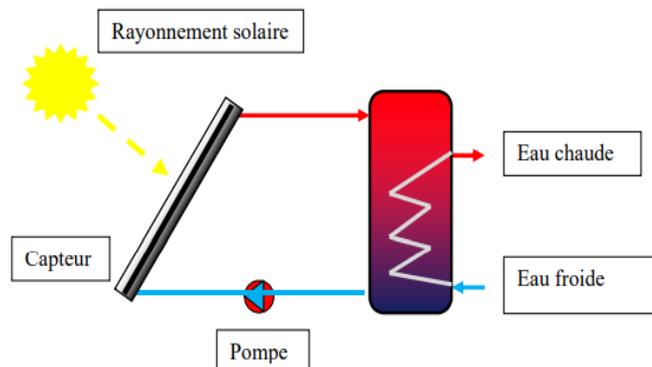


Figure 1. 40 : Chauffe-eau solaire avec échangeur dans le circuit secondaire.

Ce système présente des :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • La cuve et le capteur ne sont pas soumis à la pression du réseau. • Utilisation d'un fluide thermo porteur avec des additifs antigél. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé (échangeur - antigél). • Moins d'énergie calorifique transmise à l'eau. • Une mauvaise stratification à l'intérieur de la cuve.

Tableau 1. 5 : les avantages et les inconvénients d'une installation solaire avec échangeur dans circuit secondaire.

10.2.3. Installation solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve

Dans ce genre de système, le capteur et le réservoir de stockage forment un seul circuit.

L'échangeur est placé à l'extérieure de la cuve de stockage ; voir figure

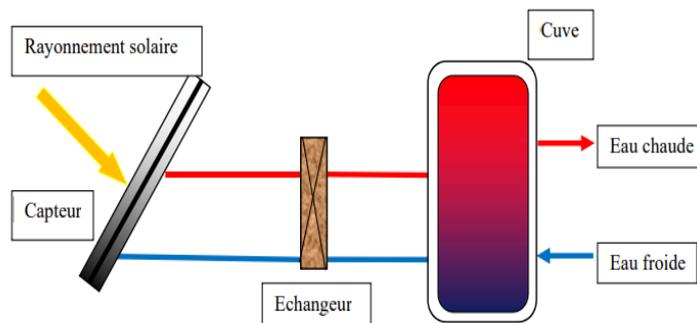


Figure 1. 41 : Chauffe-eau solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve.

Ce système présente des :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation du capteur à basse pression. • Un bon échange thermique entre l'eau sanitaire et le fluide caloporteur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un coût de l'additif antigél important dans le circuit primaire. • Une installation plus coûteuse et plus complexe.

Tableau 1. 6 : les avantages et les inconvénients d'une installation solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve.

11.L'usage d'un chauffe-eau solaire. [31]

Qu'on parle du chauffe-eau solaire on trouve qu'il a beaucoup d'utilisations comme :

Chauffage des flux de fluides, Chauffage des bains/récipients, Séchage, lavage et nettoyage.

Chacun a son champ thermique ou d'une autre manière : Champ de température dans lequel il fonctionné.

Secteur	Traiter	Température (°C)
Plusieurs secteurs	Eau d'appoint	[20-115]
	Préchauffage	[20-100]
	La lessive	[30-90]
Produits chimiques	Réaction biochimique.	[25-65]
	Distillation	[100-200]
	Compression	[110-170]
	Cuisine	[85-110]
	Épaississant	[130-140]
Aliments Et breuvages	Blanchiment	[60-95]
	Bouillant	[45-90]
	Évaporation	[40-130]
	Cuisine	[70-120]
	Pasteurisation	[60-145]
	Fumeur	[20-85]
	Nettoyage	[60-90]
	Stérilisation	[100-140]
	Trempe	[40-80]
	Séchage	[40-200]
	La lessive	[35-80]
Papier	Blanchiment	[40-150]
	Désencrage	[45-70]
	Cuisine	[110-180]
	Séchage	[95-200]
Fabriqué	Décapage	[20-100]
	Chromatisation	[20-75]
	Dégraissage	[20-100]
	Galvanoplastie	[30-95]

Métal	Phosphatation	[35-95]
	Purge	[40-70]
	Séchage	[60-200]
Caoutchouc Et Plastique	Séchage	[50-150]
	Préchauffage	[50-70]
Machinerie Et équipement	Traitement de surface	[20-120]
	Nettoyage	[40-90]
Textiles	Blanchiment	[40-100]
	Coloration	[40-130]
	Séchage	[60-105]
	La lessive	[50-100]
Bois	Fumant	[95-125]
	Décapage	[40-90]
	Compression	[120-170]
	Cuisine	[100-110]
	Séchage	[40-170]

Tableau 1. 7 : Plages de température des procédés appropriés

12. Conclusion

Dans un CES, le capteur est un l'élément principal de l'installation, et elle les en contact direct avec les rayonnements solaires. De nos jours, il existe des capteurs plans de très bonne qualité et de longue durée de vie. Les installations collectives qui sont toujours à circulation forcée nécessitent un dispositif de régulation. Leur développement prend de plus en plus, et cela est évident dans le système solaire et les diverses applications contemporaines comme application industriel.

Chapitre 2 : Revue Bibliographique

1. Etude bibliographies

1.1. Bibliographie concernant les performances du chauffe-eau solaire.

- F. Bouhired est intéressé à la réalisation d'un régulateur de température destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe-eau solaire, il présente un dispositif électrique de régulation de température destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe-eau solaire. Quand la température de l'eau de la cuve de stockage du chauffe-eau descend en dessous d'une température minimale admise, le régulateur intervient pour enclencher l'appoint électrique. [32]
- M. Merzouk et N. Kasbadji Merzouk se sont intéressés sur le chauffe-eau solaire à usage domestique avec une analyse des limites technico - économiques. Ils ont travaillé sur les performances du CES développé par la SEES dans les années 80, ont été estimés pour différents sites du pays. [33]
- Hamid, S et al ont considéré à l'étude et réalisation d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collectif Cet article comporte deux parties, la première consiste à dimensionner, réaliser et expérimenter une installation de chauffage d'eau collectif d'une capacité de 400 litres. et La deuxième partie est consacrée à l'étude du système d'appoint et l'influence du coût de cette énergie sur l'optimisation et le dimensionnement de l'installation. [34]
- C. Buscarlet et al fait une étude portant sur la fixation d'exigence minimum en matière de performance thermique des capteurs solaires et des chauffe-eau solaires. Cette étude a pour objectif de contribuer à la fixation de seuils minimaux de performance thermique pour les capteurs solaires et les chauffe-eaux solaires. [35]
- Y. Bai, et al se sont intéressé à l'optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles. Ce travail porte sur l'expérimentation, la simulation et l'optimisation du comportement d'une installation de chauffe-eau solaire individuel (CESI) en fonction des différents modes de gestion. [36]

- Diop SY S'est intéressé à la Conception et réalisation d'un chauffe- eau solaire. Dans un contexte de hausse de coût et d'insuffisance de l'énergie. Il s'est proposé de répondre aux besoins en eau chaude sanitaire d'une famille de 15 personnes à un coût abordable. [37]
- Messaouda et Kerkeni se sont penché sur la Contribution à l'étude d'optimisation d'un chauffe-eau solaire type cylindroparabolique. Une étude des performances thermiques, a été menée sur un capteur stockeur cylindroparabolique fabriqué au CRTEN, dans le cadre d'un projet, ayant comme objectif principal, la réalisation et l'optimisation des chauffe eau solaires peu encombrants, d'utilisation simple et à faible coût, pouvant être introduit sur le marché Tunisien. [38]
- Hakem, S. et al ont étudié le dimensionnement de chauffe-eau solaire individuel par un programme informatique en se basant sur une base de données de capteurs et une modélisation de l'éclairement solaire en Algérie, le résultat a été comparés aux données de deux sites en Algérie. [39]
- Burch, J. et al ont fait le diagnostic du gain énergétique du ballon et ont déduit la dérivée temporelle de la température moyenne, les analyses sont intégrées dans un outil et validés par des mesures expérimentales. [40]
- Mohammed, M. et al ont fait la 25 personne en utilisant une boucle solaire à circulation forcée d'un panneau de 10 m² et un ballon de stockage de 600 litres, les performances de cet équipement ont été testés avec TRNSYS, l'analyse du système montre un besoin en énergie auxiliaire maximale aux mois de janvier et février de l'ordre de 1000 MJ/mois. [41]
- Sahnoune, F et al ont fait une étude comparative des performances thermiques des chauffe-eaux solaires entre deux sites algériens, à savoir Alger et Adrar, des résultats ont été présentés sous forme de tableaux et graphes. [42]
- R. Yumrutas et al, ont réalisé une modélisation pour prédire les performances à long terme d'un système de chauffage solaire maison assistée avec une pompe à chaleur et un réservoir de stockage de l'énergie thermique souterrain sphérique. [43]
- C. Lauterbach et al, décrit l'intégration d'un STS dans l'alimentation en eau chaude d'une brasserie. Il a été démontré qu'un effort important peut être nécessaire pour intégrer la chaleur solaire dans un processus industriel. L'analyse du STS et de ses

composants a montré que les défauts de certains composants peuvent avoir un impact considérable sur les performances globales. [44]

- M. Picón-Núñez et al, ont réalisé une étude sur la conception des configurations la plus approprié de capteurs solaires pour les applications industrielles. [45]
- Yue Chao Deng et al ont fait une expérience sur un nouveau chauffe-eau solaire plat en utilisant le réseau de micro caloducs (micro heat pipe array) pulvérisé revêtement solaire sélectif et disposé étroitement comme l'absorbeur du collecteur. Le collecteur a l'avantage de la résistance au gel, la capacité de transfert de chaleur élevée, la perte de chaleur relativement faible, l'élimination de la soudure, et la prévention de la fuite. [46]
- Weishi Deng a étudié un système de chauffe-eau à pompe à chaleur à double source combinée solaire/air pour une application de chauffage de l'eau domestique. Dans le système à double source, un évaporateur supplémentaire de source d'air est introduit de manière parallèle sur la base d'un système conventionnel de chauffe-eau à pompe à chaleur solaire à expansion directe, ce qui peut améliorer les performances du système à un faible rayonnement solaire. [47]
- V. Y. Chaudhary et al. Ils ont fait une recherche qui démontre l'utilisation de l'énergie solaire avec l'aide de l'analyse CFD contenant un tube de chaleur évacué qui transforme l'énergie de rayonnement en chaleur utile. L'utilisation actuelle des nano fluides dans la technologie solaire thermique pour améliorer le transfert de chaleur est préoccupante. [48]
- C. Wannagosit et al étudient expérimentalement et théoriquement un système de chauffe-eau solaire à tubes sous vide utilisant l'échange de chaleur par thermosiphon ils utilisent une méthode de différence finie explicite (EFDM) comme système de modélisation le résultat montre que EFDM a fourni une meilleure précision que la méthode de résistance thermique. [49]
- Mohamed Lazreg et al Étude de l'effet des paramètres sur la stratification d'un chauffe-eau solaire. [50]
- Soumya Mandal et al ont étudié les performances d'un chauffe-eau solaire à double passage avec réflecteur. Elle aussi analysée L'influence du débit massique sur la température de sortie, la performance thermique et la performance globale. [51]
- Bijan Darbari et al fait une simulation numérique est une réalisation pour étudier l'efficacité thermique du chauffe-eau solaire à thermosiphon à plaque plate avec

différents nano fluides. Les nano fluides eau-oxyde d'aluminium, eau-oxyde de cuivre, eau-cuivre et eau-oxyde de titane sont utilisés. [52]

1.2. Bibliographie concernant les applications industrielles d'un chauffe-eau solaire

L'analyse des processus industriels ne peut pas être généralisée ou catégorisée car elle est trop variée, par exemple dans l'industrie alimentaire il y a beaucoup de processus comme la purification ou le nettoyage, ci-dessous nous en mentionnons quelques-uns :

1.2.1. Processus de séchage

Dans les processus de séchage, l'humidité peut être éliminée d'un matériau comme condition primaire. Fuller décrit les bases théoriques et techniques des systèmes de séchage solaire, évalue les performances et discute des développements futurs [53]. Il existe de nombreux types de processus de séchage qui dépendent de leur utilisation, comme le séchage des aliments, des plantes, des fruits, des textiles et des matières minérales, le lavage et le vernissage. Les industries potentielles qui peuvent bénéficier de tels systèmes d'énergie solaire thermique comme Mustayen et al. ont étudié et examiné les études de performance sur différents séchoirs solaires [54]. Contrairement à Mehrdadi et al, il a spécialisé son étude sur 1 type des sécheurs qui est le sécheur utilisé dans les industries pharmaceutiques [55].

1.2.2. Procédés de préchauffage

L'énergie solaire thermique est idéale pour les processus de préchauffage avec des applications à basse température. Comme les compresseurs d'air comprimé, les équipements de refroidissement. Kabeel et al. ont utilisé un chauffe-air solaire dont il a passé en revue les conceptions et d'autres méthodes d'amélioration pour réduire la consommation de carburant [56]. D'autre part Celuppi et al. ont utilisé pour le chauffage solaire de l'eau 4 capteurs solaires sous vide dont il a étudié et analysé les performances pour le préchauffage de l'eau de la chaudière [57].

1.2.3. Processus de chauffage à la vapeur

Le chauffage à la vapeur solaire se fait avec des sources d'énergie conventionnelles fonctionnant avec des équipements plus petits comme des échangeurs de chaleur. Haagen et al. ont enquêté sur des systèmes de vapeur à procédé solaire installés dans l'industrie pharmaceutique, RAM Pharmaceuticals en Jordanie [58]. Valenzuela et al. ont d'autre part analysé des résultats numériques obtenus à partir du comportement thermohydraulique de champs solaires produisant de la vapeur à l'aide de collecteurs paraboliques dans différentes conditions de conception [59]

1.2.4. Processus de pasteurisation et de stérilisation

Les industries laitières peuvent utiliser l'énergie solaire pour les opérations de traitement car elles fonctionnent sans jour de congé. Parmi les processus alimentaires solaires, la pasteurisation et la stérilisation sont celles qui consomment beaucoup d'énergie où la principale différence est la phase du milieu Paull a soumis un rapport sur la pasteurisation solaire de l'eau utilisée pour laver les fruits et légumes [60], également Pasteurisation des bouteilles issues du processus alimentaire nécessite un fluide caloporteur car il est impossible d'appliquer un échange thermique direct. Le fluide caloporteur peut être connecté à une centrale solaire thermique pour la pasteurisation et la stérilisation Rabab et al. ont fabriqué et testé les performances d'un pasteurisateur de lait solaire à basse température [61]. L'autre type est la stérilisation qui est influencée par le facteur de surface, c'est pourquoi [Osama et al.] ont fait une simulation TRNSYS pour trouver un capteur solaire potentiel pour les applications de stérilisation en fonction de la zone industrielle [62].

**Chapitre 3 : Etude Technique d'une installation de
chauffe-eau solaire à l'aide de TSOL**

1. Prédimensionnement du champ de captage et de cuve de stockage

On va traiter dans cette simulation un cas de process industriel dans le secteur alimentaire. Ce processus est ouvert avec stockage nous avons choisi 2 installations la 1^{ère} installation contient un échangeur a plaque ayant un coefficient de transfert de chaleur spécifique de $Ka=10000$ W/K et la 2-ème une installation contient un échangeur à serpentant intégrer dans le ballon de stockage avec coefficient $Ka = 9000$ W/K. La température d'entrée (T_{in}) est indépendante de la température du processus. L'eau-glycol ($C_p = 3385$ kJ/kgK) est utilisée dans la boucle primaire qui fonctionne avec un débit massique spécifique de $m_p=25$ l/hm²colh (lié à la surface d'ouverture du collecteur) avec un réservoir de 10 m^3 de volume, qui représentent les besoins journaliers, ces données sont obtenues à partir de SO-PRO (Solar process heat generation : guide to solar thermal système design for selected industrial process [63]).

2. Les expressions

2.1. Les expressions du Tsol

- Variation de température

$$\text{Variation de température} = \frac{\text{somme de toutes les énergies fournies et délivrées}}{\text{somme de toutes les capacités thermique}}$$

- Calcul du rendement et du taux de couverture solaire

Le rendement du circuit du capteur et du système se définit comme suit :

- Rendement de circuit du capteur

$$= \frac{\text{Energie délivrée par le circuit du capteur en direction de l'échangeur de chaleur}}{\text{Energie irradiée sur la surface du capteur (surface de référence)}}$$

- Rendement du système

$$= \frac{\text{Energie délivrée par le système solaire}}{\text{Energie irradiée sur la surface du capteur (surface de référence)}}$$

- Taux de couverture solaire

= +

2.2. Les expressions du SO-PRO

$$Q_{\text{jour ouvrable}} = m_{\text{jour ouvrable}} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

A.N : $Q_{\text{jour ouvrable}} = ((10000 \times 4,18 \times (60-15)) / 3600 = 522,5 \text{ kWh}$

$Q_{\text{jour ouvrable}}$ = l'énergie thermique par jour ouvrable (kWh)

$m_{\text{jour ouvrable}}$ = masse d'eau froide chauffée par jour de travail (kg)

C_p = capacité calorifique spécifique moyenne de l'eau ($\frac{kJ}{kg.K}$)

ΔT = différence de température entre l'eau chaude et l'eau froide (K)

$$A_{AP} = (Q_{\text{ans}} \cdot C) / G_{\text{éa}} \quad (3.2)$$

A.N: $A_{AP} = (122,8 \times 0,4) / 500 = 100 m_{AP}^2$

Q_{ans} : l'énergie thermique par année MWh

C : Charge thermique annuelle (40%)

A_{AP} : Surface d'ouverture estimée du capteur solaire m_{AP}^2

$G_{\text{éa}}$: Gain énergétique annuel estimé ($\frac{kwh}{m_{AP}^2}$)

$$V_{ST} = A_{AP} \times P_c \quad (3.3)$$

A.N : $V_{ST} = 100 \times 100 = 10m^3$

V_{ST} : volume de stockage m^3

P_c : Profile de charge par $1m^2$ de chauffe-eau solaire $\frac{l}{m^2}$

3. Installation du ballon pour process industriel

3.1. Description du fonctionnement

Au point de vue de fonctionnement, de l'eau entre dans les chauffe-eaux solaires avec une basse température et sorte avec une température plus élevée, ensuite il passe à l'échangeur qui chauffe l'eau de circuit secondaire du réservoir puis stockée au niveau de réservoir. de l'eau chaude de réservoir est utilisé pour des processus industriels, dans le cas où la température n'atteint pas la valeur souhaitée l'intervention de la chaudière est nécessaire

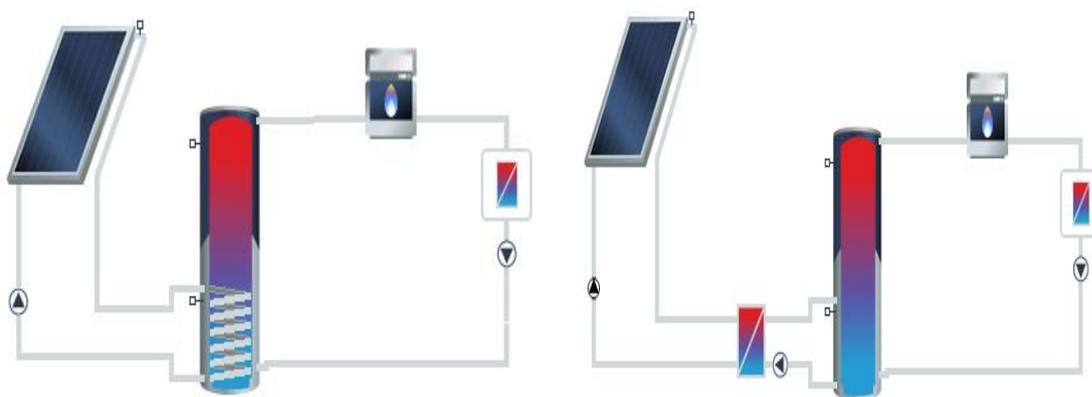


Figure 3. 1 : Installation du ballon pour le process industriel.

3.2. Les paramètre

Paramètre du capteur solaire : FPC	Value	Unit
Surface brut/référence	1	m^2
Capacite thermique spécifique	6000	J/m^2K
Facteur de conversion	84.8	%
Coefficient de transmission thermique : simple / carré	3.46 / 0.017	W/m^2K / J/m^2K^2
Nombre des capteur	100	-
Inclination	36	-

Ballon tampon	Value	Unit-
Volume	10	m^3
Hauteur	1.8	m
Epaisseur d'isolation	100	mm
Conduction thermique	0.065	W/mK

Chaleur industriel	Value	Unit
Consumation journalière moyenne {besoin}	522.5	kWh
Température départ nominale/minimale	60	[°C]
Température du retour	15	[°C]

Zone d'ouverture du collecteur	100	m^2
--------------------------------	-----	-------

Tableau 3. 1 : Les données et les paramètres de l'installation chauffe-eau solaire.

- Echangeur de chaleur { dans le ballon de stockage } :
 - 1^{ère} installation : valeur de $KA = 10000 \text{ W/K}$
 - 2^{ème} installation : valeur de $KA = 9000 \text{ W/K}$
- Chauffage d'appoint : Type Wolf GmbH NG-31 E70 à puissance nominale = 80 kW
- Débit volumique :
 - Circuite Solaire : 25 l/h m^2 avec glycolé :40% { $\rho=3385 \text{ KJ/Kg K}$ }
- Les données géométriques des sites :

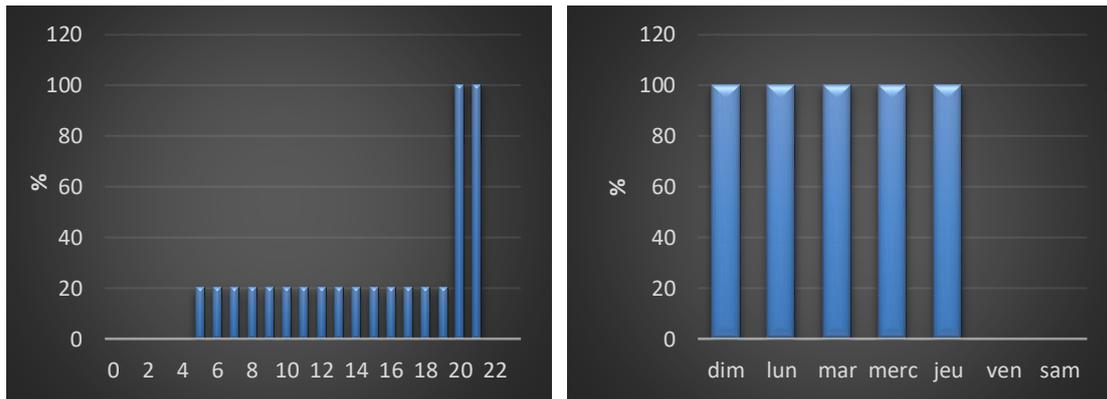
	Boumerdes	Sétif/Ain-Arnat	Hassi Messaoud	Unité
L'altitude	36.75	36.18	31.67	
Longitude	3.47	5.41	6.48	
Rayonnement annuel global	1769	1904	2138	$\text{KWh/m}^2\text{a}$
Température ambiante	17	14	23	[°C]

Tableau 3. 2 : les données géométriques de 3 sites étudiées.

3.3. Profil de consommation

La demande journalière en eau chaude a été mesurée sur plusieurs journées de travail typiques. Pendant la nuit, il n'y a pas de demande d'eau chaude, car l'entreprise ne fonctionne que de 5 h à 22 h. Il n'y a pas non plus de demande le week-end.

Pendant les heures de travail, il y a toujours une certaine demande d'eau de nettoyage, mais le profil est discontinu car il y a une très forte demande d'eau de nettoyage de 20h à 22h quand tout l'équipement de production est nettoyé avant l'heure de fermeture. Les 10 m^3 par journée de travail sont répartis comme suit : Dans les heures de travail de 5 h à 22 h = 17 heures, la charge maximale se produit aux deux dernières heures de la journée de travail. Les 15 autres heures, seuls 20 % de la charge maximale sont nécessaires.



Chaque jour

Chaque semaine

Figure 3. 2 : Profile de consommation pour les 2 installation.

3.4. Régulation de pompe

➤ Circuit solaire en marche

Si la Température de sortie capteur est Plus grande que la Température de référence du réservoir à 8 C $\{(T_{\text{sortie capteur}}) - (T_{\text{ref/réservoir}}) = 8\}$ donc La pompe commence à fonctionner

➤ Circuit solaire à l'arrêt

Si la Température de sortie capteur est Plus grande que la Température de référence du réservoir à 3 C $\{(T_{\text{sortie capteur}}) - (T_{\text{ref/réservoir}}) = 3\}$ donc la pompe cesse de fonctionner

4. Logiciel de simulation

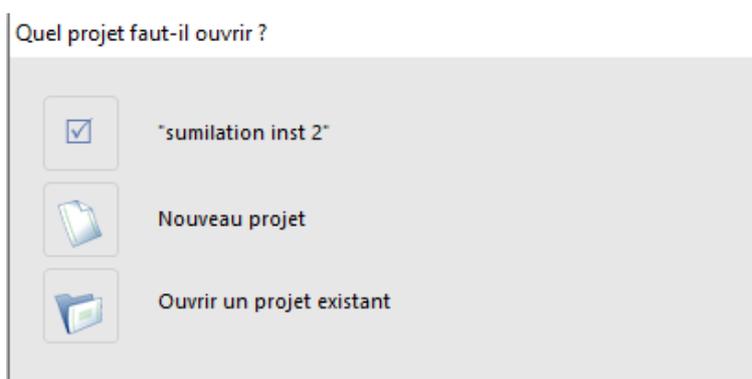
- ✓ T*SOL est le logiciel de simulation avec lequel vous pouvez calculer le rendement d'un système solaire thermique. Que ce soit pour le chauffage de l'eau domestique, le chauffage d'appoint, les piscines ou la chaleur industrielle, avec T*SOL, vous pouvez concevoir de manière optimale votre système solaire thermique prévu, dimensionner les réseaux de stockage et de capteurs (également les toits est/ouest) et déterminer l'efficacité économique.
- ✓ Au début du processus de conception, vous disposez d'un large choix de tous les systèmes pertinents pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire et l'appoint de chauffage, ainsi que pour les piscines et la chaleur industrielle. Lors de la conception, vous serez assisté par des suggestions de dimensionnement et pourrez utiliser une variation de paramètre pour trouver la combinaison optimale, par ex. de la taille de stockage et de la surface du collecteur.

