REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou.

Faculté de génie de la construction.

Département de génie mécanique.

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel en génie mécanique.

Option : Énergétique.

Spécialité : Énergies Renouvelables.

Thème

Étude technico-économique d'une installation de chauffe-eau solaire à usage industriel

Promoteur :

Mr. K. KACI.

Co-promoteur :

Mr. M S. BOUTOUDJ.

Réalisé par:

Ghilas BECHA.

Salah BEN CHABANE.

2013/2014

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement Monsieur KACI Karim, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur BOUTOUDJ Med Said, Co-promoteur.

Nous voudrions remercier tout le personnel du centre de développement des énergies renouvelables qui a très aimablement collaboré dans la réalisation de cette tâche, essentiellement Monsieur BAHRIA .S et Madame SAMI S.

Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à monsieur le président du jury et à messieurs les membres du jury, qui ont eu la gentillesse de lire et de corriger ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.

À mes très chers parents.

À mon cher frère.

À mes chères sœurs.

A mon Oncle BELKACEM qui est parti trop tôt, et qui me conseillait et m'encourageait toujours dans tous mes projets.

Qu'il repose en paix et que dieu l'accueille dans son paradis.

À toute la famille BECHA.

À mes très cher(es) ami(es).

Je tiens à dédier ce travail à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin en particulier mon binôme et sa famille.

Ghilas.

À mes très chers parents.

À ma chère sœur et à mon beau-frère.

À mes chers cousins et cousines.

À toute la famille BEN CHABANE.

À mes très cher(es) ami(es).

Je tiens à dédier ce travail à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin en particulier mon binôme et sa famille.

Salah

TABLES DES MATIERES

NOMENCLATURE
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
INTRODUCTION GENERALE……..……..01
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART ET PROBLEMATIQUE
Introduction……...02
Chauffage d'eau solaire …….…...02
Conclusion …….……...04
CHAPITRE 2 : ETAT DES LIEUX DU THERMIQUE DANS LE MONDE ET EN ALGERIE
2.1 Introduction ……05
2.2 La consommation mondiale par secteur d'activité…….….05
2.3 La capacité du solaire thermique au niveau mondial