- ✓ Après la simulation, vous recevrez un rapport de projet complet et attrayant avec toutes les données du système ainsi que les résultats détaillés de la simulation et de la rentabilité. Ce rapport contient également toutes les données nécessaires pour être reconnu comme preuve par le BAFA.

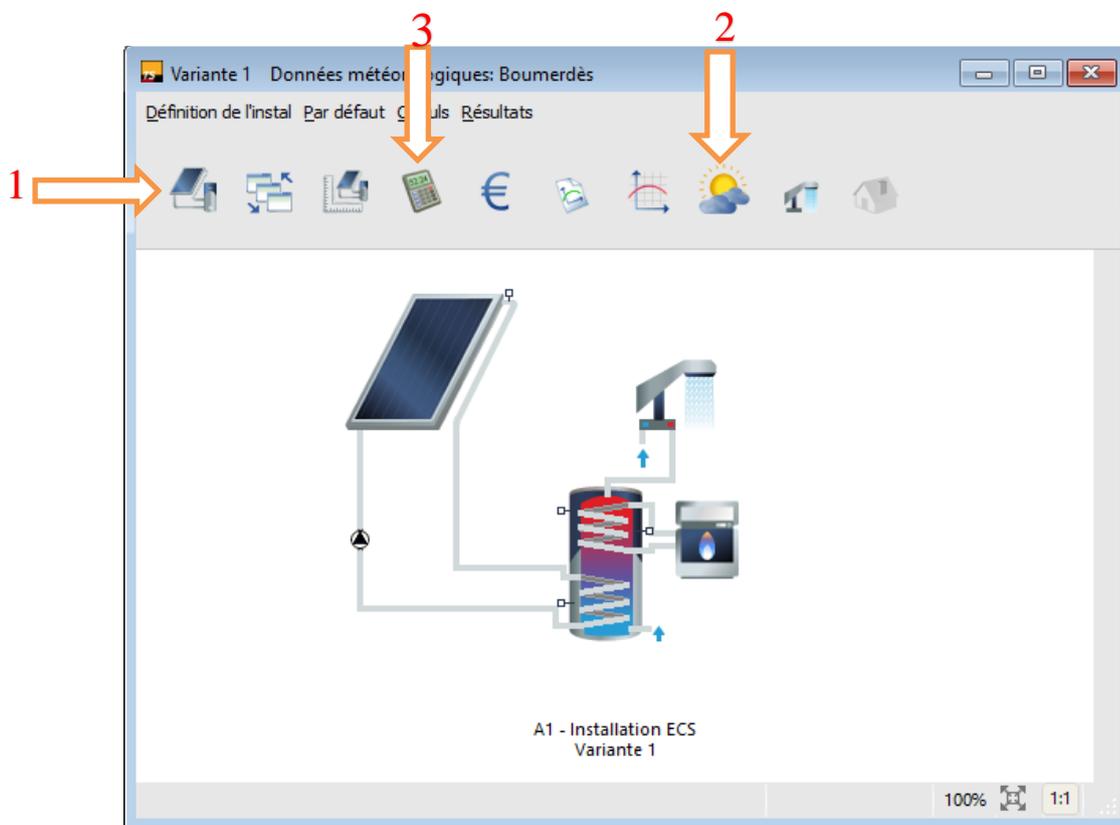
5. Guide de T*sol

- ✓ **Exécutez le programme**

Lorsque vous exécutez le programme, une fenêtre vous demande si vous voulez ouvrir un nouveau projet ou si vous en avez un.



Sélectionnez ensuite un nouveau



1 : sélection installation

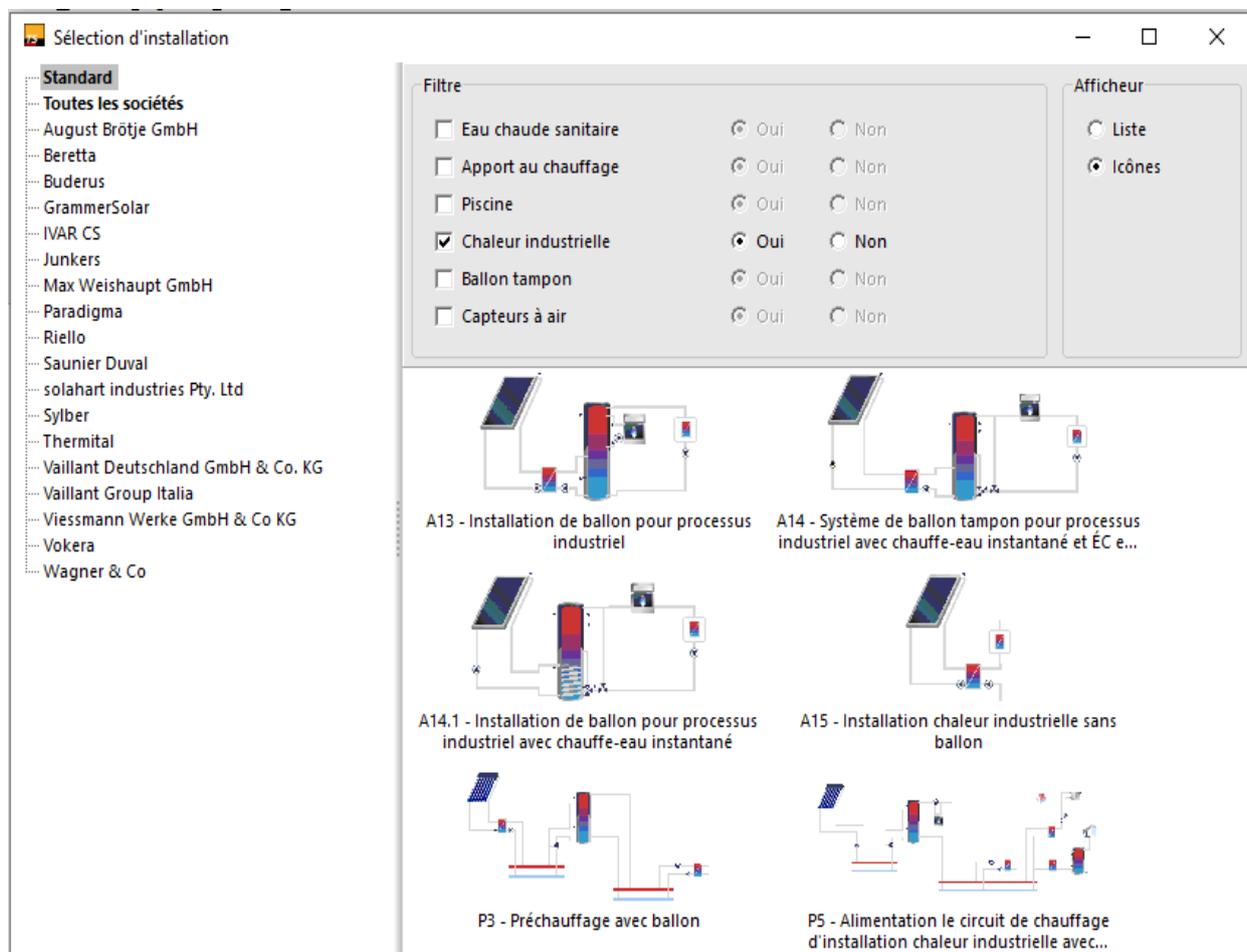
2 : insert climat data

3 : commencer la simulation

✓ Etape 1 : sélection de système

Dans le logiciel T-Sol, vous avez beaucoup de choix de système de chauffe-eau solaire, il existe plusieurs types de variantes. Vous pouvez même trouver des chauffe-eaux solaires de différentes entreprises qui le construisent.

Pour notre projet, nous avons choisi le système standard qui est un collecteur plat régulier avec un réservoir de stockage lié et utilisé uniquement pour le processus industriel.



✓ Etape 2 : Configuration des paramètres du système

Après sélection de la configuration il faut sélectionner le paramètre des différents composants de l'installation : {pour choisir le composant à modifier il suffit de double cliquer dessus}

- Le collecteur

Vous pouvez insérer votre paramètre comme le nombre d'inclinaison du collecteur et le type de collecteur

Champ capteur

Paramètres | Inclinaison | Photo Plan | Tuyauterie

Capteur

Fabricant: **Standard** Sélectionner
 Type: **Capteur plan standard**
 Désignation: **Capteur plan** Paramètres

Dimensionnement de la surface du capteurs n'est pas possible pour ce système

Objectif de couverture

bas
 moyen
 haut

Suggested number: Surface de capteur:

La proposition de conception prend en compte qu'un seul circuit de capteurs. Accepter

Nombre de capteurs: Surface de capteur
 Brut: 100 m²
 de référence: 100 m²

Ombrage

Ombrage Sélectionner
Paramètres

- Le Ballon de stockage

Vous pouvez modifier et insérer le paramètre du réservoir et du tube qui lui sont liés et les pertes de différents composants qui lui sont liés

Ballon tampon (T)

Paramètres | Pertes thermiques | Chargement du réservoir | Décharge ECS

Fabricant: Sélectionner...
 Type: Charger le standard

Volume: m³ Nombre de réservoirs:
 Rapport hauteur/diamètre: -

Dimensionner le volume du réservoir

Proposition: 5,2 m³ Accepter

- Chaudière

Vous pouvez insérer la puissance de votre Chaudière et son type

- Process industriel

Vous pouvez identifier ici la charge quotidienne et la température d'entrée et de sortie de votre processus, qui peuvent également insérer un profil de charge quotidien et hebdomadaire

✓ Données climatiques

Vous pouvez choisir le climat et l'endroit où vous souhaitez exécuter votre simulation, vous pouvez également insérer de nouvelles données climatiques si vous n'avez pas trouvé la zone que vous recherchez [ces données climatiques sont obtenues auprès de Météo Sys]

The screenshot shows the 'Météo' software interface. It has a 'Paramètres' tab. Under 'Données météorologiques', the location is set to 'Boumerdès'. A 'Sélection' button is next to it. The 'Site' field also contains 'Boumerdès'. The following data is displayed:

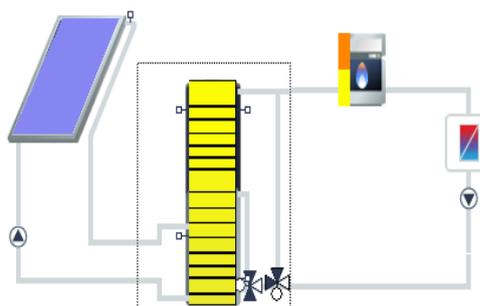
- Latitude: 36,8 °
- Longitude: -3,5 °
- Rayonnement annuel global: 1 773,7 kWh/m²
- Quote-part du rayonnement diffus: 42,5 %
- Température extérieure moyenne: 17,9 °C
- Température extérieure min: -0,1 °C

Below this, there is a section for 'Température externe standard' with two radio buttons: 'Déterminée à partir de données météo' (unselected) and 'Entrez une valeur' (selected). A text box next to the second option contains '-0,12 °C'.

✓ Simulation



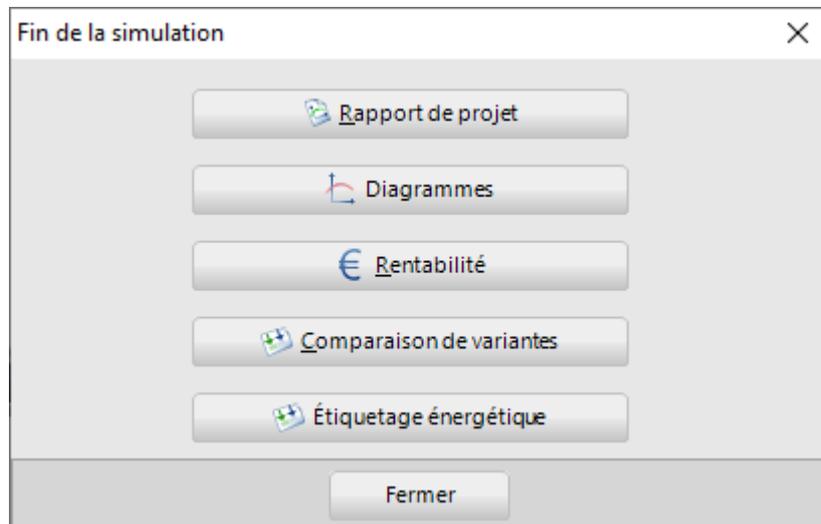
Click sur  pour commencer la simulation



A14.1 - Installation de ballon pour processus industriel avec chauffe-eau instantané
Variante 1

✓ Résultats

A la fin de la simulation une fenêtre apparaîtra vous pourrez y choisir les résultats que vous souhaitez : graphique ou rapport de projet vous pouvez aussi faire une comparaison entre les variants



6. Evaluation de la Température extérieur

La figure 3.3 représente la variation de température extérieur par mois pour 3 sites. Il apparait que la température extérieur (ambient) augmente progressivement au fur et à mesure que l'on se dirige vers le sud et a la forme de cloche, et on constate qu'il est plus faible au nord à Boumerdès et atteint une valeur maximale de 27°C, et est plus important au sud à Hassi Messaoud, atteignant une valeur maximale de 37°C.

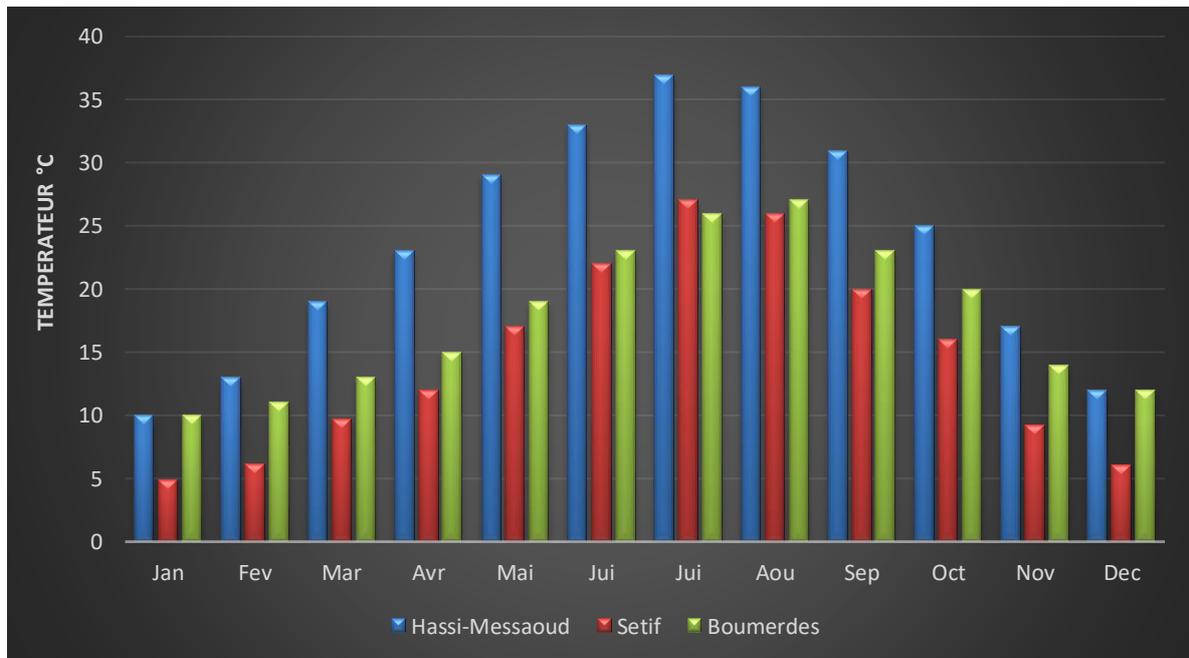


Figure 3. 3 : Variation de température extérieur (ambiante) par année pour 3 sites.

7. Evolution des irradiations solaires mensuelles pendant l'année

La figure 3.4 représente les Irradiations solaires mensuelles dans 3 régions {Boumerdes, Sétif/Ain-Arnat, Hassi-Massoud}, on remarque que cette courbe suit une forme d'une cloche.

- A Boumerdes : elle atteint son maximum au mois de juillet pour une valeur de 239 [kWh/m²] et un minimum en hiver au mois de décembre avec une valeur de [71 kWh].
- Sétif/Ain-arnat : elle atteint son maximum au mois de juillet pour une valeur de 246 [kWh/m²] et un minimum en hiver au mois de décembre avec une valeur de 76 [kWh/m²].
- Hassi-Massoud : elle atteint son maximum au mois de juillet pour une valeur de 237 [kWh/m²] et un minimum en hiver au mois de décembre avec une valeur de 110 [kWh/m²].

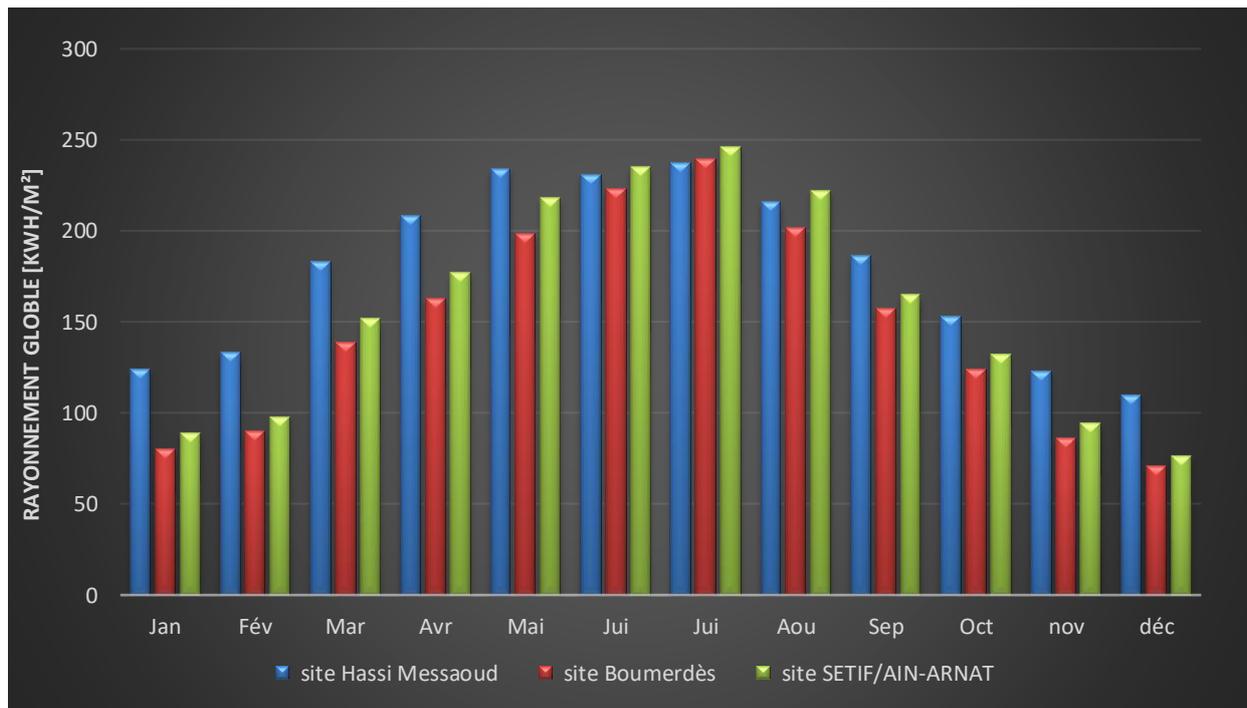


Figure 3.4 : Irradiations solaires mensuelles pour trois régions.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

1. Introduction

L'objectif essentiel de la simulation est d'évaluer le potentiel de production de l'énergie thermique et d'examiner l'évolution de la température des capteurs solaire. On opte également d'assurer une couverture maximale des besoins de la chaleur industrielle pour les différents sites. Pour notre travail nous avons pris deux installations différentes.

2. 1^{ère} installation de ballon tampon pour process industriel avec chauffe-eau instantané et Echangeur de chaleur externe.

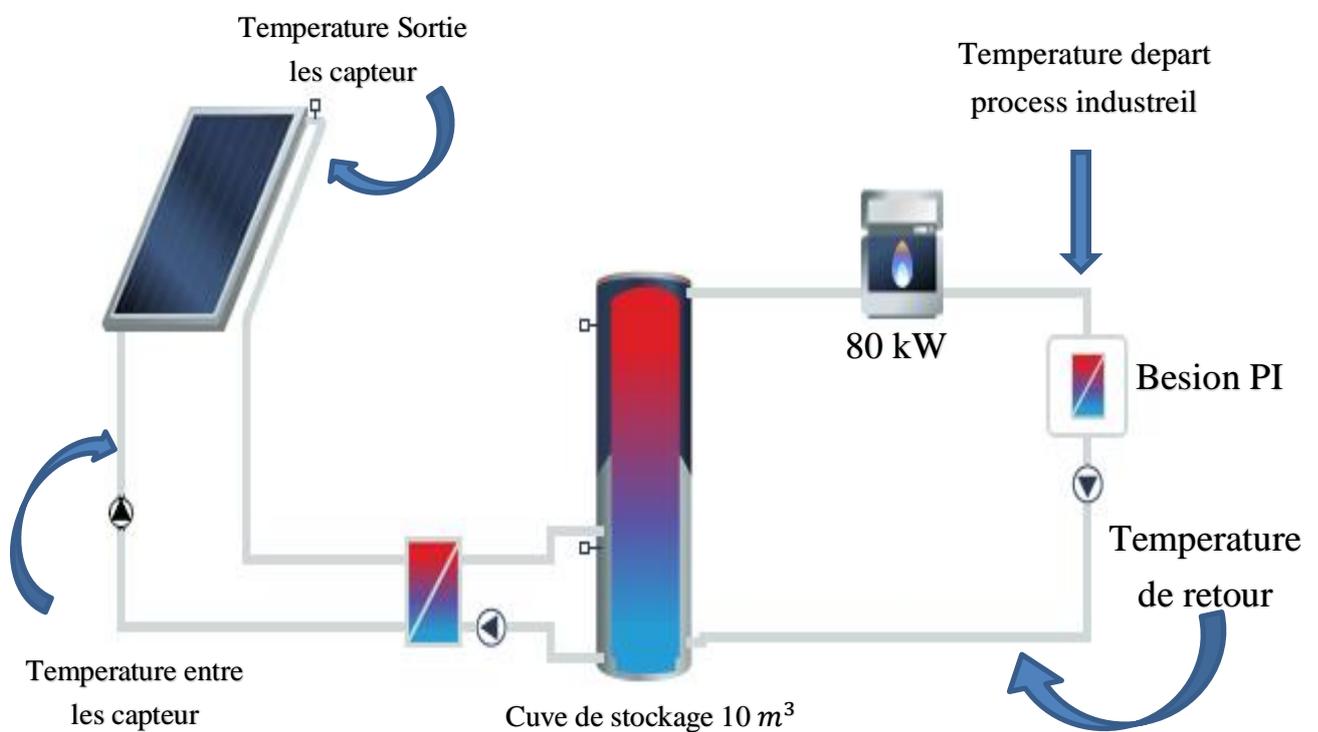


Figure 4. 1 : Installation de ballon tampon pour process industriel avec chauffe-eau instantané et Echangeur chaleur externe.

2.1. Evaluation de l'Energie produit par le système solaire pendant l'année

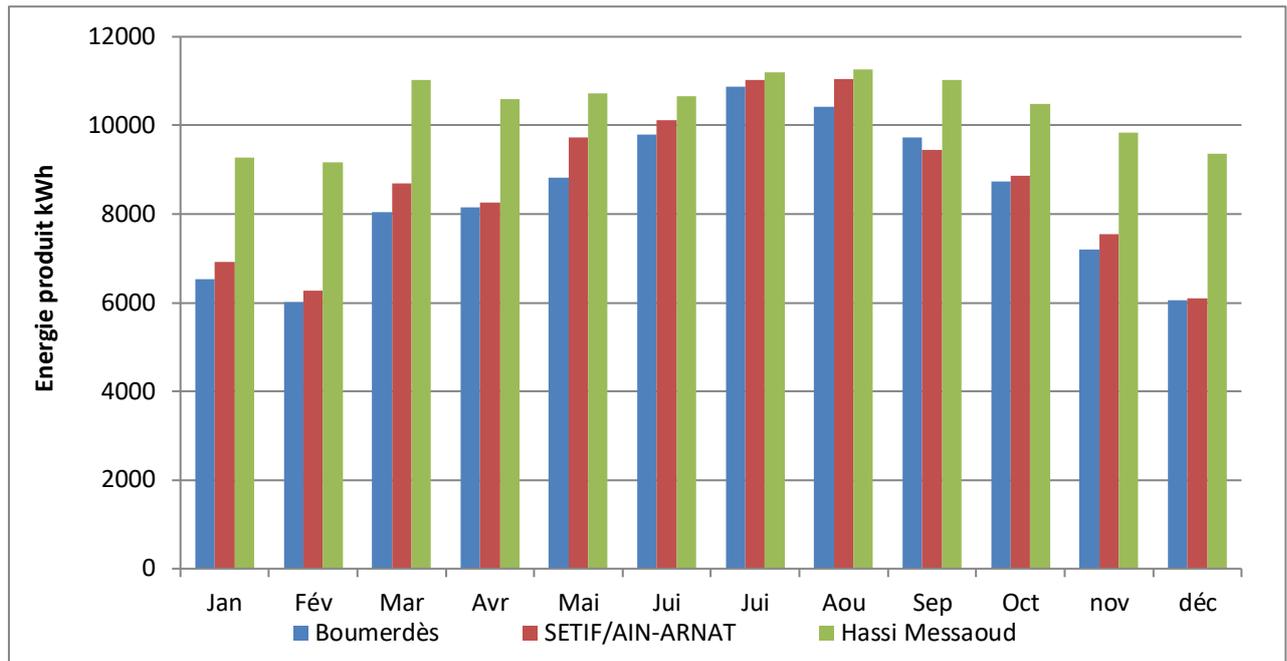


Figure 4. 2 : Evaluation de l'énergie produit par le système solaire par année pour les trios sites.

La figure 4.2 représente l'évaluation de l'énergie produite par le système solaire dans 3 sites de Hassi Messaoud, Boumerdes, Sétif. On observe :

- A Boumerdes : elle atteint un maximum au mois de juillet pour une valeur de $103.34[\text{kWh}/\text{m}^2]$ et un minimum en hiver au mois de décembre avec une valeur de $55.32 [\text{kWh}/\text{m}^2]$.
- A Sétif/Ain-Arnat : elle atteint un maximum au mois d'août pour une valeur de $106.33 [\text{kWh}/\text{m}^2]$ et un minimum en hiver au mois de décembre avec une valeur de $57.94 [\text{kWh}/\text{m}^2]$.
- A Hassi-Massoud : elle atteint un maximum au mois d'août pour une valeur de $109.64[\text{kWh}/\text{m}^2]$ et un minimum en hiver au mois de décembre avec une valeur de $88.89 [\text{kWh}/\text{m}^2]$.

2.2. Variation annuelle des différentes énergies et de température

2.2.1. Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement

- Site Boumerdès

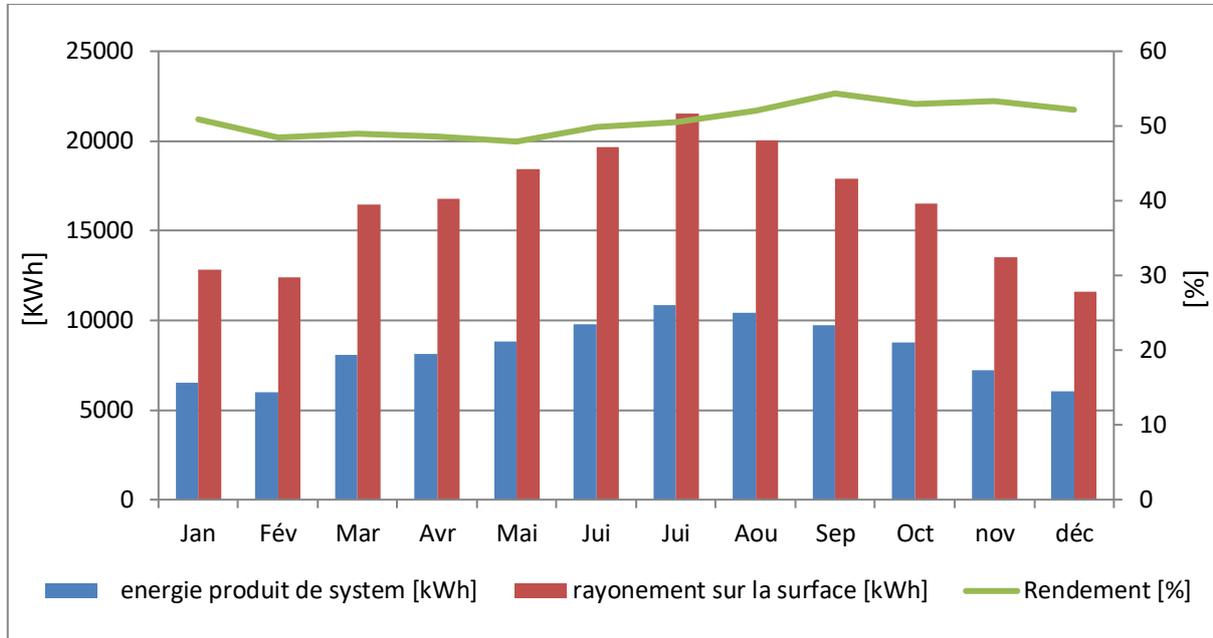


Figure 4. 3 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le site Boumerdes.

- Site setif/Ain-Arnat

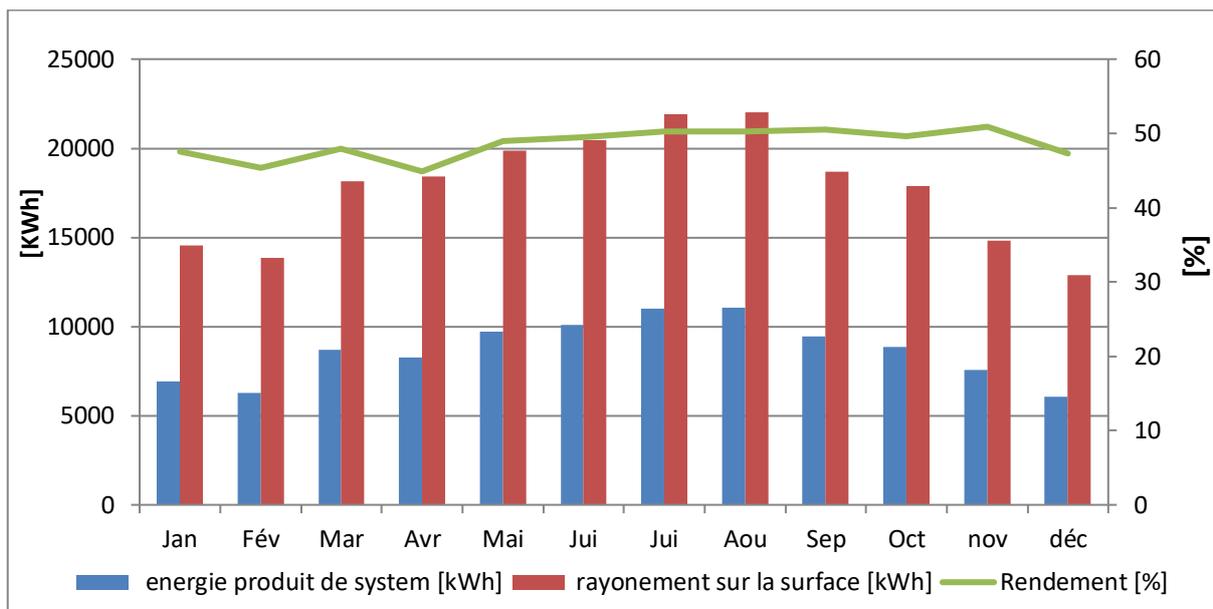


Figure 4. 4 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le site Sétif/Ain-Arnat.

• Site Hassi-Messaoud :

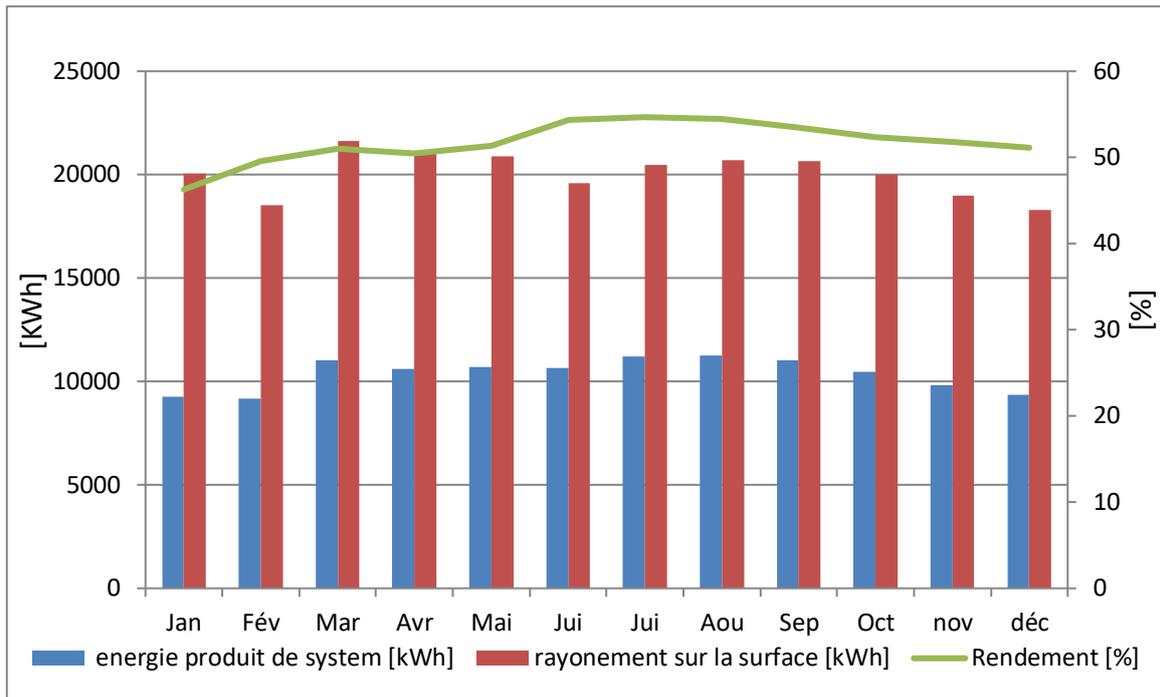


Figure 4. 5 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour site Hassi-Messaoud.

➤ Les figure 4.3 ,4.4 et 4.5 représentent la variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système dans les trois différents sites. On remarque que le rendement dans les trois sites varie avec le changement des rayonnements et de l'énergie produite par le système. Le rendement atteint une valeur maximale de 52.88% dans le site de Hassi-Messaoud en mois d'août, et une valeur minimale de 42.51% a été enregistrée dans le site de Sétif/Ain-arant en mois d'avril.

2.2.2. Variation de l'énergie produite par le système, chauffage d'appoint et le taux de couverture

- Site Boumerdès :

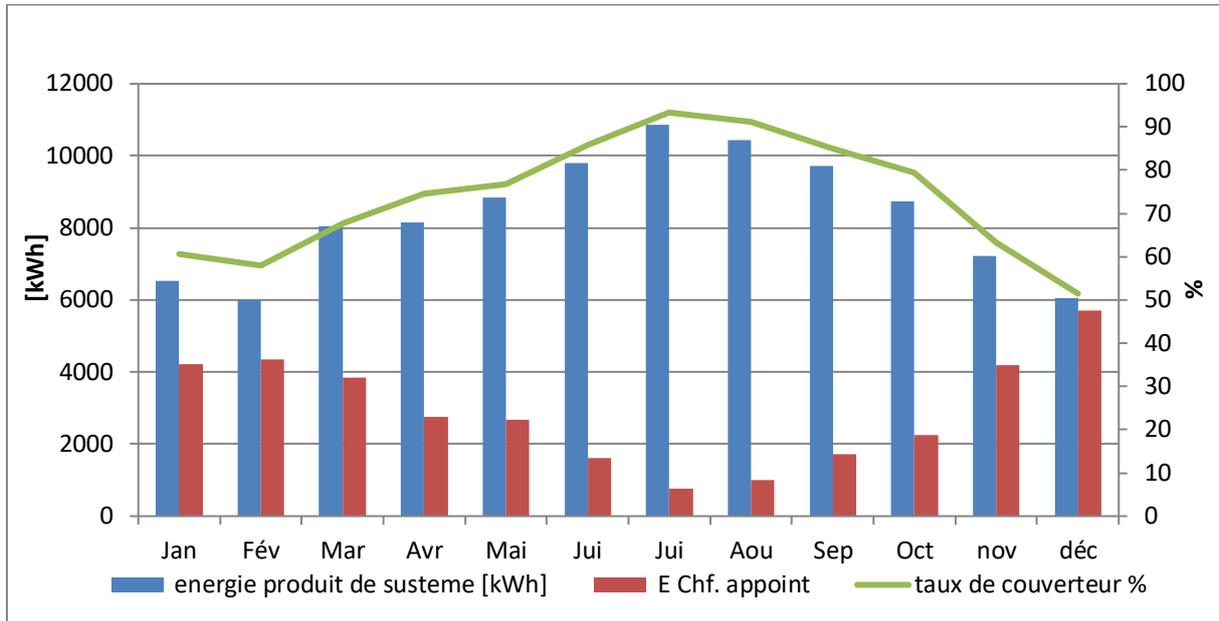


Figure 4.6 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Boumerdès.

- Site setif/Ain-Arnat :

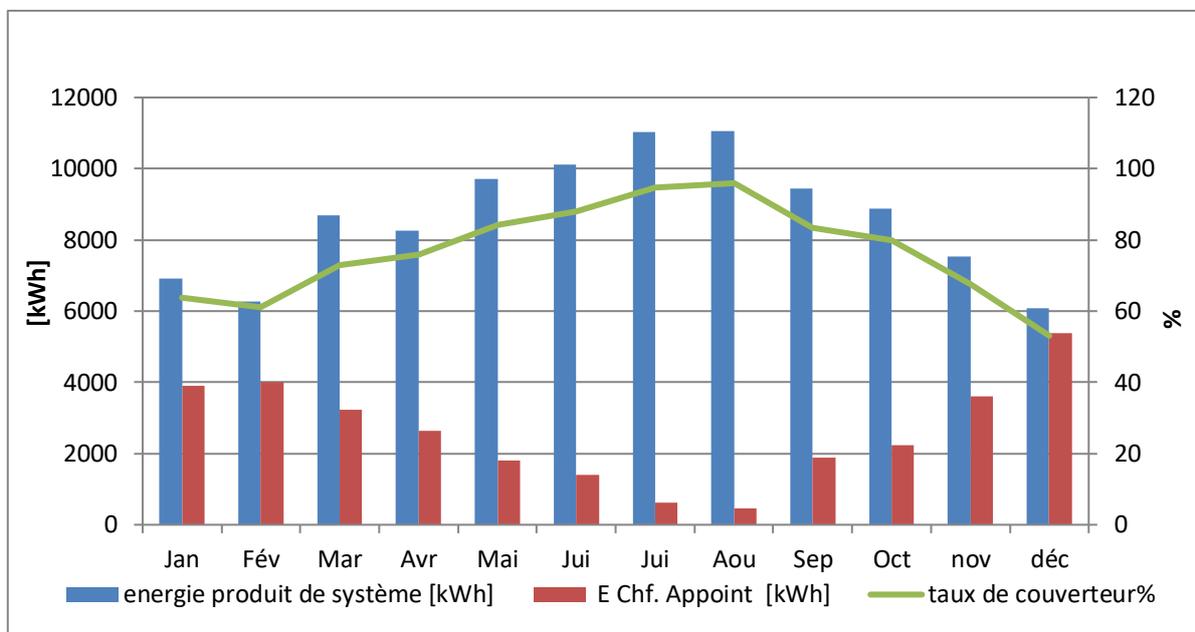


Figure 4.7 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Sétif/Ain-Arnat.

• Site Hassi-Messaoud :

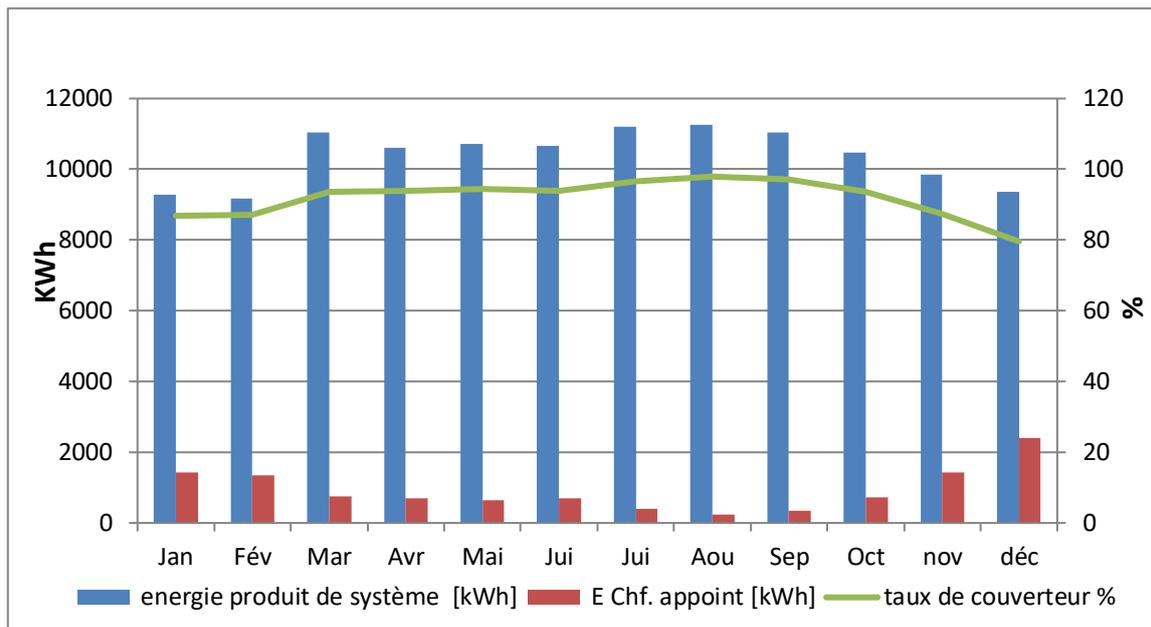


Figure 4.8 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Hassi-Messaoud.

➤ Les figures 4.6 ,4.7 et 4.8 représentent la variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture de système par an pour les trois différents sites étudiés. On observe la haute énergie produite par les capteurs solaire signifie une bonne couverture et une faible consommation d'énergie du chauffage d'appoint solaire, à l'autre la faible énergie produite par les capteurs solaire signifie une faible couverture et une forte consommation d'énergie du chauffage d'appoint solaire.

2.3. Evaluation journalière des différents Energie et Température capteur

En va choisir pour journée type 2 jour de l'année le plus défavorable et le plus favorable chaque site {Boumerdes-Sétif-HM} donc en obtient les résultats suivants :

2.3.1. Site Boumerdes

- Défavorable {6-01}

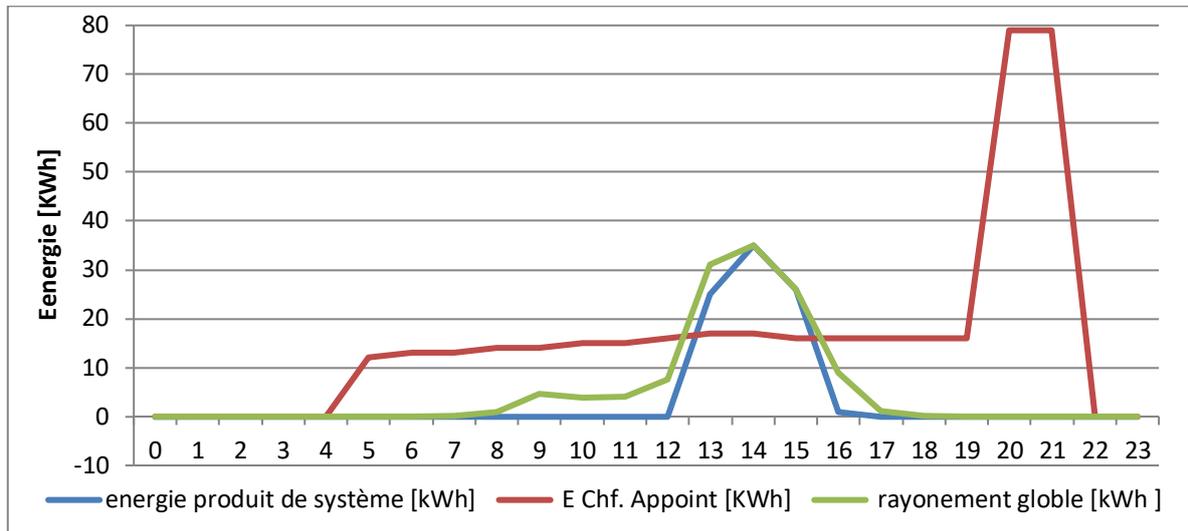


Figure 4. 9 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {6-janvier}.

- La figure 4.9 montre l'évaluation de l'énergie produit par le système solaire et l'énergie Chf-Appoint et Rayonnement Global dans le 1^{er} de juin, on observe que le rayonnement solaire est faible alors il influe sur la production de l'énergie solaire. Pour répondre à nos besoins en remarque que l'énergie du chauffage d'appoint couvre le besoin demandé à l'industrie celui qu'on ne peut pas le terminer par l'utilisation des captures solaire pour cela il prend la même forme de courbe de profile d'utilisation.

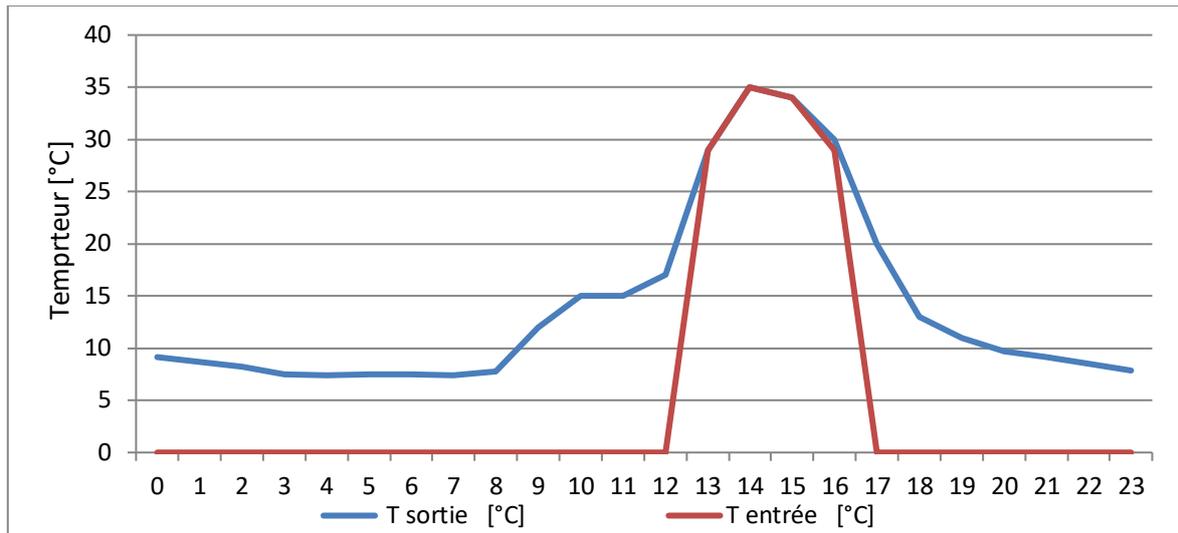


Figure 4. 10 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {6-janvier}.

- La figure 4.10 montre la variation de température d’entrée et de sortie des capteurs solaire au 6 janvier, Nous notons que la température d’entrée augmente progressivement avec le lever du soleil et l’augmentation du rayonnement solaire, commençant à l’heure (12:30 h) atteignant sa valeur maximale (35 °C) a (14 :00 h, en observe aussi que la variation de la température de sortie dans la nuit au moyenne de (10 °C) ce que augment progressivement lorsque le soleil se lève et le rayonnement solaire augmente.

- Favorable {08-06} :

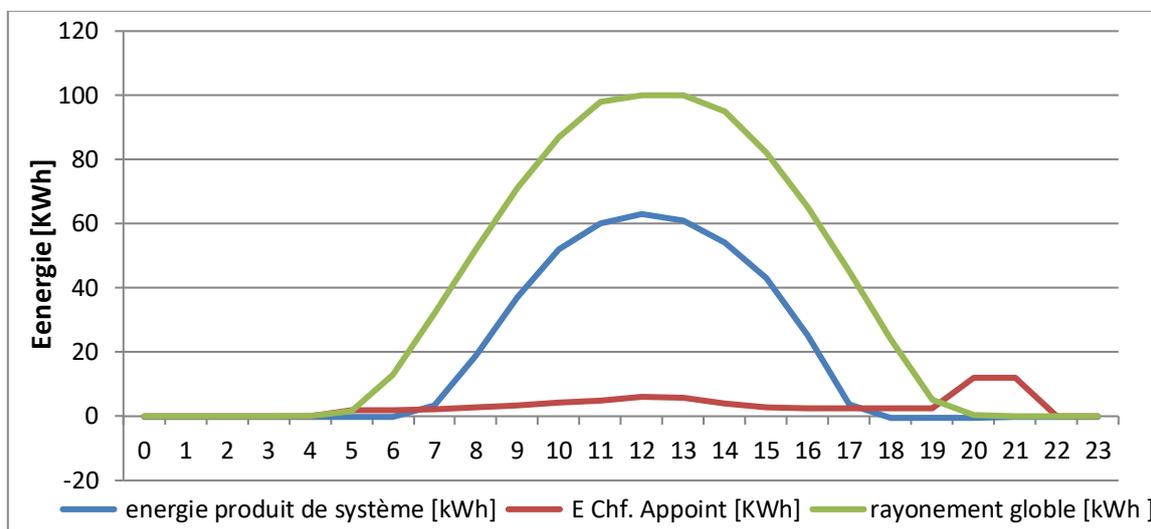


Figure 4. 11 : Evaluation de l’énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {8-juin}.

- La figure 4.11 montre l’évaluation de l’énergie produit par le système solaire et l’énergie Chf-Appoint et Rayonnement Global dans le 8 juin, on remarque que le rayonnement solaire et fort sa valeur maximale [100 kWh], est augmentée paraboliquement à la forme de cloche,

cette dernière influe dans la production de l'énergie solaire et de l'utilisation de l'énergie de chauffage d'appoint qu'il est faible.

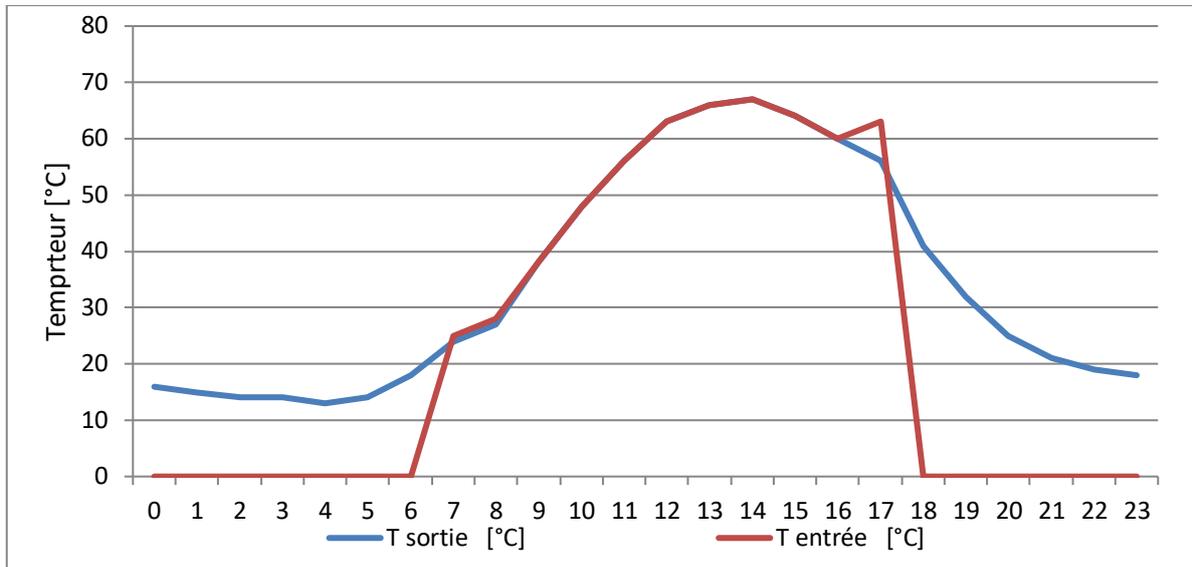


Figure 4.12 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {8-juin}.

- La figure 4.12 représente la variation de température d'entrée et de sortie des capteurs solaire au 8 juin, On note que la température d'entrée atteint une valeur maximale de [67°C] et la même valeur pour la température de sortie car le rayonnement solaire atteint sa valeur maximale a la même période (13 :00)h.

2.3.2. Site Sétif/Ain-Arnat

- Défavorable {09-02}

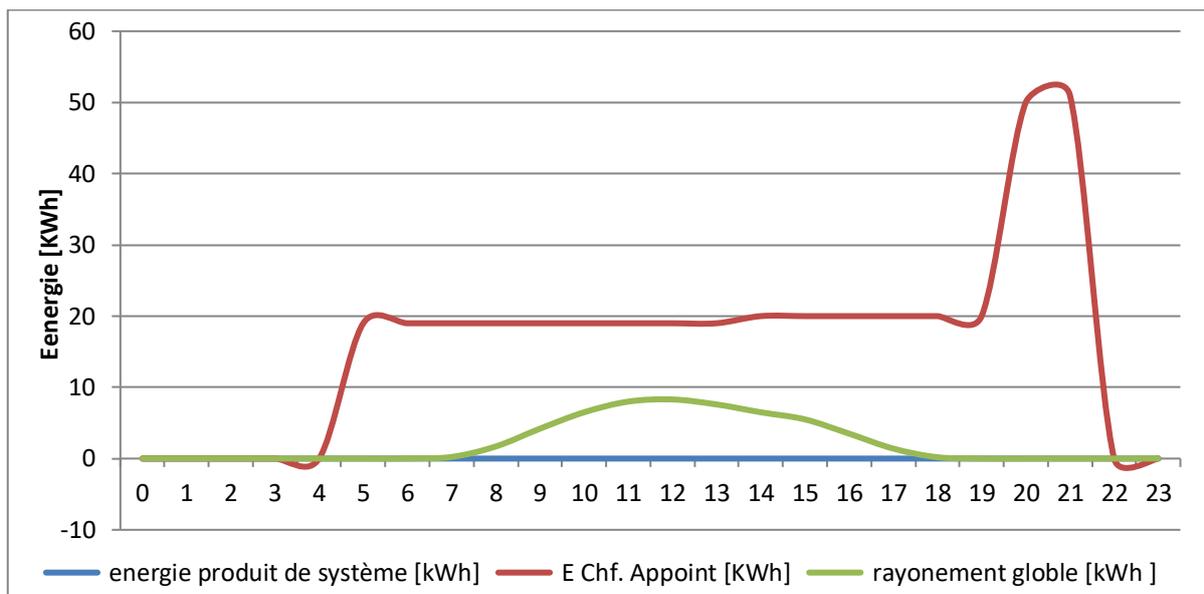


Figure 4.13 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {9-février}.

- La figure 4.13 représente l'évaluation de l'énergie produit par le système solaire et l'énergie Chf-Appoint et Rayonnement Global dans 9 février, dans ce jour on remarque que l'énergie produit de système solaire et rayonnement globale sont peu, parallèlement l'énergie de chauffage d'appoint atteint sa valeur maximale suivent la même courbe de profile de consommation.

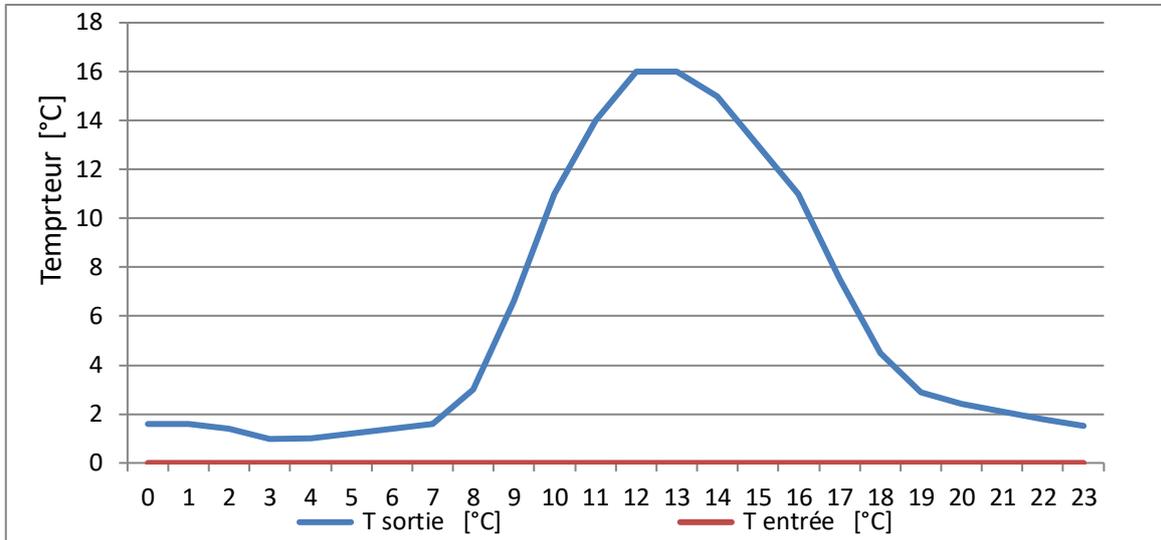


Figure 4.14 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {9-février}.

- La figure 4.14 représente la variation de température d'entrée et de sortie des capteurs solaire au 9 février, Nous notons que la température d'entrée est approximativement nulle à cause de l'énergie produit est nul toute la journée, on note aussi la variation de la température de la sortie dans la nuit (2 °C) Au fur et à mesure que le soleil se lève et que le rayonnement solaire augmente et atteint sa valeur maximale (16 °C) de midi a (13 :00 h).

- Favorable {10-06}

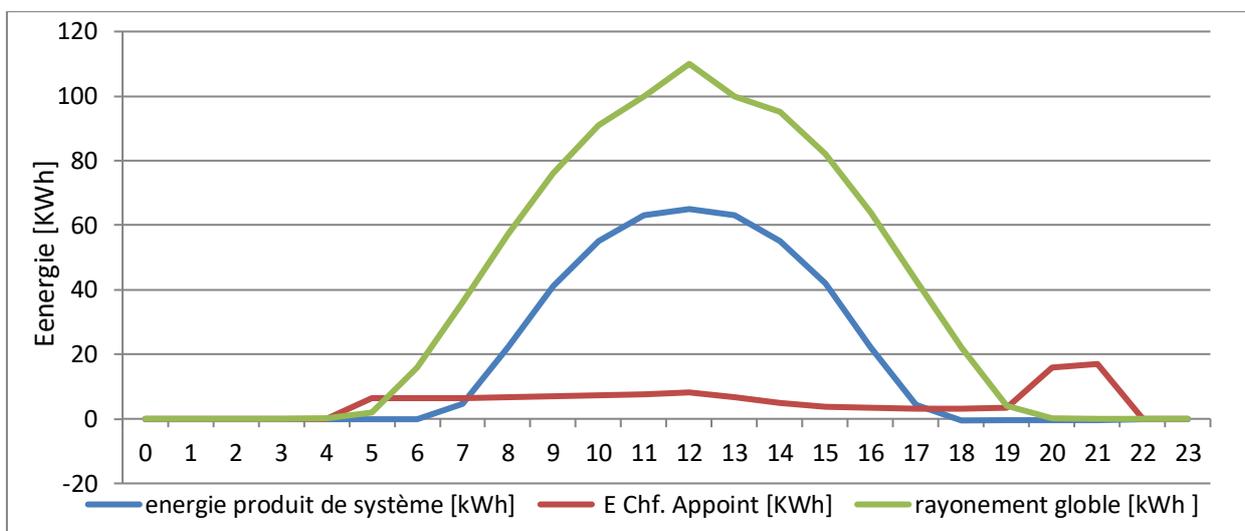


Figure 4.15 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {10-juin}.

- La figure 4.15 montre l'évaluation de l'énergie produite par le système solaire et l'énergie Chf-Appoint et rayonnement global dans le 10 juin, on observe que le rayonnement solaire est fort et sa valeur maximale [115 kWh], et augmente paraboliquement à la forme de la cloche. Les rayonnements solaires influent sur la production de l'énergie solaire ce qui est à son tour influe à l'utilisation de l'énergie de chauffage d'appoint.

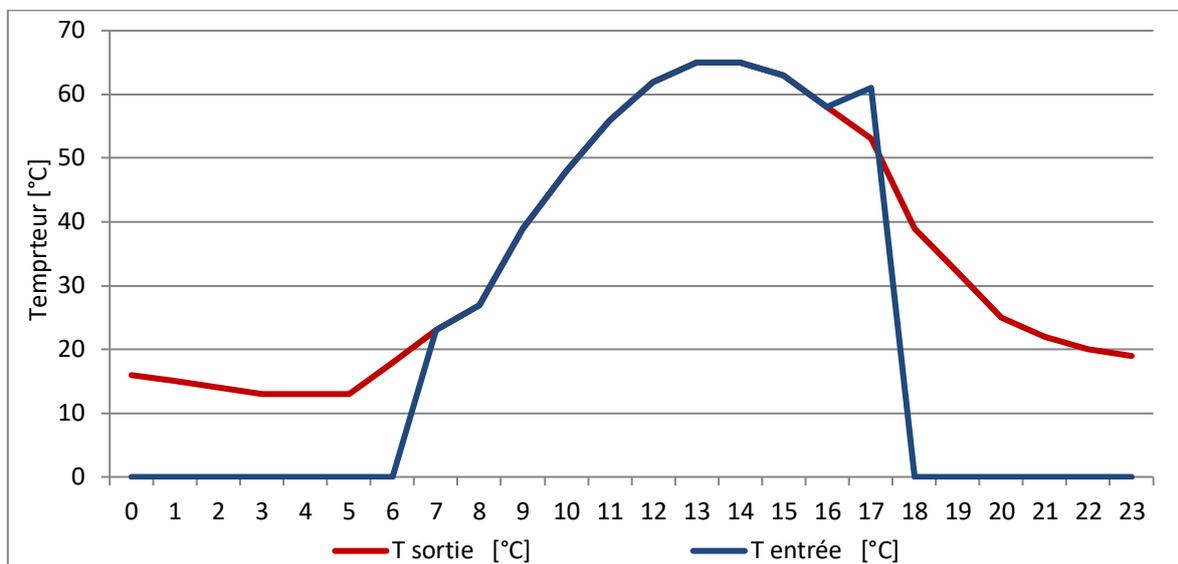


Figure 4.16 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {10-juin}.

- La figure 4.16 représente la variation de la température d'entrée et de sortie des capteurs solaire au 8 juin, On remarque que la température d'entrée atteint une valeur maximale [65°C], à midi (13 :00), et la même température de sortie en même temps car les deux courbes se suivent (simultanément) elles prennent la même forme de courbe de rayonnement solaire (forme de la cloche).

2.3.3. Site Hassi-Messaoud

- **Défavorable {29-12}**

- La figure 4.17 représente l'évaluation de l'énergie produite par le système solaire et l'énergie Chf-Appoint et rayonnement global au 29 décembre, on remarque que le rayonnement solaire et l'énergie produite ont atteint une valeur maximale de 55kWh, bien que ce soit un jour défavorable dans la région de Hassi Messaoud, il reste meilleur que certaines régions dans leur jour favorable. Quant à l'énergie de chauffage d'appoint sa valeur été moyenne et a augmenté entre 19 :00 et 22 :00 en raison de la forte demande selon le profil de consommation

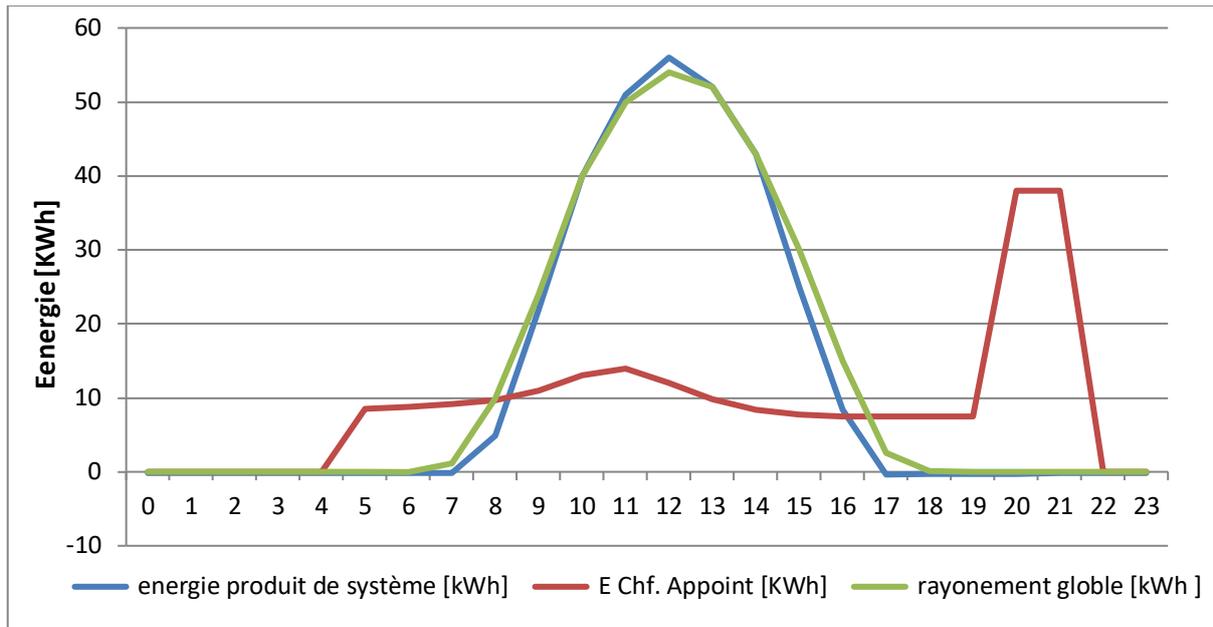


Figure 4.17 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {29-décember}.

➤ La figure 4.18 montre la variation de la température d'entrée et de sortie des capteurs solaire au 6 janvier, Nous avons noter que la température d'entrée augmente progressivement avec le lever du soleil et l'augmentation du rayonnement solaire, atteignant sa valeur maximale (55°C) dans l'heure (13 :00 h), cette température est excellente car malgré qu'on soit dans une journée défavorable à l'endroit de Hassi Messaoud on a eu un très bon résultat , on observe aussi que la variation de la température de sortie dans la nuit au moyenne de (10 °C) alors qu'elle augment progressivement lorsque le soleil se lève et le rayonnement solaire augmente.

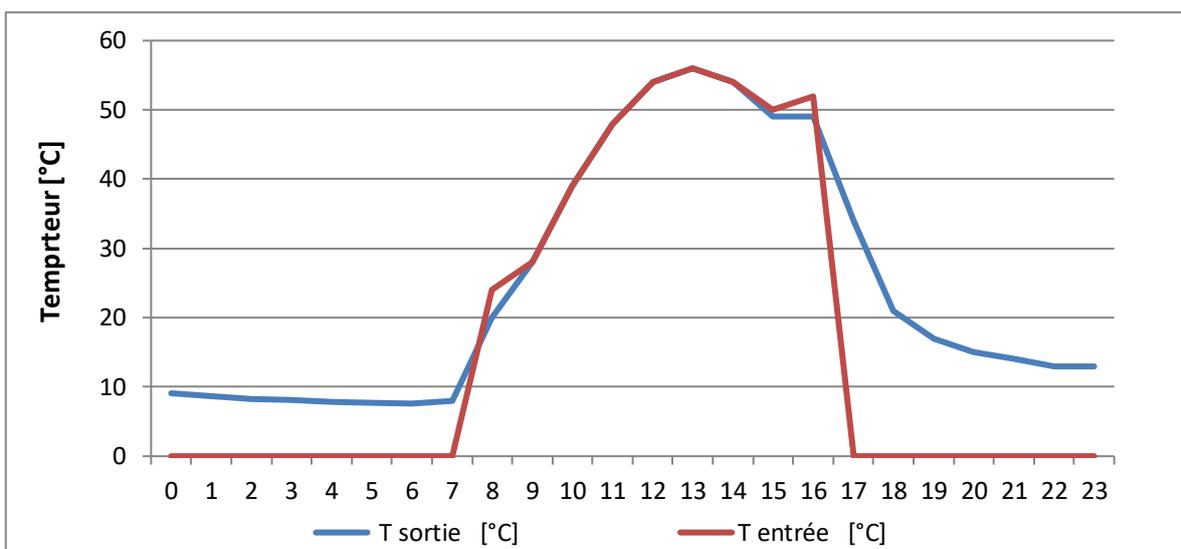


Figure 4.18 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {29-décember}.

- Favorable {07-07}

- La figure 4.19 représente l'évaluation de l'énergie produit par le système solaire et l'énergie Chf-Appoint et rayonnement global a 7 juillet, on remarque que le rayonnement solaire et l'énergie produite ont atteint des valeurs maximales respective de 98kWh et 65 kWh, tandis que l'énergie du chauffage d'appoint a atteint sa valeur la plus basse car les capteurs solaires répondent à nos besoins donc l'appoint n'a presque pas fonctionné.

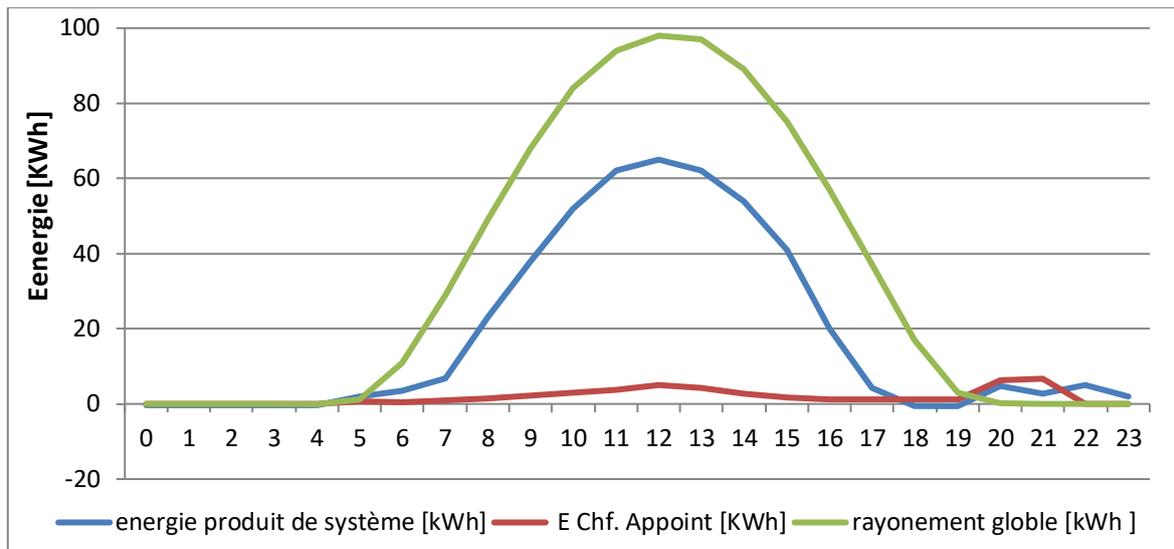


Figure 4. 19 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {7-juillet}.

- La figure 4.19 représente la variation de température d'entrée et de sortie des capteurs solaire au 7 juillet, On constate que c'est la même évolution des autres régions mais la température d'entrée atteint sa valeur maximale a [70°C] et c'est la valeur la plus élevée que le système a simulé, on remarque aussi un changement notable de la température d'entrée à 18 :00 h dû à la déconnection du réservoir au circuite solaire (la valeur de la déconnection est de 90°C).

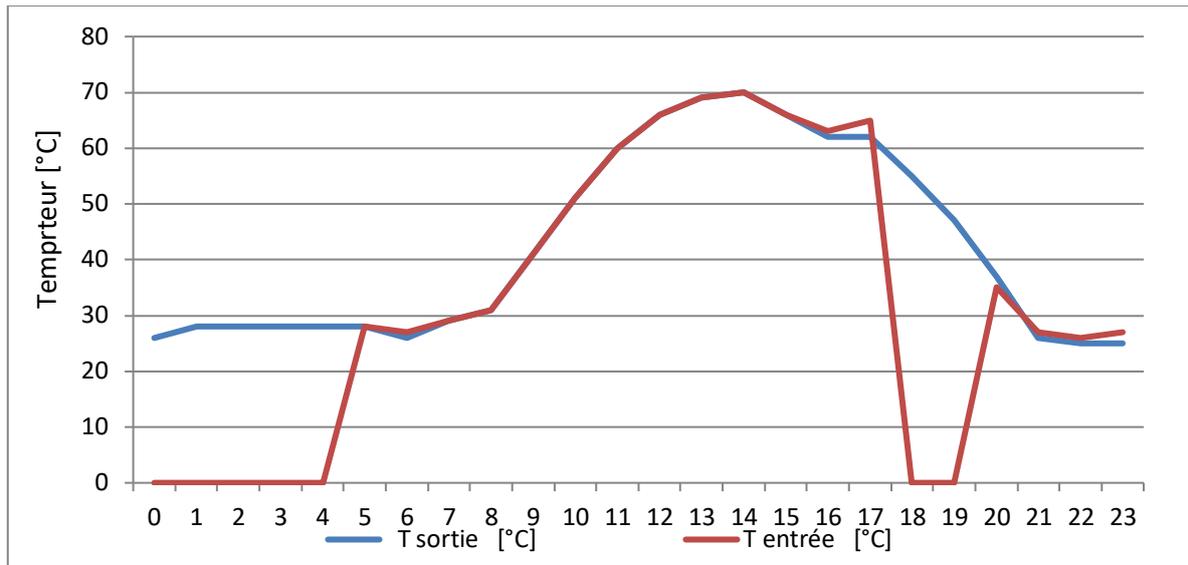


Figure 4. 20 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs solaires par jour {7-juillet}.

2.4. Interprétation de l'installation 1

- L'énergie produite augmente lorsque le rayonnement augmente et l'énergie de chauffage d'appoint diminue, ce qui montre que le rayonnement influence directement sur l'énergie produite, qui à son tour influence sur le rendement du système.
- L'énergie du chauffage d'appoint est faible, signifie que l'utilisation de l'Énergie solaire est importante.
- Le taux de couverture augmente lorsque l'énergie produite du système augmente et en parallèle l'énergie du chauffage d'appoint diminue.
- La température de sortie augmente lorsque la température d'entrée augmente à cause de l'augmentation du rayonnement solaire.

3. 2^{ème} installation de ballon tampon pour process industriel avec chauffe-eau instantané.

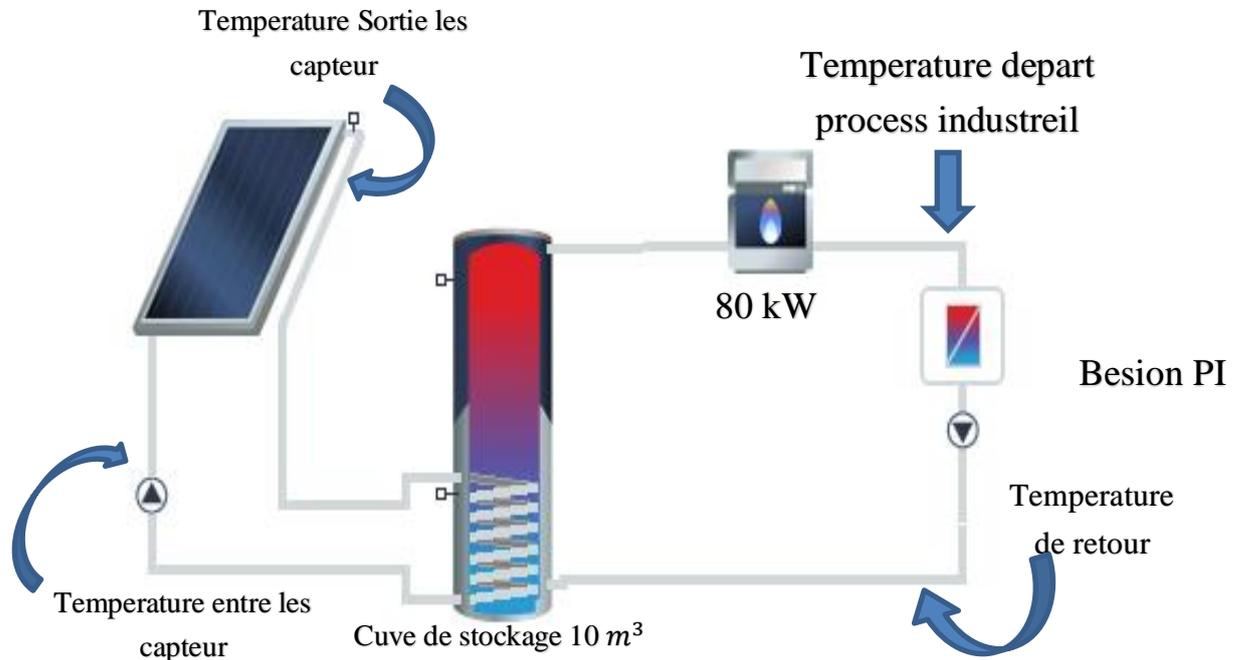


Figure 4. 21 : Installation de ballon tampon pour process industriel avec chauffe-eau instantané.

3.1. Evolution de l'Energie produit par le système solaire pendant l'année

La figure 4.22 représente l'Energie produit par le système solaire dans les 3 sites étudiées, en note qui l'énergie de système au site de Hassi-Messaoud est plus élevée que site de Sétif ou site Boumerdès en enregistré les résultats comme suite :

- A Boumerdes : elle atteint son maximum au mois à juillet pour une valeur de $103.34[\text{kWh}/\text{m}^2]$ et un minimum en hiver mois de décembre avec une valeur de $55.32[\text{kWh}/\text{m}^2]$.
- A Sétif/Ain-Arnat : elle atteint son maximum au mois d'août pour une valeur de $106.33[\text{kWh}/\text{m}^2]$ et un minimum en hiver mois de décembre avec une valeur de $57.94[\text{kWh}/\text{m}^2]$.
- A Hassi-Massoud : elle atteint son maximum au mois d'août pour une valeur de $109.64[\text{kWh}/\text{m}^2]$ et un minimum en hiver mois de décembre avec une valeur de $88.89[\text{kWh}/\text{m}^2]$.

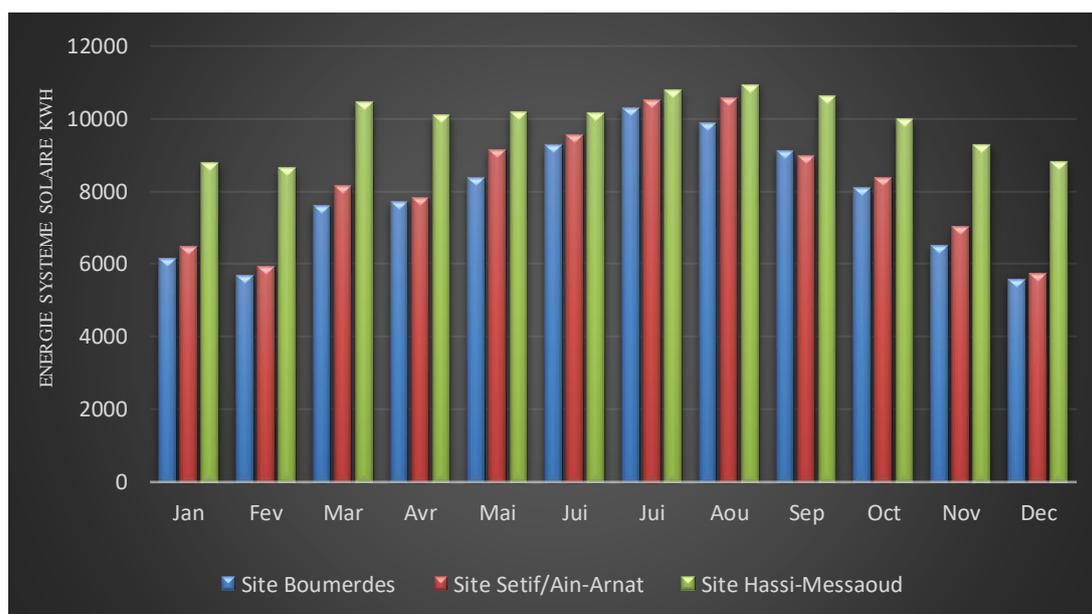


Figure 4.22 : Variation de l'énergie produite par le système solaire dans trois sites différents

3.2. Variation annuelle des différents Energie et de différente température

3.2.1. Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et par an dans trio sites différente.

- Site Boumerdes

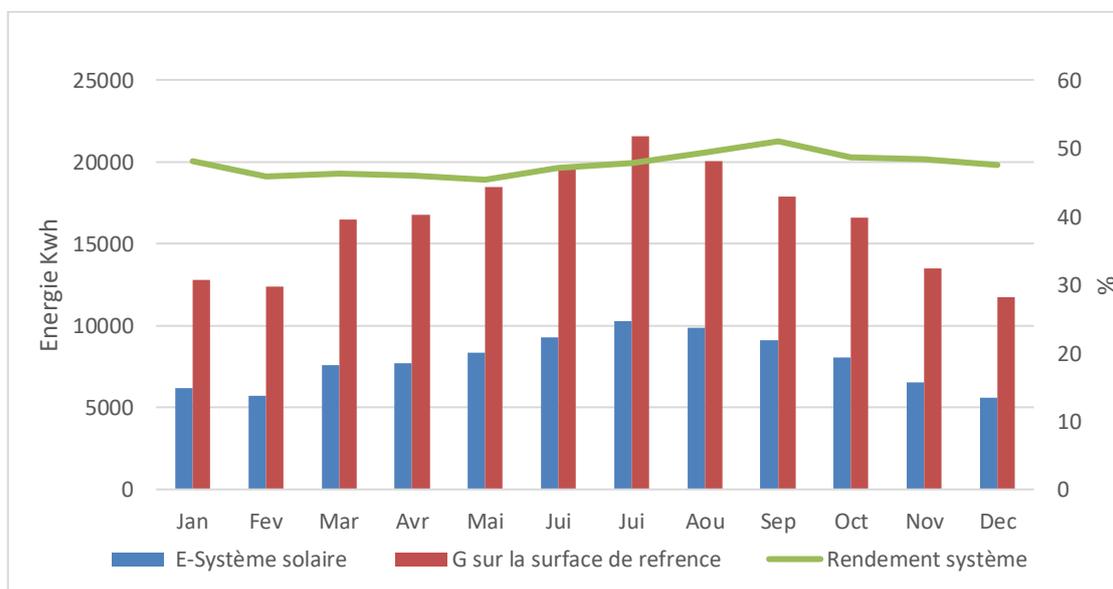


Figure 4.23 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le site Boumerdes.

• Site Sétif/Ain-Arnat

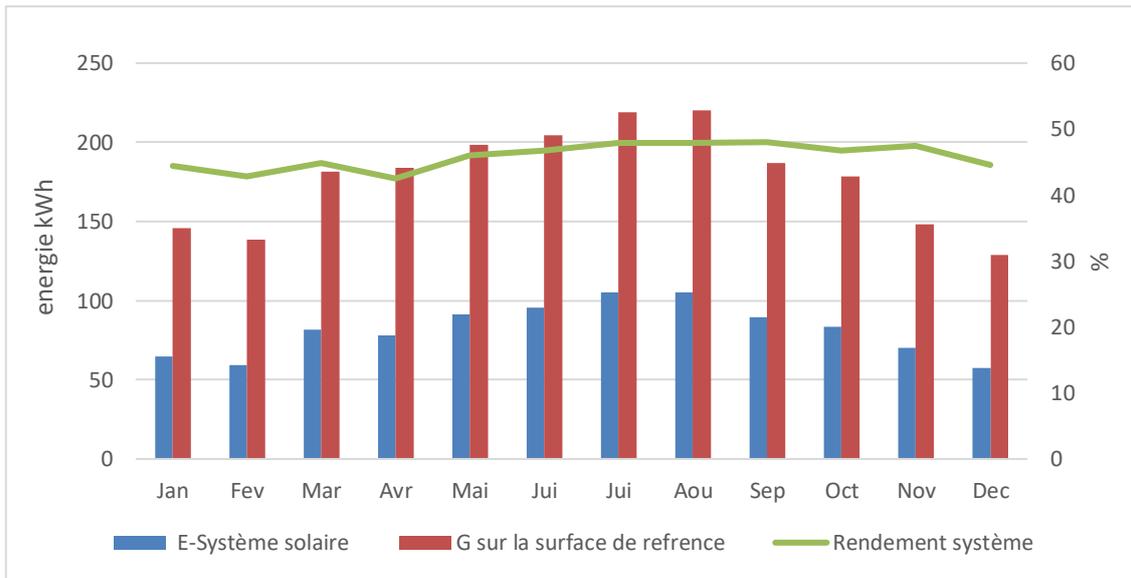


Figure 4. 24 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le Site Sétif/Ain-Arnat.

• Site Hassi-Messaoud

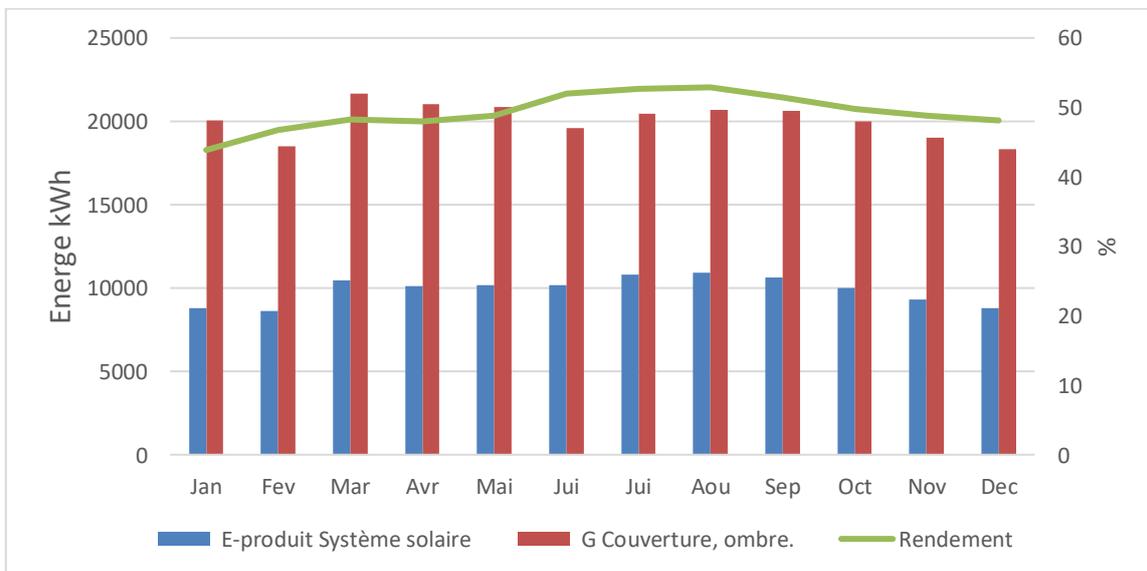


Figure 4. 25 : Variation de l'énergie produite par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système par an pour le Site Hassi-Messaoud.

- Ces graphes représente l'Energie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le rendement de système à l'année dans 3 sites {Boumerdes-Sétif-Hassi/Messaoud}. On remarque que le rendement du système des 3 sites varie à la variation des rayonnements et l'énergie produit par le système solaire est Approximativement arrivée à 50%, Le rendement attient sa valeur maximale dans

Hassi-Messaoud à 52.88% au mois d’août et atteint sa valeur minimale dans l’endroit de Sétif/Ain-arant à 42.51% au mois d’avril.

3.2.2. Evolution l’Energie produit par le système et l’Energie chauffage d’appoint avec le Taux de couverture

• **Site Boumerdes**

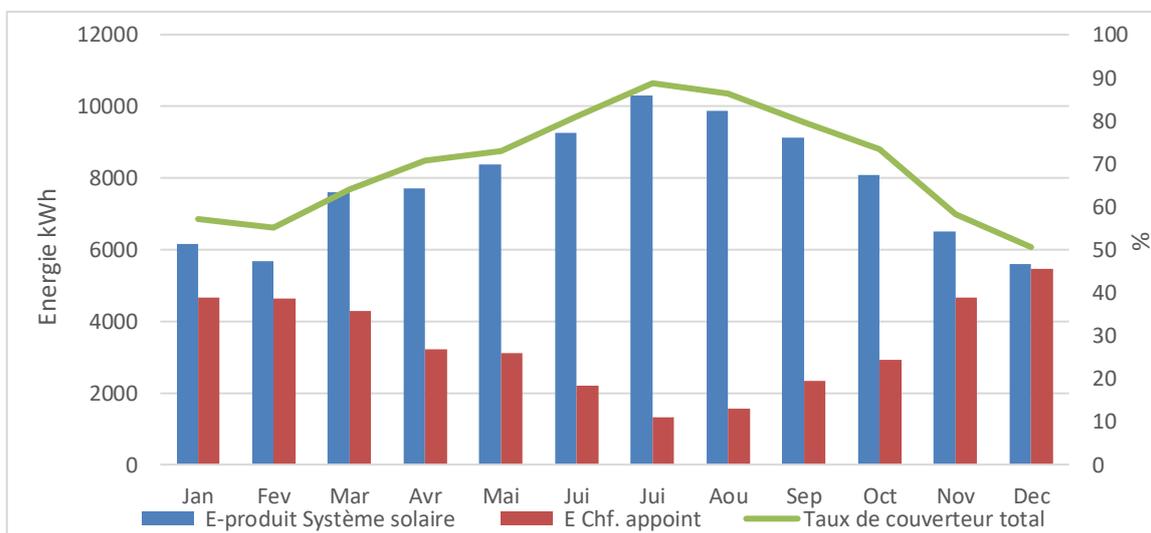


Figure 4. 26 : Variation de l’énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le Site Boumerdes.

• **Site Sétif /Ain-Arnat**

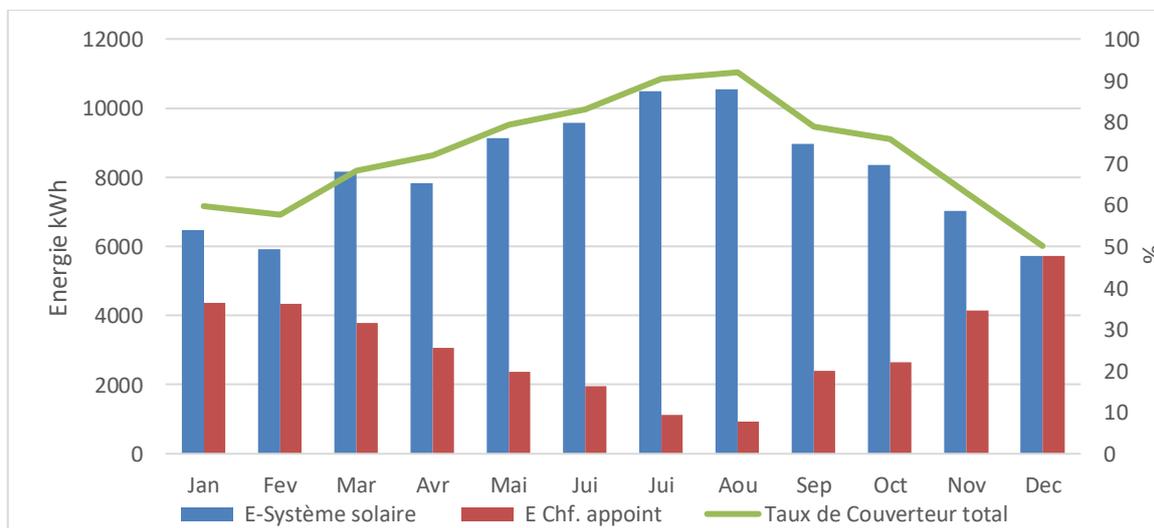


Figure 4. 27 : Variation de l’énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le Site Sétif/Ain-Arnat.

• Site Hassi-Messaoud

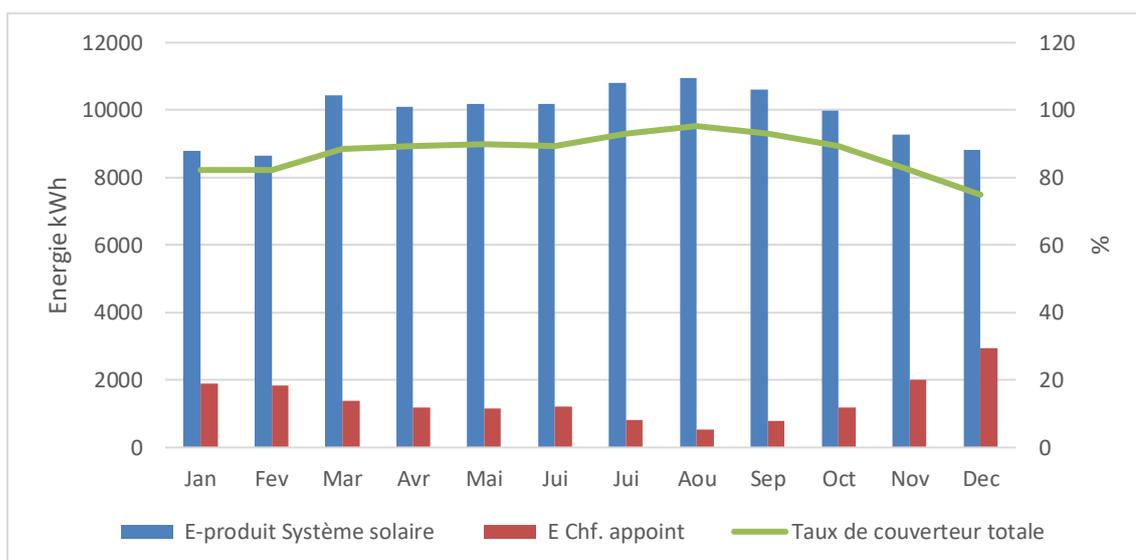


Figure 4. 28 : Variation de l'énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture par an pour le site Hassi-Messaoud.

➤ Ces graphes représente l'Énergie produit par le système, le rayonnement sur la surface de référence et le taux de couverture à l'année dans 3 sites {Boumerdes-Sétif-Hassi/Messaoud. Les résultats de la couverture varient dans 3 zones étudiées en fonction de la variation de la température et du rayonnement solaire. Plus l'énergie produite par le système est élevée plus l'énergie consommée par la chaudière est faible et vice versa, ainsi qu'une meilleure couverture dans les jours qu'on rayonnement solaire le plus élevée. On remarque bien que le taux de couverture augmente avec l'augmentation de l'énergie produit par le système solaire et diminution de l'énergie de chauffage d'appoint lorsqu'il atteint sa valeur maximale 97% au site Hassi Messaoud dans les mois d'été et d'autre part il diminue dans les mois de l'hiver ce qu'attient sa valeur minimale 74%.

3.3. Evaluation journalière des différents Energie et Température de l'installation

{journée type}

En à choisir pour journée type 2 jour de l'année le plus défavorable et le plus favorable chaque site {Boumerdes-Sétif-HM} donc en obtient les résultats suivants :

3.3.1. Site Boumerdes

- Défavorable {20-12}

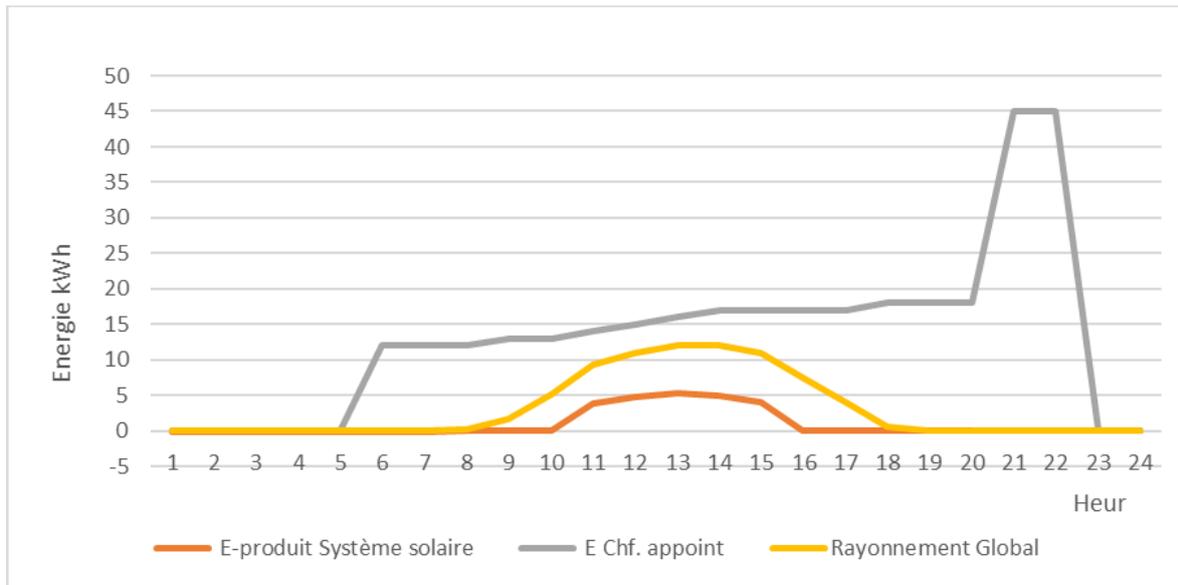


Figure 4. 29 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {20-Décember}

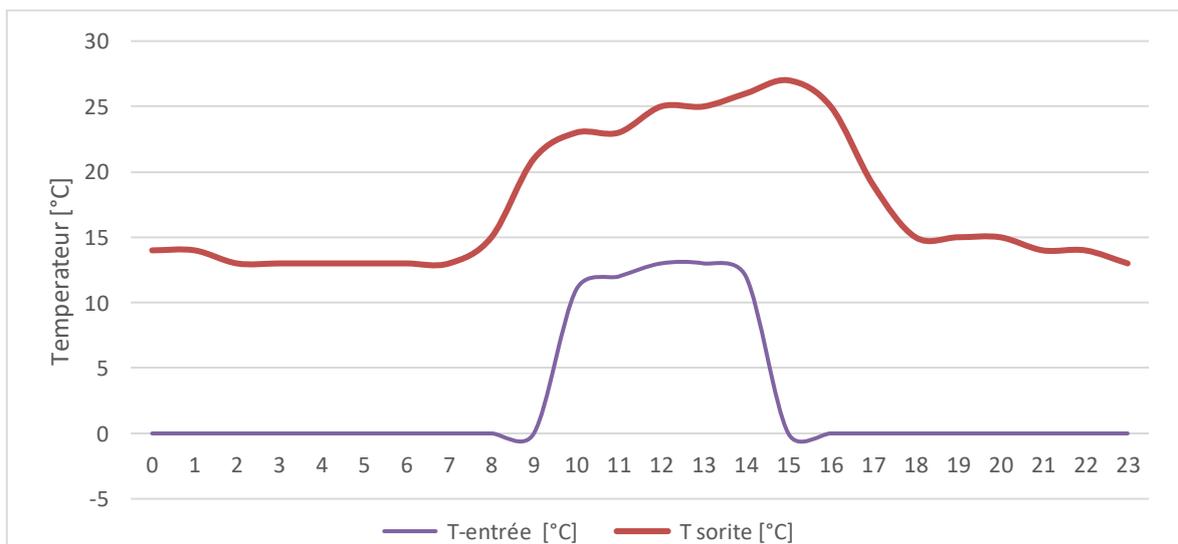


Figure 4. 30 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {20-décember}.

- Favorable {08-06}

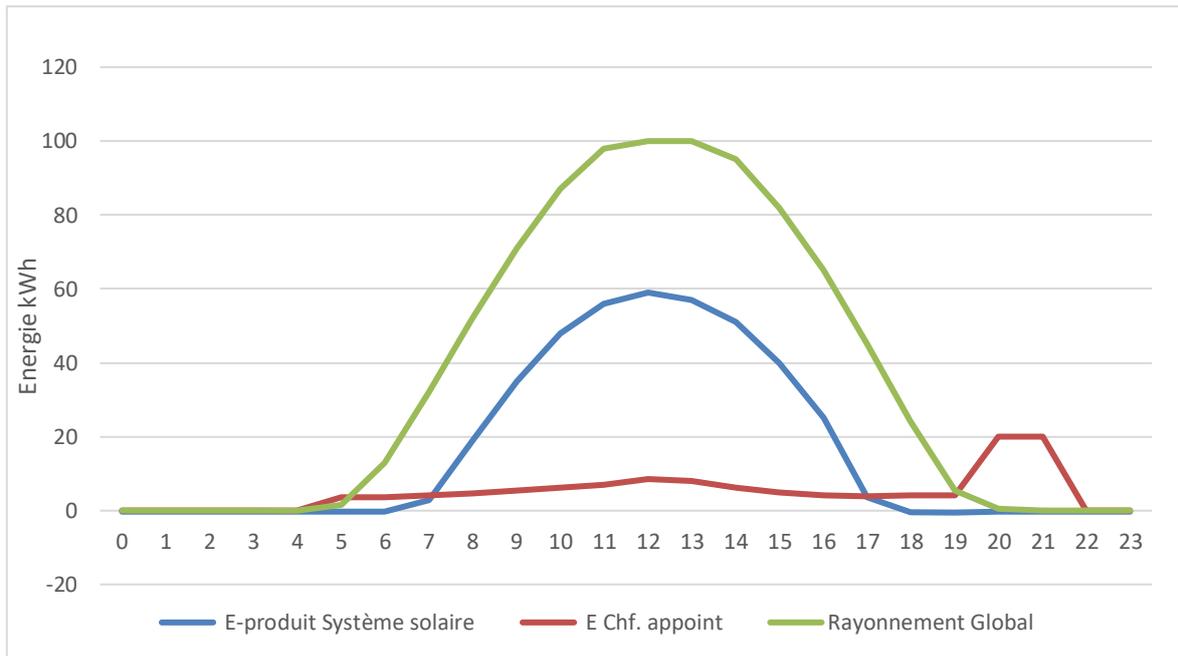


Figure 4. 31 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {8-juin}.

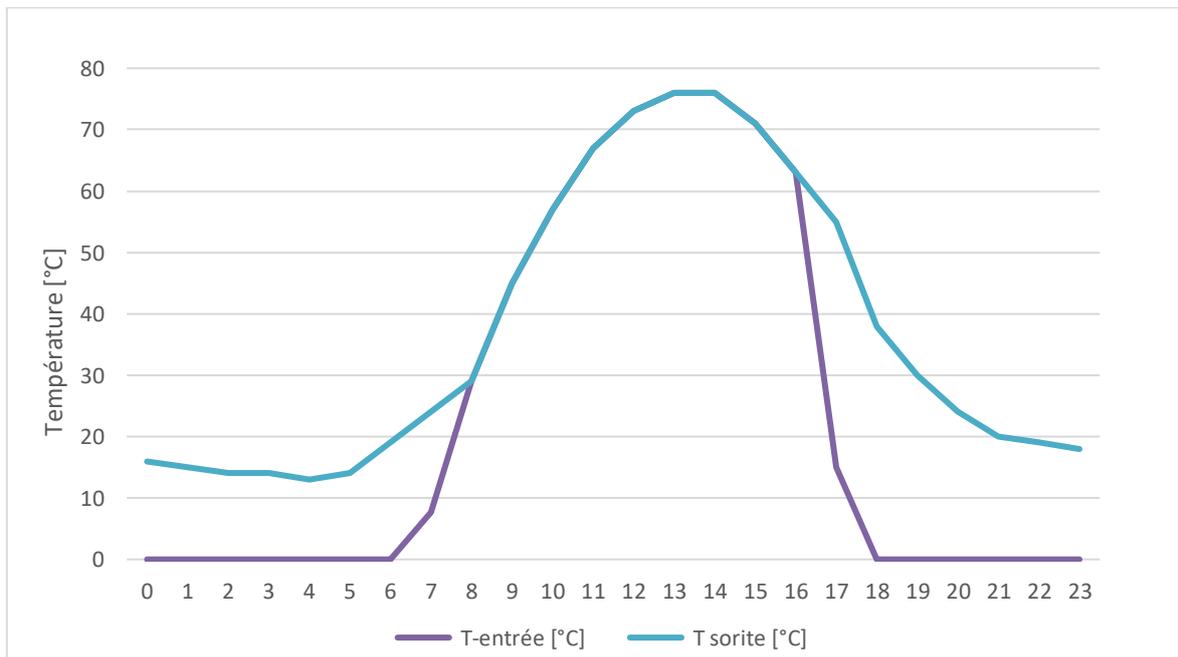


Figure 4. 32 : Variation de T-entrée et T-sortie des capteurs {8-juin}

3.3.2. Site Sétif/Ain-Arnat

- Défavorable {09-02}

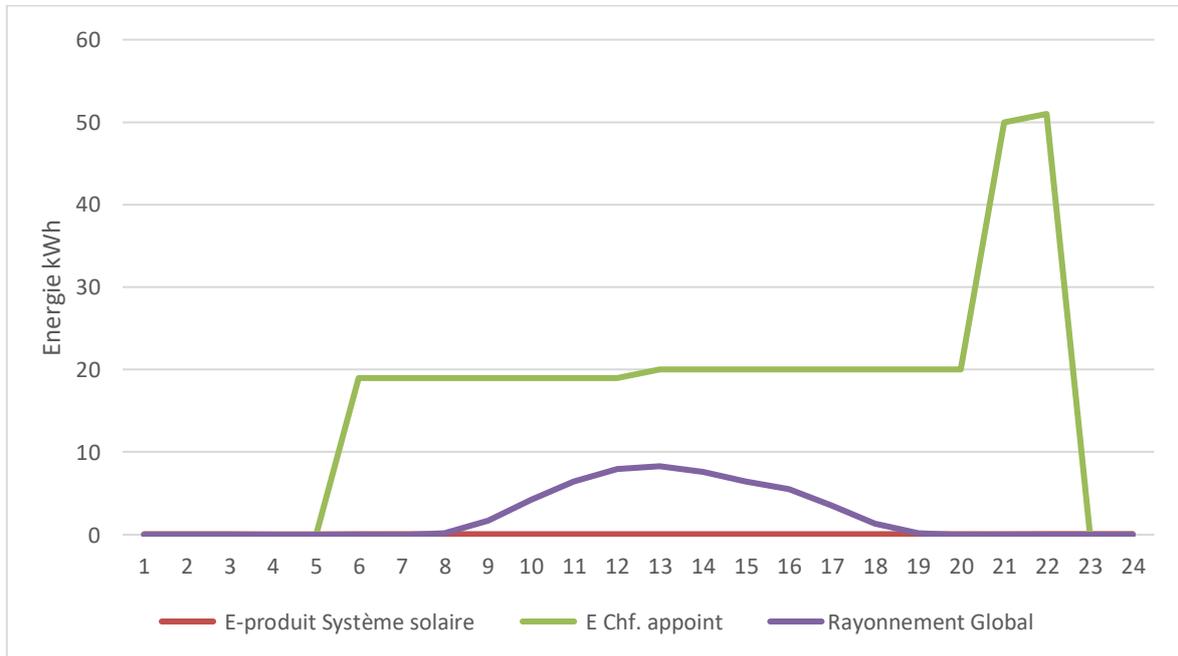


Figure 4. 33 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {9-février}.

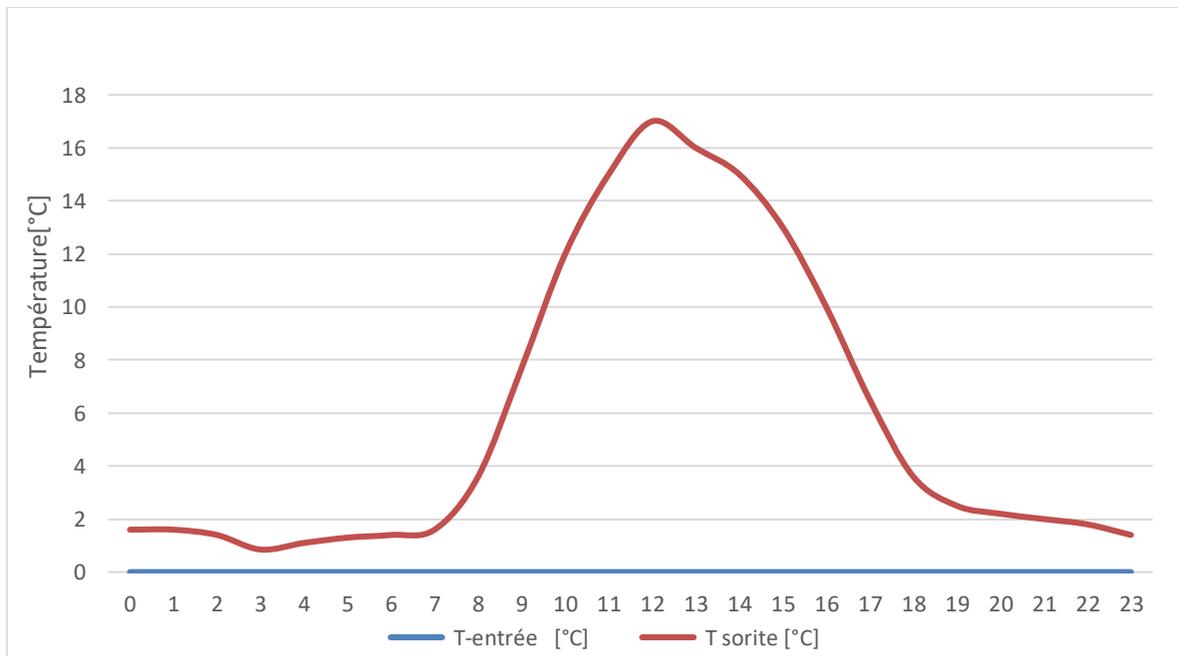


Figure 4. 34 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {9-février}

• Favorable {10-06}

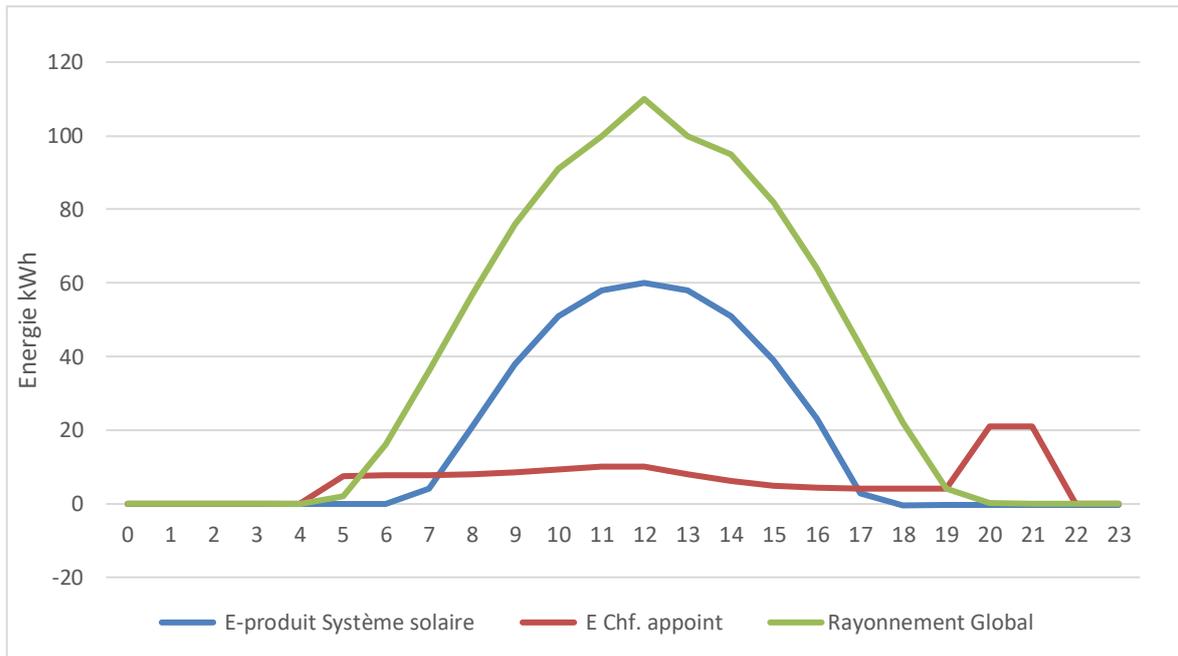


Figure 4. 35 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {10-juin}.

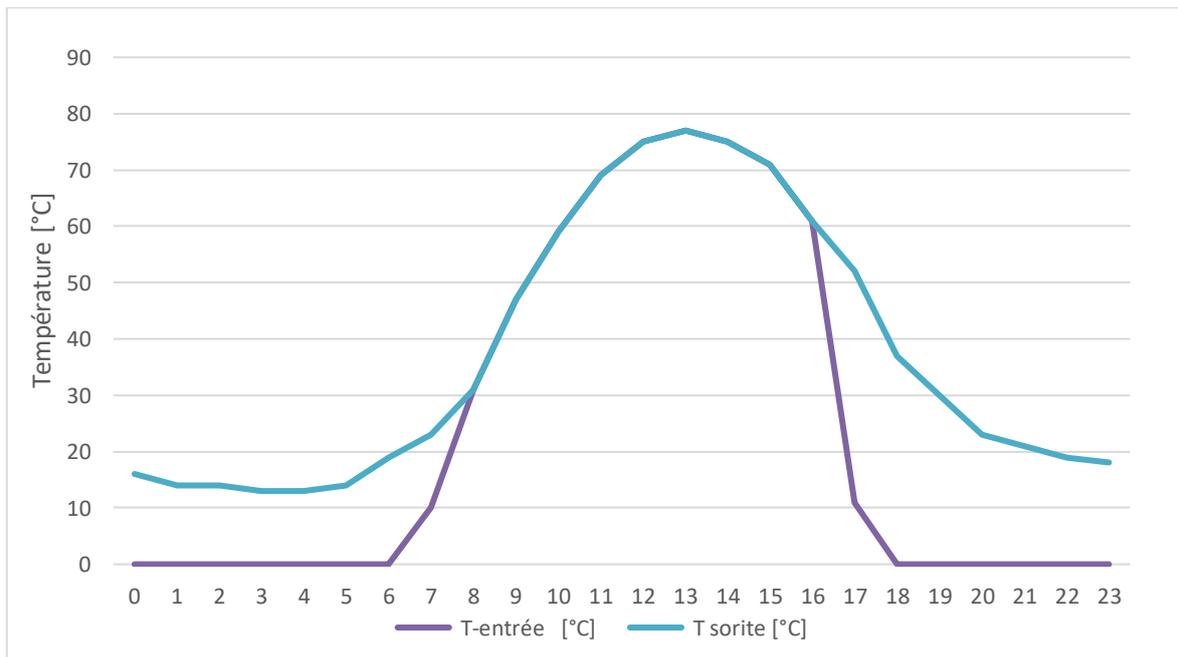


Figure 4. 36 : Variation de T-entrée et T sortie des capteurs {10-juin}

3.3.3. Site Hassi-Messaoud

- Défavorable {29-12}

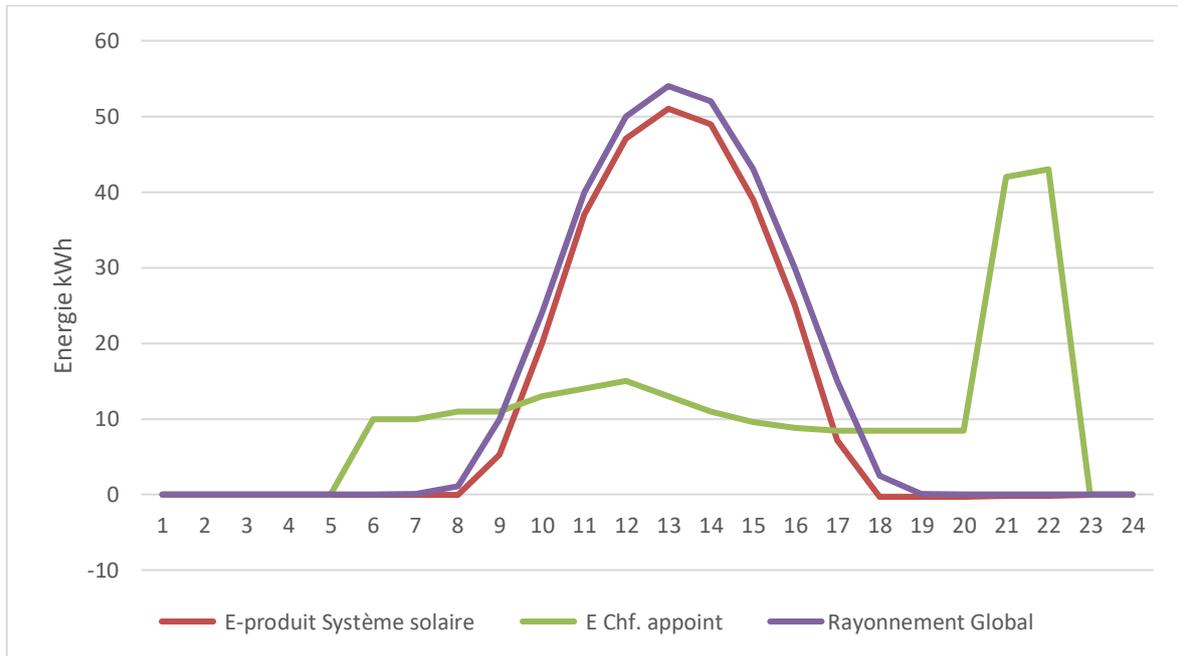


Figure 4. 37 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Apoint et rayonnement global par jour {29-décember}.

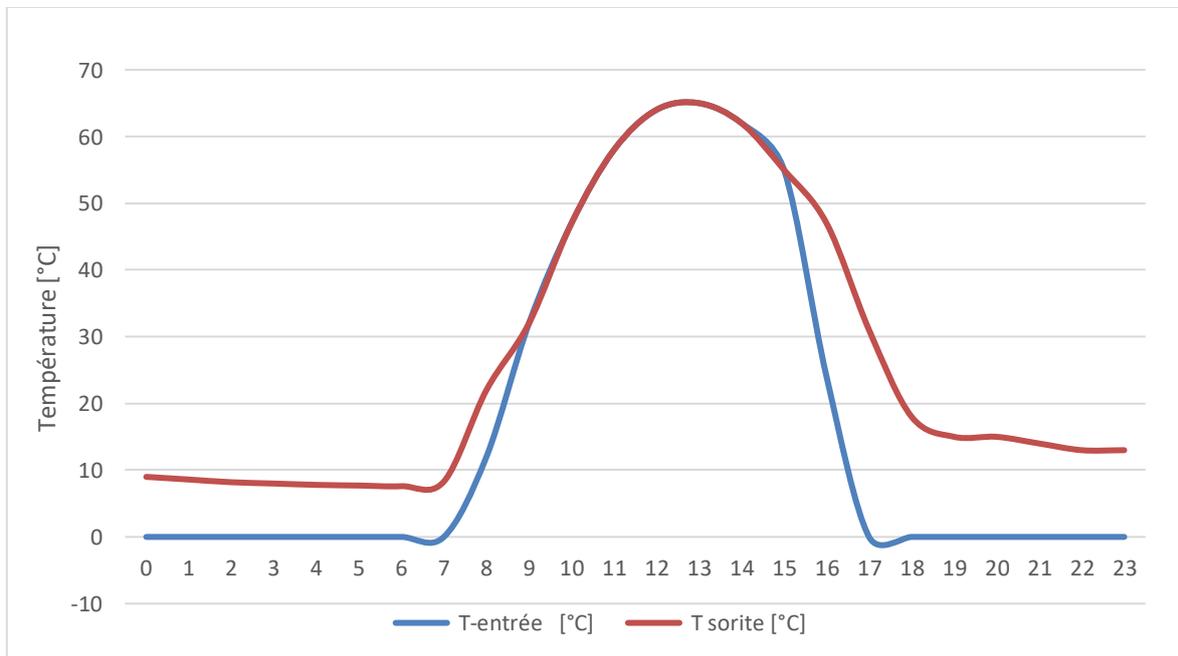


Figure 4. 38 : Variation de T-entrée et Tsortie des capteurs {29-décember}.

• Favorable {07-07}

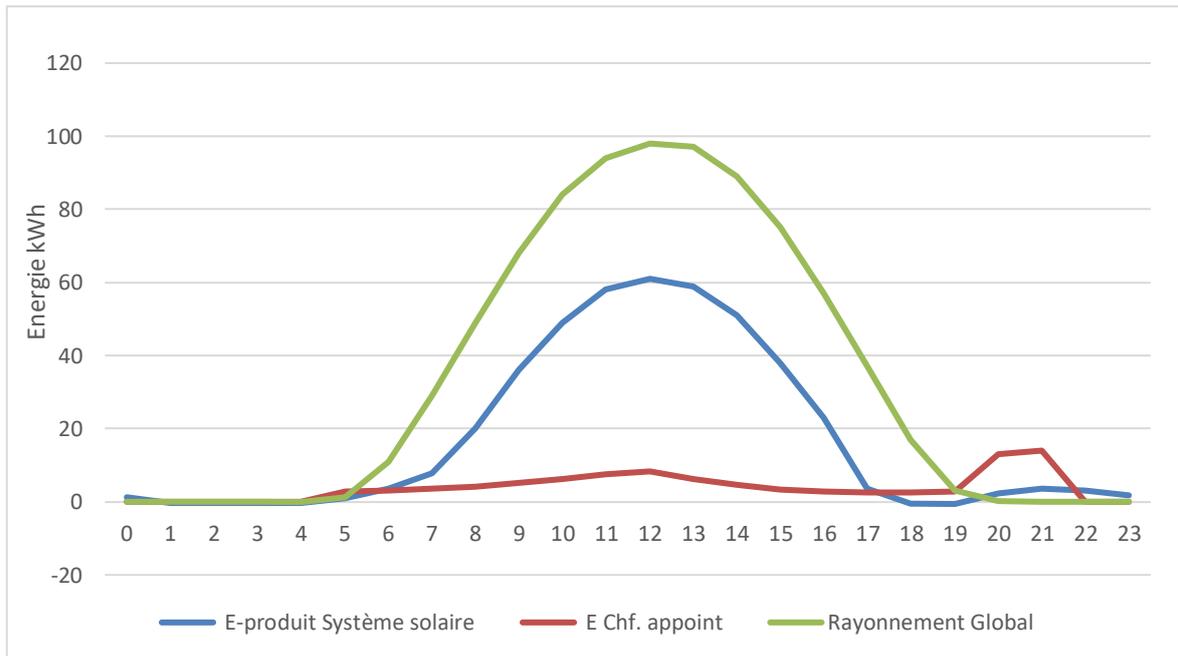


Figure 4.39 : Evaluation de l'énergie produite de système solaire, Energie Chf-Appoint et rayonnement global par jour {7-juillet}.

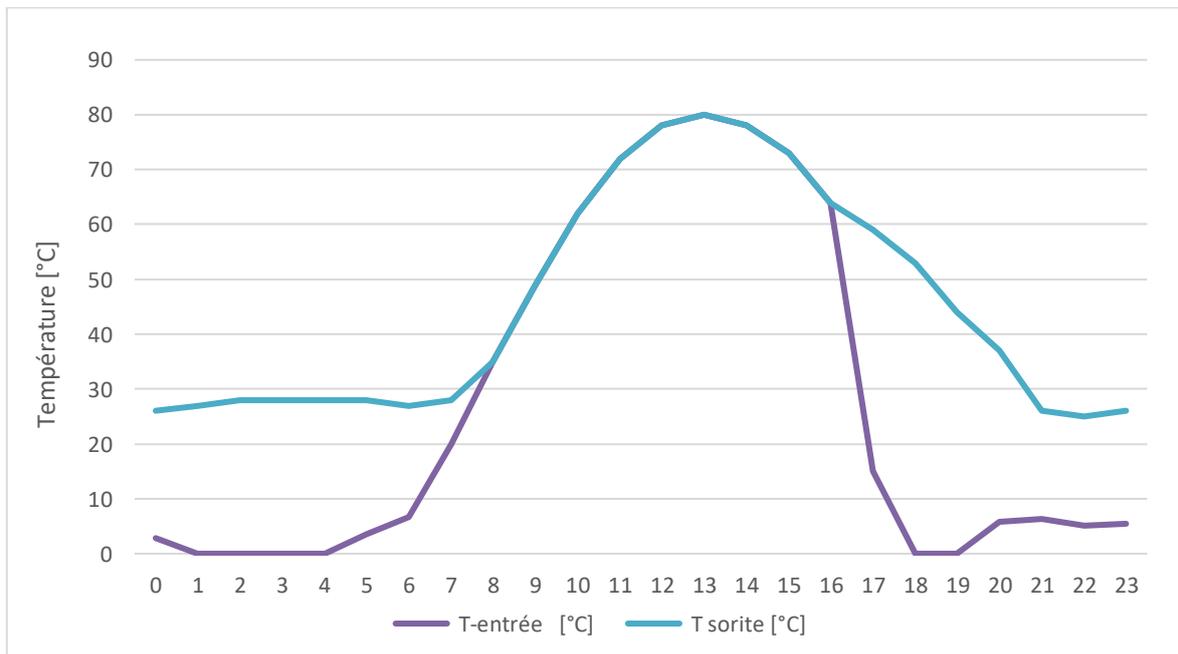


Figure 4.40 : Variation de T-entrée et T sortie des capteurs {7-juillet}.

3.4. Interprétation de l'installation 2

- On enregistre que dans les 3 sites l'énergie produit par le système solaire est influencé par le rayonnement solaire. On observe aussi qu'on a une relation inverse entre l'énergie de chauffage d'appoint et l'énergie produite par le système solaire et ce en raison du pourcentage de couverture des besoins industriel demandée lorsque l'appoint complète les besoins industriels nécessaires en l'absence d'un rayonnement solaire, ce qui affecte la production de l'énergie nécessaire à notre système .pour cela on enregistre que le valeur minimale de l'utilisation d'appoint dans le site de Hassi-Messaoud et la valeur maximum dans le site de Sétif. Et on note aussi que dans la journée défavorable du site Sétif la température de l'entrée de capteur est 0 °C parce que la température extérieure est très basse, elle atteint la valeur de 2 °C.
- En outre, le site de Sétif contient la journée la plus élevée de rayonnement solaire (9 kWh/m².j) cette valeur et plus importante que les valeurs qu'on a déjà obtenues aux endroits de Hassi-Messaoud (8.1 kWh/m².j) et de Boumerdes (8.8 kWh/m².j), mais si on fait une comparaison annuelle : le site de Hassi-Messaoud contient des journées modérées, le jour le plus bas du rayonnement solaire est de (3.2kWh/m².j). Pour le site de Boumerdès le plus mauvais résultat est de (0.74 kWh/m².j) , et on note la plus faible valeur du rayonnement (0.54 kWh/m².j) à l'endroit de Sétif.
- D'autre part nous constatons pour les résultats obtenus concernant les températures, qu'il y a une similitude dans la température entrante et sortante des capteurs solaire, elles augmentent simultanément en raison du rayonnement solaire important similaire a la cloche solaire, on remarque aussi que la température moyenne la plus élevée est capté dans le site Hassi-Messaoud à 81°C suivi par Sétif puis par le site de Boumerdès, et pour la plus faible température est c'est à site Sétif qu'on la trouve avec une valeur de 17°C suivi par le site Boumerdès puis Hassi Messaoud 65°C.
- Finalement, dans certains résultats nous trouvons l'énergie du système solaire avec un signe négative généralement dans la nuit qu'on les capteurs et la chaudière ne fonction pas cela à cause des pertes de ballon de stockage et les pertes de tuyauterie.

4. Evaluation des différents paramètres sur l’Energie produit par le système

4.1. Evaluation de surface de capteur

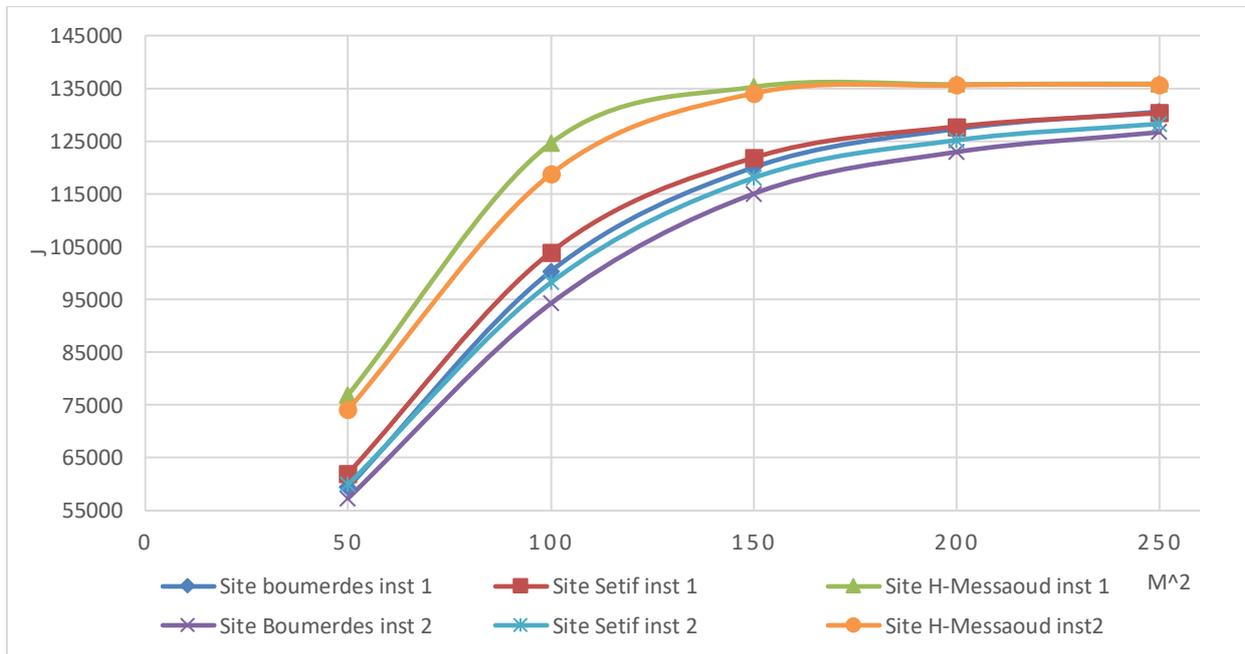


Figure 4. 41 : Représente la variation de l’énergie produit par le système par année en fonction de surface de captation de circuit solaire.

- La figure 4.41 représente la variation de l’Energie produit par le système par année en fonction de surface de captation il apparait qui il y a une relation importante entre l’augmentation de l’énergie produit et la surface de captation de l’énergie solaire qui est : la surface de l’énergie collectée augmente avec l’augmentation de surface des capteurs solaire, donc le rendement énergétique augmente, compte tenu du la présence des pertes dans les collecteurs.

4.2. Evaluation de Débit de circuite solaire

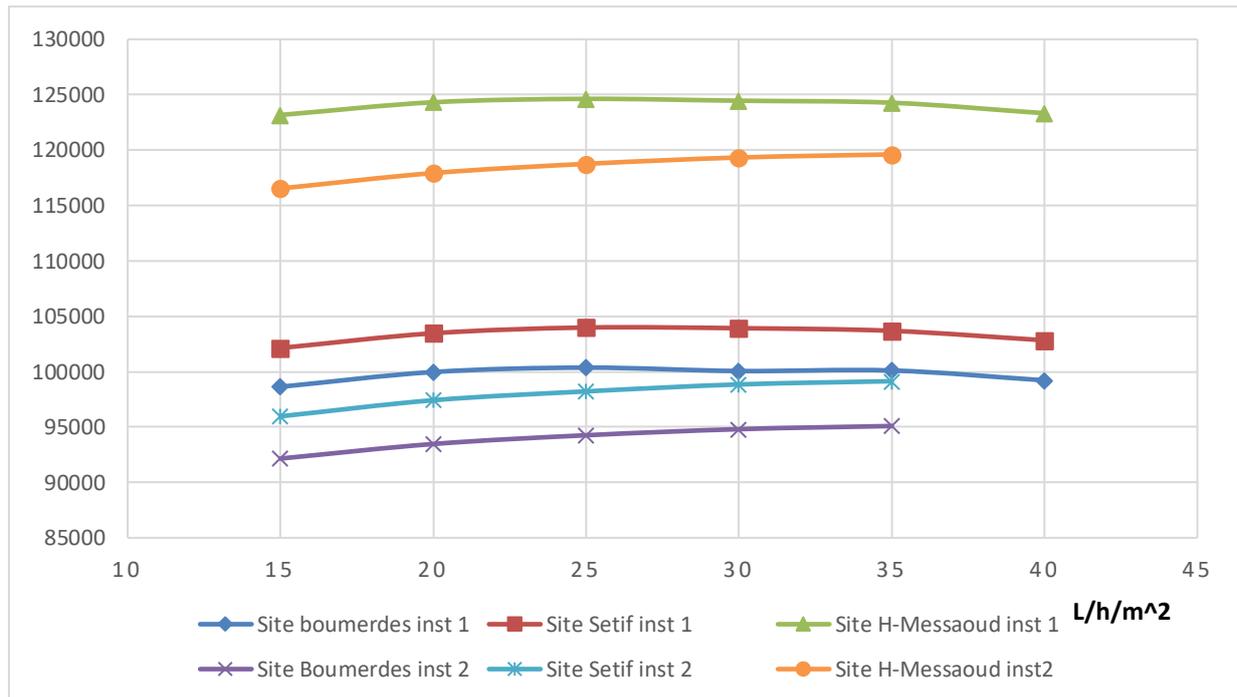


Figure 4. 42 : Représente la variation de l'énergie produit par le système par année en fonction de débit de circuit solaire.

- En remarque dans la figure 4.42 qui représente la variation de l'Energie produit du système par année en fonction du débit de circuit solaire que la variation de l'Energie produit est peu lorsqu'en varie dans le débit du circuit solaire, l'énergie produite par le système augmente jusqu'à atteindre sa valeur maximale à 25 l/h/m², puis l'énergie produit commence à décroître peu importe combien nous augmentons le débit l'énergie continue à décroître.

4.3. Evaluation de volume de ballon stockage

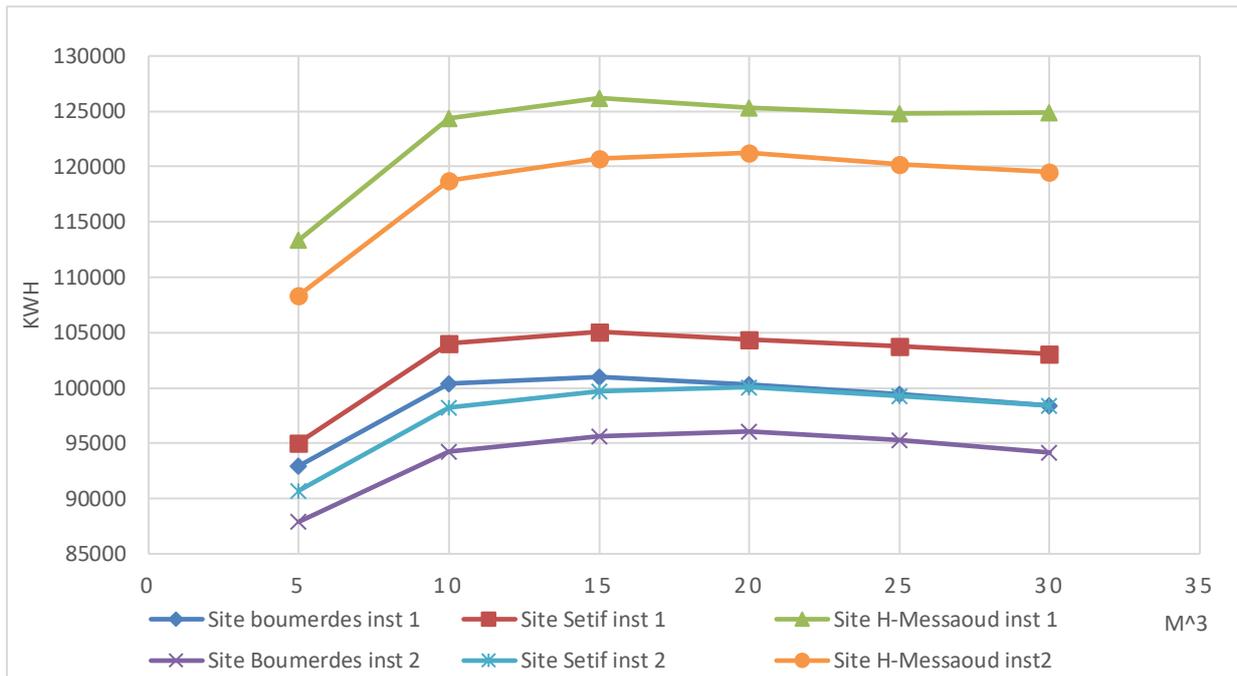


Figure 4. 43 : Représente la variation de l'énergie produit par le système par année en fonction de volume de stockage.

- La figure 4.43 représente la variation de l'énergie produit par le système par année en fonction de volume de stockage il apparait que lorsque on augmente le volume du ballon de stockage en remarque que l'énergie produit augment tel que le système prend moins de temps pour l'échange de l'énergie ou la température entre l'échangeur et le circuit de l'eau du réservoir ,mais lorsque nous augmentons le volume de stockage (15,20,25,30)m³ l'énergie de système diminue lorsque le système prendre beaucoup de temps en raison de la grande quantité d'eau à chauffer.

5. Évaluation de Rendement instantanée

L'analyse du comportement d'un capteur au cours d'une journée (figure 4.22) montre que le rendement augmente graduellement aux premières heures de la journée pour atteindre des valeurs maximales entre 10h00 et 13h00, bien que l'irradiation solaire commence à décroître à partir de 12h30.

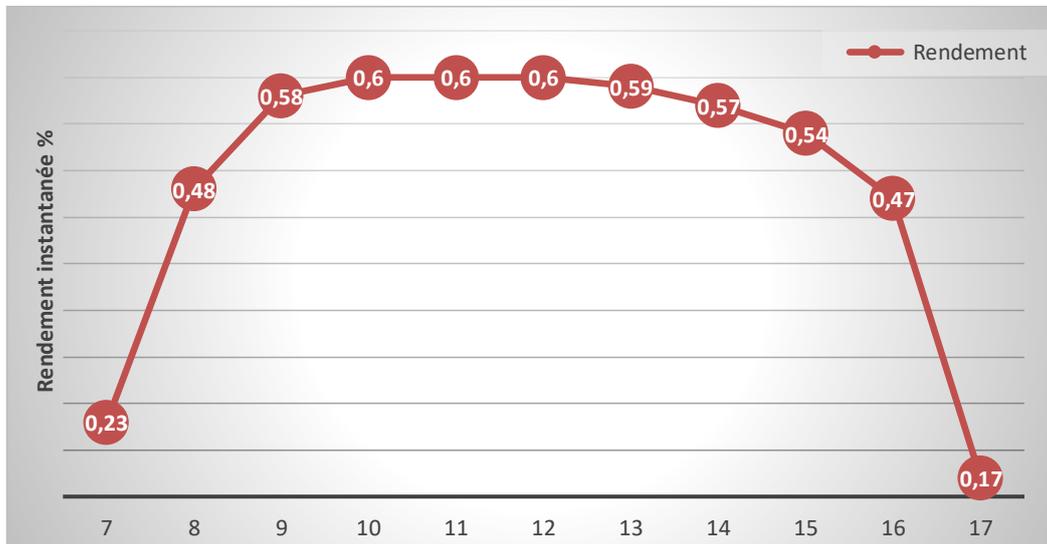


Figure 4.44 : Rendement instantané temporel.

6. Evaluation journalière des pertes

La figure 4.45 représente les pertes tuyauterie extérieure et inférieure avec les pertes de cuve de stockage. On remarque que les pertes de ballon existe toujours soit le jour ou la nuit est aparament elle augmente de manière représentative avec le profile d'utilisation, d'autre part les pertes tuyauterie sont plus élevée a l'interieur qu'à l'exterieur.

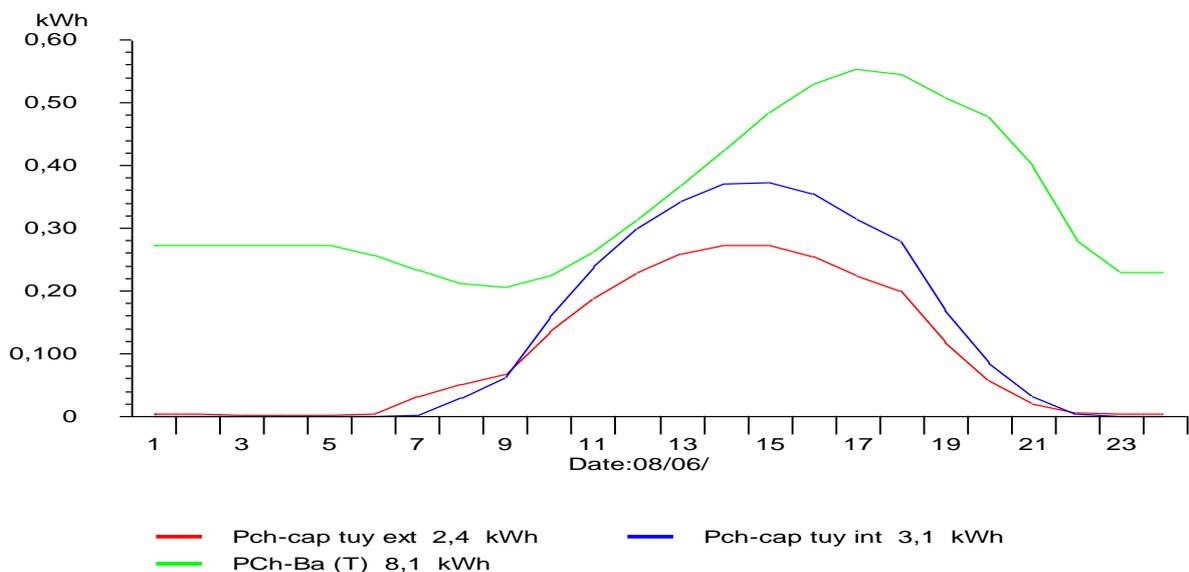


Figure 4.45 : les pertes tuyauterie extérieure et inférieure avec les pertes de cuve de stockage.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons identifié deux types de systèmes : un système chauffe-eau solaire a échangeur a plaque extérieure et un système chauffe-eau solaire a échangeur intègre avec la cuve de stockage. Notre étude a été menée dans trois régions en Algérie (Nord, Centre et Sud), les résultats ont montré que le taux de couverture des besoins évolue du nord au sud, atteignant son maximum à 97% et autre part atteignant le système externe de température requis. Réservoir énergie produite est plus importante et le retour est plus important.

Chapitre 5 : Aspect Economique

1. Introduction

Notre pays est confronté à de multiples problèmes liés directement à l'environnement et à la rationalisation de l'utilisation de l'énergie. Avec un potentiel énergétique solaire très riche, une Moyenne de 2139 KWh/m²/an, on peut définir les énergies renouvelables en Algérie comme étant essentiellement l'énergie solaire qui permet de couvrir un besoin très important en termes de chaleur ou de l'électricité. Cependant, l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire et industrielle, est une des meilleures applications de cette énergie. Dans ce cadre, l'installation des chauffages solaires à grande échelle qui représente presque 20 % de la consommation globale est l'une des diverses solutions qui répondent l'objectif de notre travail qui est l'étude d'une installation chauffage solaire à usage industriel.

2. Analyse économique

L'objectif de l'analyse économique des systèmes solaires thermiques à usage industriel est de faire ressortir les indicateurs financiers liés aux investissements. Ces indicateurs permettent d'évaluer leur faisabilité économique en prenant en considération les différentes variables régissant le contexte énergétique et économique actuel. Les systèmes solaires thermiques à grande échelle sont caractérisés par des coûts d'investissements initiaux relativement élevés, par conséquent, leur durée d'amortissement dépendrait essentiellement des économies d'énergie à réaliser durant tout leur cycle de vie ainsi que des prix d'énergie pratiqués par l'industrie considérée. Aussi, les coûts d'investissement des systèmes solaires thermiques à grande échelle dépendent en premier lieu de la puissance ou la surface à installer.

La répartition des coûts d'investissements liés aux systèmes solaires thermiques à grande échelle varie d'un système à un autre. A titre indicatif, une étude montrant la répartition des coûts d'investissement a été faite dans le cadre du programme (Solarthermie-2000), initié en Allemagne en 1993 (Peuser, 2002). Le programme avait pour objectif l'installation des systèmes de production d'eau chaude à grande échelle pour l'habitat collective. Comme il est indiqué sur la Figure, presque la moitié de la part totale des coûts investissements est lié aux champs des capteurs solaires (48.40%), suivi par les coûts d'étude et de planification (14%), les conduites (14.30%) ainsi que le système de stockage et échangeurs de chaleur (11.40%). Le reste (7.9%) est attribué aux conduites des champs des capteurs, système de contrôle et autres coûts supplémentaires. [64]

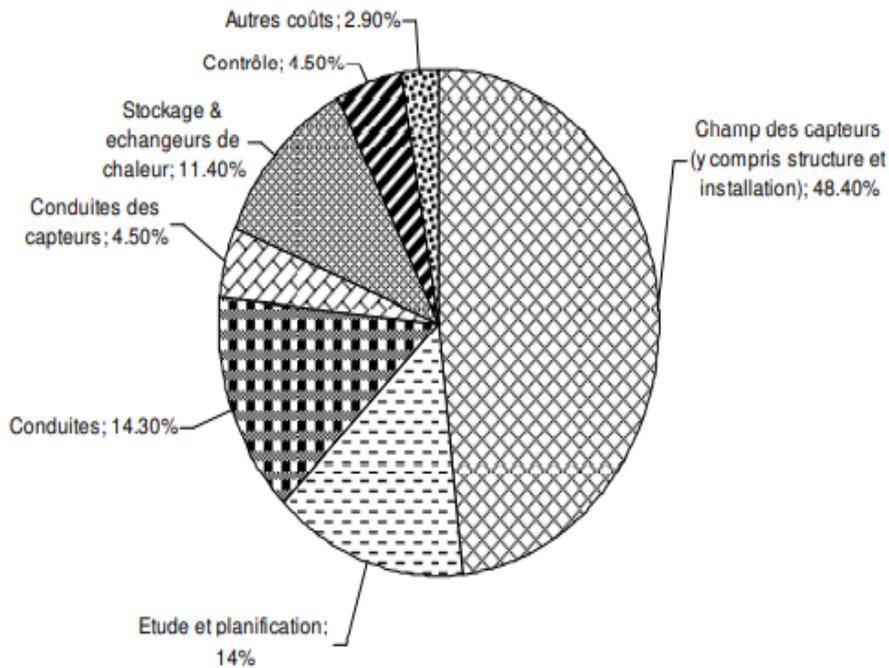


Figure 5. 1 : Répartition des coûts spécifiques d'investissement pour les systèmes solaires thermiques à grande échelle (Programme Solarthermie-2000) (Peuser, 2002).

3. Modèle économique [65]

Il existe différentes méthodes permettant l'évaluation économique des investissements liés aux systèmes solaires thermique. L'une des méthodes consiste à calculer le coût actualisé d'énergie (CAE) généré par le système solaire. Une autre méthode, couramment utilisée, consiste à déterminer la période de retour des investissements durant la durée de vie économique du système. Dans ce cas, on distingue entre la méthode statique et la méthode dynamique. La méthode statique n'est pas trop recommandée car les flux monétaires qui se produisent sur le cycle de vie ne sont pas soumis à une actualisation. Par conséquent, la méthode dynamique est la plus adaptée du fait qu'elle considère que tous les flux monétaires soient actualisés.

3.1. Rentabilité

3.1.1. Valeur actuelle nette pour 1 année

Il s'agit de calculer la valeur actuelle nette (VAN) du système sur sa durée de vie. Ainsi, L'année de retour des investissements correspond à l'année où la valeur actuelle nette est nulle (VAN = 0). Ainsi, La valeur actuelle nette est exprimée selon la formule suivante (Götze et al., 2008,) :

$$VAN = \left(\sum_{t=0}^N \frac{(FMS - FME)}{(1+d)^t} \right) - C_{inv} \quad (5.1)$$

VAN : valeur actuelle nette (DA)

C_{inv} : investissement initial (DA)

FME : flux monétaires entrants (DA)

FMS : flux monétaires sortants (DA)

t : index de temps (année)

N : durée de vie du système considéré dans l'investissement (année)

d : taux d'actualisation (%).

3.1.2. Les flux monétaires sortant FMS

Sont les dépenses liées aux systèmes durant sa durée de vie, ils sont exprimés selon l'équation :

$$FMS = C_{F\&M} + C_c \quad (5.2)$$

- $C_{F\&M}$: coûts de fonctionnement et de maintenance (DA)

Nous négligeons les coûts de maintenance et d'exploitation du processus industriel de chauffage solaire pour 2 raisons :

- le système solaire n'a pas besoin de beaucoup d'argent pour fonctionner toute l'année, il suffit de nettoyer les collecteurs de la poussière.

- Il n'y a pas besoin d'un spécialiste pour le nettoyage ou le fonctionnement du système, une seule personne peut le faire.

En Europe, les coûts de maintenance et d'exploitation représentent 1% n (VDI 2014, p. 61) de l'investissement initial et ils considèrent que c'est parce qu'ils ont besoin d'un spécialiste et que les coûts des travailleurs et des taxes sont très élevés.

- C_c = les coûts de consommation (DA)

Si Le cout de consommation de l'électricité des pompes, nous disposons des heures de fonctionnement des pompes et de leur puissance, ainsi que du coût de l'électricité, ce qui nous permet de calculer la consommation électrique du système.

$$C_c = h_f * P_{pomp} * P_{elec} \quad (5.3)$$

$$A.N : \quad h_f = \begin{cases} H_{solaire\ pompe} = 3247\ h \\ H_{Decharge} = 4420\ h \end{cases}, P_{pomp} = 100w = 0.1kw, Pele = 6.42DA/kWh$$

$$C_c = (3247 + 4420) * 0.1 * 18.05$$

$$C_c = 13838.935\ DA$$

3.1.3. Les flux monétaires entrant FME

Les flux monétaires entrant sont réalisés sous forme d'économies de carburant. Ils sont dérivés du rendement annuel utile du système solaire. Selon le profil de demande d'une entreprise, le rendement solaire utile diffère du rendement solaire disponible réel, en peut calculer avec les formules suivantes :

Le rendement solaire annuel spécifique : $q_{sol} = G * \eta_{sys}$ (5.4)

Le rendement solaire annuel : $Q_{sol} = q_{sol} * A_a$ (5.5)

Rendement Solaire Utile : $Q_{usol} = Q_{sol} * UR$ (5.6)

Économies de carburant : $E_C = \frac{Q_{usol}}{\eta_{chaud}}$ (5.7)

Donc : $FME = E_C * P_{gaz}$ (5.8)

Et bien : $FME = \frac{G * \eta_{sys} * A_a * TU * P_{gaz}}{\eta_{chaudere}}$ (5.9)

Les paramètres imposés :

Pour le taux d'actualisation on va estimer 4 Scénario qu'on :

$$d = \begin{cases} 0\% \\ 5\% \\ 7\% \\ 10\% \end{cases}$$

3.2. Coût actualisé d'énergie

Le CAE détermine combien d'argent doit être gagné par unité d'électricité pour récupérer les coûts du système sur toute sa durée de vie, est un outil utile car il permet de combiner les coûts fixes et les coûts variables en une seule mesure pour simplifier l'analyse.

Pour déterminer le CAE, vous devez déterminer les paramètres nécessaires tels que la durée de vie du système, la quantité d'électricité qu'il produira et les coûts d'entrée. Tous ces facteurs seront utilisés pour former l'équation suivante :

$$CAE = \frac{VAN}{\sum^n \frac{E_p}{(1+d)^t}}$$
 (5.10)

E_p : L'Energie produit par système solaire

Pour notre cas les paramètre ou les données sont maintenir dans le tableau suivant :

Paramètres	Valeur	Unité
Surface des capteurs	100	(m ²)
Coût d'investissement	4000000 ¹	(DA)

Coûts annuels de fonctionnement et de maintenance	0	(DA)
Coûts de consommation	922.2	(DA)
Energie produite par le système	118960	(KWh/a)
Rayonnement solaire	2138	(kWh/m ² .a)
Durée de vie du système	25	(Années)
Prix du gaz naturel ²	7.277	(DA/KWh)
Prix d'électricité ³	18.05	(DA/kWh)
Rendement de système	51	(%)
Rendement de la chaudière	92	(%)
Taux d'utilisation	92.78	(%)
Les Emission CO ₂ évite	34488	Kg/a
Economies de gas naturel	16309	m ³ /a

Tableau 5. 1 : Données techniques et économiques

¹ : Le ministère de la transition Energétique et des énergies renouvelables.

^{2,3} : le prix Mondial <<Globalpetrolprice.com>>

4. Résulte et discussion

4.1. Valeur actuelle nette

La figure 5.2 représente le période de retour d'investissement avec différents de taux d'actualisation (0%,5%,7%,10%). Des scenarios sur l'amortissement de l'investissement ont été calculé en utilisant le modèle dynamique de la valeur actuelle nette (Fig.5.2). Les résultats montrent que pour différent taux de d'actualisation {0,5,7,10} la rentabilité de l'investissement est à partir de l'année 6 pour d=0%. Cependant, un amortissement à partir de la 7^{ème} année pour taux d'actualisation d=5%&7%, et pour d=10% le système et rentable a l'année 8.

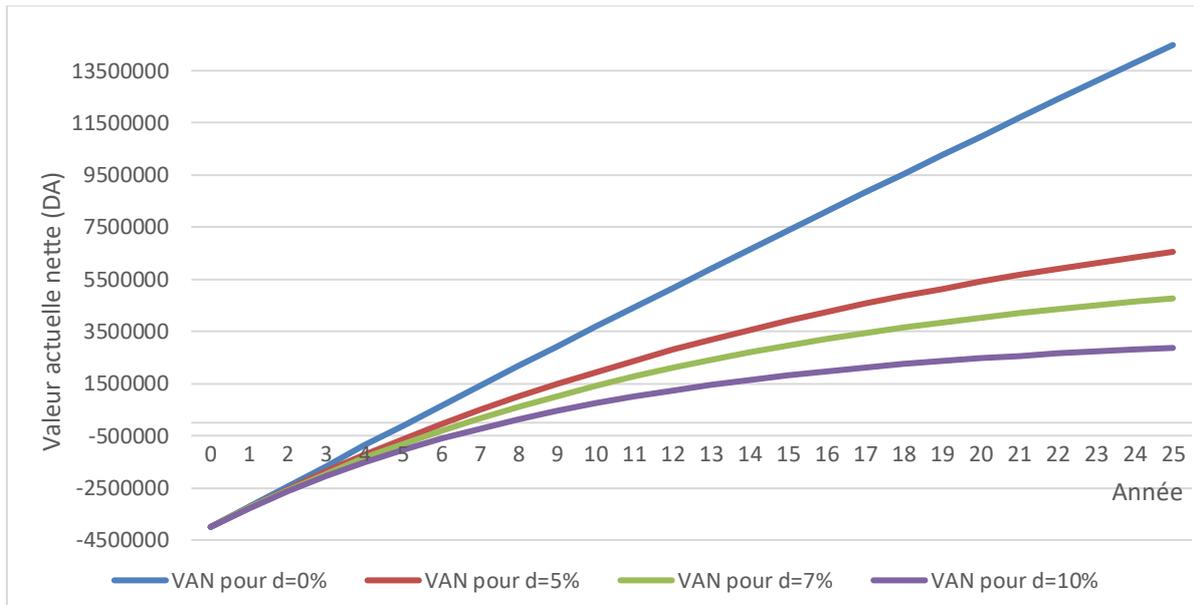


Figure 5. 2 : Période de retour d’investissement avec différents de taux d’actualisation (0%,5%,7%,10%).

4.2. Coût actualisé d’énergie CAE (DA)

La figure 5.3 représente l’évolution du coût du kilowattheure actualisé sur la durée de vie du système. Quatre scenarios correspondant à un système, des différents taux d’actualisation, ont été calculé afin de faire ressortir le coût actualisé d’énergie (Fig.5.3). Ainsi, le coût d’énergie sur la durée de vie du système, avec des couts des gaz Natural et électricité 7.277 DA/kWh et 18.05 DA/kWh, la figure montre que CAE, La valeur maximale du CAE est de 6,6 et diminue progressivement avec le passage des années de (0,24 à 0,06).

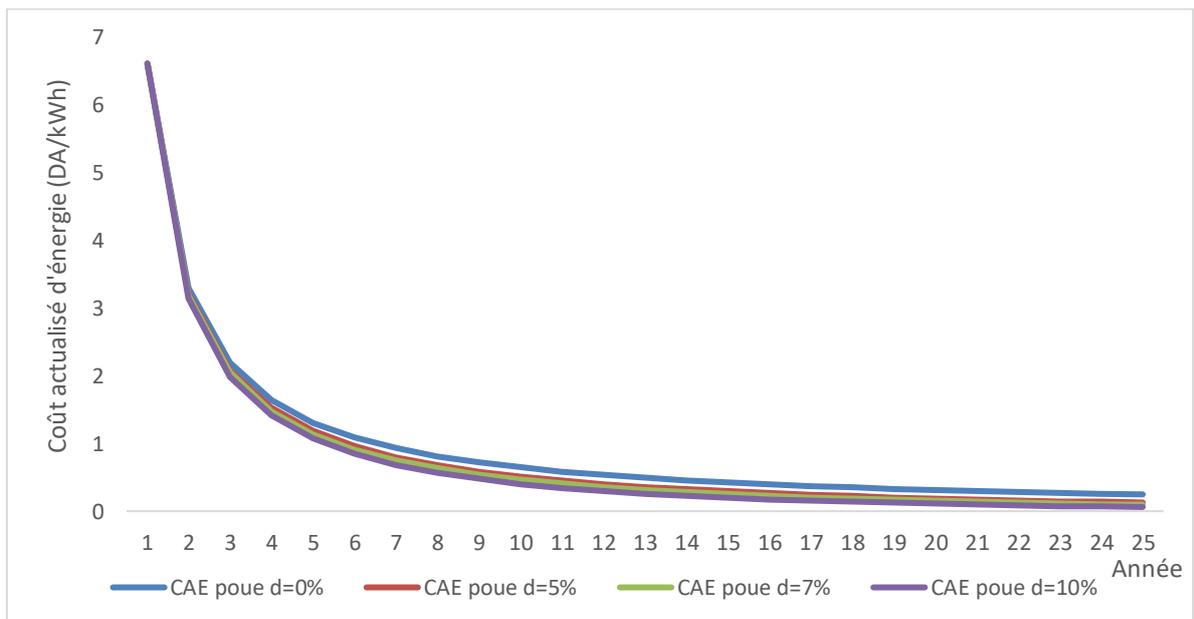


Figure 5. 3 : Evolution du coût du kilowattheure actualisé sur la durée de vie du système.

4.3. Les émissions de CO2 et Economie de gaz naturel

La figure 5.4 représente les émissions de CO2 évitée et Gaz Naturel Économie par année. Ces résultats ont été simulés par T*SOL, les résultats on montre que le total moyen dans l'année est de 34488 kg pour le dioxyde de carbone et de 16 309 m³ pour le gaz naturel.

Comme il augmente en été, c'est à dire avec une augmentation du rayonnement solaire, aussi l'augmentation de l'énergie produite par le système solaire, nous pouvons comparer les résultats du dioxyde de carbone évité avec les voitures, comme selon (SMMT the new car report 2017) Le taux d'émission de CO2 des nouvelles voitures est de 0,12 Kg/Km, donc nous pouvons marcher 287400 km/a.

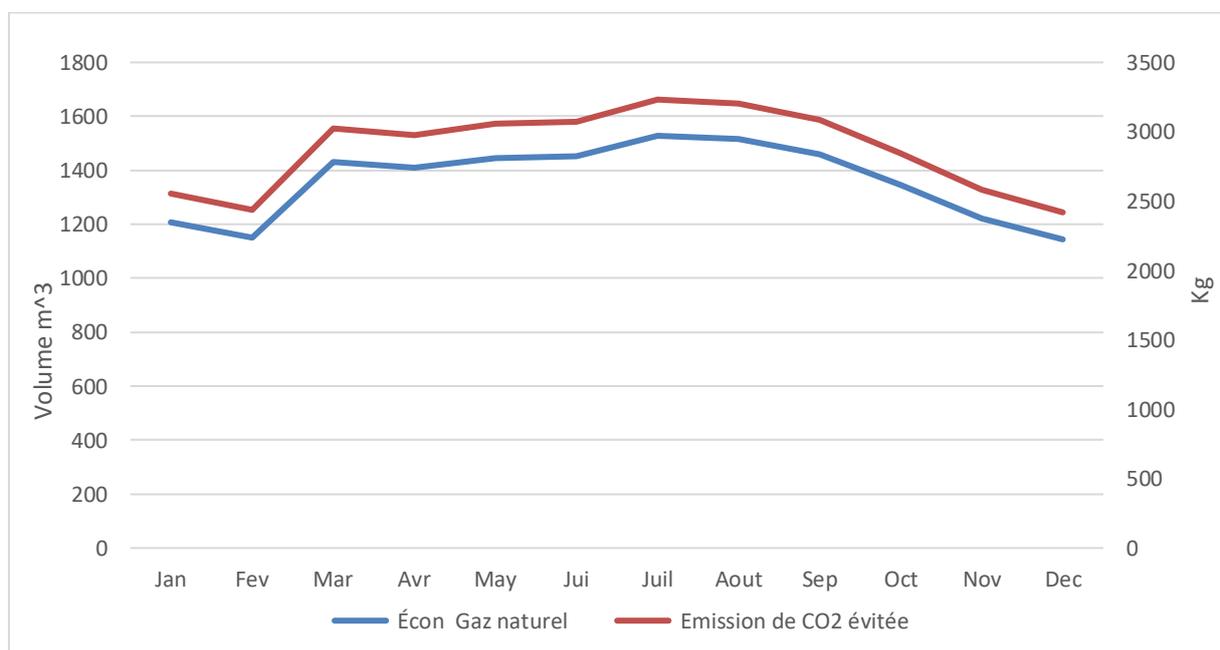


Figure 5. 4 : Les émissions de CO2 évitée et Gaz Naturel Économie par année.

5. Conclusion

Nous pouvons dire en regardant les documents et l'article liés aux investissements dans le domaine de l'énergie solaire destinée au domaine industriel, c'est-à-dire à grande échelle, qu'il est toujours élevé en raison de l'absence de la production locale, et c'est ce que nous avons étudié dans notre chapitre ici, où nous avons déterminé les coûts d'investissement initial de la production locale ainsi que la main-d'œuvre locale.

Il s'est avéré que la valeur financière n'est pas grande. Pendant 5 ans, nous avons pu récupérer le capital et commencer à faire des bénéfices. Le projet présente également un autre avantage, car il réduit les émissions de dioxyde de carbone. Nous préservons l'écosystème et le stock national de gaz naturel, ce qui nous a permis d'investir près de 90 %. En utilisant des chauffages solaires au lieu de chauffages au gaz naturel pour chauffer l'eau à des fins industriel.

Conclusion Générale

Dans le cadre de développement de projets des chauffe-eaux solaires destinés à usage industriel, nous nous sommes chargés dans ce mémoire d'étudier deux systèmes, de déterminer leur efficacité et d'examiner l'évolution de leurs paramètres de fonctionnement. Les résultats obtenus sont soumis aux critères : environnementaux, économiques et énergétiques.

Les principales conclusions qui peuvent être tirées à partir de l'examen des résultats de simulations techno-économique sont :

- Les conditions climatiques, varient considérablement d'une région à une autre en Algérie, ce qui fait que l'énergie produite ou consommée change d'une région à l'autre.
- De nombreux facteurs affectent le travail du chauffe-eau solaire, et chaque facteur joue un rôle dans l'augmentation du rendement et de l'efficacité. L'inclinaison idéale conduit les chauffe-eaux solaires à une polarisation plus élevée du rayonnement solaire et de l'énergie produite, ou à une augmentation du volume du réservoir ou le débit entraîne une augmentation de l'énergie produite, mais une forte augmentation de celui-ci entraîne les résultats inverses, c'est-à-dire une diminution de l'énergie produite.
- L'analyse économique des systèmes industriels de production de chaleur solaire comprend de nombreux critères comme la rentabilité il cherche l'année au cours de laquelle le montant initial investi est récupéré et commence à réaliser un bénéfice en tenant compte de toutes les informations, ainsi que du coût actuel de l'énergie montrant l'évolution en kWh sur la durée de vie du système..

L'Algérie fait une grande évolution pour utilise l'énergie solaire à l'usage industriel, et elle important pour la finance économique du notre pays.

Références

- [1] Reddah takieddine, « étude et dimensionnement d'un système solaire combiné application : logement individuel type f3 à Batna » mémoire master : au département de mécanique faculté de technologie université de Batna.
- [2] lazizi aldja « modélisation, contrôle et gestion énergétique d'une installation de pompage solaire » thèse de doctorat : faculté des hydrocarbures et de la chimie.
- [3] iqbal m. « an introduction to solar radiation ». academic press, new york, 1983, 390 p.
- [4] kreith f., kreider jf. « Principles of solar engineering ». mcgraw-hill; new york,1978, 230p.
- [5] [mellakh lahcen ben bada abdallah « contribution à l'étude d'un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire : cas de la cheminée solaire » mémoire master : université de Ghardaïa faculté des sciences et de la technologie.
- [6] fouad chabine « modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire » thèse doctorant université mohamed khider –biskra
- [7] Effet de serre : définition, explications, disponible à « www.aquaportail.com ».
- [8] Guide pratique « chauffe-eau solaire » agence marocaine pour l'efficacité énergétique
- [9] fatiha sahnoune « contribution à la modélisation et à l'expérimentation d'une installation solaire de production d'eau chaude équipée d'un système de télésurveillance » thèse de doctorat : université m'hamed bougara-boumerdes faculté des hydrocarbures et de la chimie p150.
- [10] tadvi sachin vinubhai, jain vishal r, dr. keyur thakkar, « a review: solar water heating systems » national conference on emerging vista of technology in 21st centry.
- [11] mohamed boukadida, « étude numérique de l'écoulement dans un collecteur solaire à tubes sous vide ouverts des deux côtés » mémoire présenté à l'école de technologie supérieure, université du Québec p150.
- [12] pacer « production d'eau chaude solaire » énergies renouvelable 1994 742.213f]
- [13] aghilas brahimi. « Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau » Génie des procédés. 2016. fahal-01825548
- [14] Site : université alioune diop de tambey cours livre : chapitre 3 « capteurs solaires thermiques plans » , captation (année 2015)
- [15] idir abdallah, kerkour ismail « étude des performances d'un capteur solaire thermique plan » mémoire master : université abderrahmane mira bejaia faculté de technologie p47
- [16] fanomezantsoa mialinirina « conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire à moindre coût » mémoire master : université d'Antananarivo, ingénierie en énergies renouvelable

REFERENCES

- [17] Aghilas brahimi « Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau » Génie des procédés. 2016. fhal-01825548.
- [18] [hichem ben temam. « Calculs des pertes thermique dans un échangeur de chaleur : applications aux isolateurs ». Mémoire de master : université Mohamed Khider de Biskra faculté des sciences et de la technologie.
- [19] Maatallah Fatiha, kanbessa aicha Bouchra « simulation numérique d'un capteur solaire plan » mémoire de master : université Ahmed draia adrar faculté des sciences et de la technologie.
- [20] Messouaf Samir « contribution à l'étude de la production d'eau chaude domestique par l'énergie solaire à l'aide de réflecteur cylindroparabolique » mémoire de magister : faculté des hydrocarbures et de la chimie, laboratoire génie physique des hydrocarbures.
- [21] Chibi Zahra « Effet du refroidissement sur les performances des panneaux Pv » mémoire de master : à l'université de Tlemcen, faculté de technologie p74.
- [22] Sedki Lyliya, Larbi Amina Zahra « étude et analyse des performances thermiques d'un chauffe-eau solaire individuel à circulation naturelle » mémoire master : université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, faculté du génie électrique et d'informatique p100.
- [23] [Gama Fatiha, Chekired Fathya, Aouchiche Nedjma « étude, conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire-étude technico-économique », Laboratoire de valorisation des énergies fossiles. En. polytechnique. 10 avenue Hassen badi. Belfort p51.
- [24] Bouhediba Malika « simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ecs) » mémoire master : université Hassiba ben Bouali de Chlef, faculté de technologie.
- [25] Camille Petitjean « eau chaude sanitaire solaire guide pour l'installateur » à la demande de l'union climatique de France.
- [26] R, morlot cstb. f, bellenger cstb .m.j, lagogue costic .l, greliche tecsol. P, lecarpentier edf .j.c, frichet edf. M, carré ademe. J, rogliono architecte-designer « guide de rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage et maître d'œuvre » version finale – décembre 2006.
- [27] Adjerid Mohamed Bouzid Yahia « étude expérimentale d'un capteur solaire plan pour production d'eau chaude >> mémoire master : université m'Ahmed bougera Boumerdès, faculté des sciences de l'ingénieur p90.
- [28] Bateche Mohammed. Toukri Mohamed Imad « étude expérimentale d'un chauffe-eau solaire installée à Alger » mémoire master : université m'Hamed bougara-boumerdes, faculté des sciences de l'ingénieur p63.

REFERENCES

- [29] Talbi Fouzia, Bechekour Rima. « Etude et dimensionnement d'un système de chauffage solaire Application au logement individuel type F3 à Bouira » mémoire de master : Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées Département de Génie Mécanique Université Akli Mohand Oulhadj Bouira.
- [30] Ghilas Becha. Salah ben Chabane. « Étude technico-économique d'une installation de chauffe-eau solaire à usage industriel » Mémoire master : département de génie mécanique faculté de génie de la construction.
- [31] Christoph Lauterbach. Shahraddad Javid Rad. Bastian Schmitt. Klaus Vajen « feasibility assessment of solar process heat applications » Kassel university, institute of thermal engineering (Germany) article · august 2011.
- [32] f. bouhired « réalisation d'un régulateur de température destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe-eau solaire » centre de développement des énergies renouvelables, bouzaréah, Alger. 1998.
- [33] m. Marzouk et n. kasbadji merzouk « le chauffe-eau solaire à usage domestique analyse des limites technico - économiques de l'expérience algérienne ». Centre de développement des énergies renouvelables, bouzaréah, Alger. 1999
- [34] a. Hamid, s. Sami, d. semmar, d. lafri et r. kharchi « étude et réalisation d'une installation solaire de chauffage d'eau collectif ». Centre de développement des énergies renouvelables, cder, bouzaréah, Alger. 2002.
- [35] c. buscarlet – d. caccavelli – b. khebchache, « note portant sur la fixation d'exigence minimum en matière de performance thermique des capteurs solaires et des chauffe-eau solaires ». Centre scientifique et technique du bâtiment, paris. 2005.
- [36] y. bai « optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles » laboratoire optimisation de la conception et ingénierie de l'environnement, campus scientifique Savoie Technolac, France. 2006.
- [37] diop.sy « conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire ». École supérieure polytechnique centre de Thiès, Sénégal, université cheikh Anta Diop de Dakar. 2006.
- [38] Messaouda « contribution à l'étude d'optimisation d'un chauffe-eau solaire type cylindro parabolique » laboratoire d'énergétique et des procédés thermiques, centre de recherches et des technologies de l'énergie, Tunisie. 2008.
- [39] hakem, s. a., kasbadji–merzouk, n., & merzouk, m. « performances journalières d'un chauffe-eau solaire ». Revue des énergies renouvelables cicme, 8, 153-162. (2008).

REFERENCES

- [40] Burch, j., Magnuson, l., barker, g., & Bullwinkle, m. « diagnosis of solar water heaters using solar storage tank surface temperature data » (no. nrel/cp-550-45465). national renewable energy lab. (nrel), golden, co (united states). (2009).
- [41] Mohammed, m. n., alghoul, m. a., abulqasem, k., Mustafa, a., glaisa, k., ooshaksaraei, p., & sopian, k. trnsys « Simulation of solar water heating system in Iraq ». recent researches in geography, geology, energy, environment and biomedicine, 153-156. (2011).
- [42] sahnoune, f., belhamel, m., & zelmat, m. « Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe-eau solaire pour deux sites algériens », Revue des énergies renouvelables, 14,481-486. (2011).
- [43] recep yumrutas, mazhar ünsal « energy analysis and modeling of a solar assisted house heating system with a heat pump and an underground energy storage tank» solar energy, pp 983–993 (2014)
- [44] c. Lauterbach, b. Schmitt, k. vajen « system analysis of a low-temperature solar process heat system » ScienceDirect, pp 117–130 (2013)
- [45] martín picón-núñez et al, « design of solar collector networks for industrial applications » ,2014
- [46] yuechao denga, yaohua zhaoa, zhenhua quana, tingting zhu « experimental study of the thermal performance for the novel flat plate solar water heater with micro heat pipe array absorber » The department of building environment and facility engineering, the college of architecture and civil engineering, Beijing university of technology, no.100 pingleyuan, Chaoyang district, Beijing 100124, China
- [47] weishi dengjianlin yu « simulation analysis on dynamic performance of a combined solar/air dual source heat pump water heater » energy conversion and management volume 120, 15 July 2016, pages 378-387
- [48] y. Chaudhary, Bharat kalamkar, prashant patel, « CFD analysis of evacuated tube heat pipe solar water heater », international journal of latest technology in engineering, management & applied science, volume vi, issue vs, may 2017.
- [49] c. wannagosit, p. sakulchangsatjatai,n.kammuang-lue,p.terdtoo « validated mathematical models of a solar water heater system with thermosyphon evacuated tube collectors » September 2018, pages 528-536
- [50] mohamed lazreg ,touhami baki ,driss nehari « effect of parameters on the stratification of a solar water heater » icreec 2019 (pp.117-125)
- [51] soumya mandal ,subir kumar ghosh « experimental investigation of the performance of a double pass solar water heater with reflector » renewable energy 149 (2020) 631e640.

REFERENCES

- [52] bijan darbari ,saman rashidi « thermal efficiency of flat plate thermosyphon solar water heater with nanofluids » journal of the Taiwan institute of chemical engineers volume 128, November 2021, pages 276-287
- [53] fuller raj «solar drying- a technology for sustainable agriculture and food production » solar energy convers photoenergy syst 2000.
- [54] mustayen agmb, mekhilef s, saidur r. « performance study of different solar dryers » a review. renew sustain energy rev 2014; 34:463–70.
- [55] mehrdadi n, joshi sg, nasrabadi t, hoveidi h. « application of solar energy for drying of sludge from pharmaceutical industrial waste water and probable reuse » int j environs res 2007,1:42–8.
- [56] kabeel ae, hamed mh, omara zm, kandeal aw « solar air heaters: design configurations, improvement methods and applications » detailed review. renew sustain energy rev 2016; 70:1189–206.
- [57] celuppi r, scapinello j, andrade fgd, revello jhp, magro jd. « Solar energy use for water pre-heating in boilers of agro-industries » .34 2014; 2014. p. 451–60.
- [58] haagen martin, christian, zahler, zimmermann elke, al-najami mahmoud mr. « Solar process steam for pharmaceutical industry in Jordan ». energy procedia 2015; 70:621–5
- [59] valenzuela l, hernández-lobón d, zarza e. « sensitivity analysis of saturated steam production in parabolic trough collectors ». energy procedia 2012; 30:765–74.
- [60] paull re, hollyer j, nakamura-tengan l, shimabuku r, paull re. « solar pasteurization of fruit and vegetable wash water ». report submitted by:1–3; 2007.
- [61] rabab z, hafiz a, nasir a, muhammad a, zia ul h. « fabrication and performance study of a solar milk pasteurizer ». pak j agric sci 2009; 46:162–8.
- [62] osama bm, robert a. « solar thermal sterilization: a trnsys performance analysis ». 2012.
- [63] Solar Process Heat (SO-PRO), 2014. SO-PRO Pilot Projects. URL:
« http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/SoPro/Installations/WP5_second_status_reports_pilot_projects_fin_exkl.pdf »
- [64] F.a. Peuser« große solaranlagen zur trinkwassererwärmung. in: bine themen info iii. 2002
- [65] Götze, u., Northcott, d. Schuster, p., 2008. « Investment appraisal - methods and models » springer berlin, Germany.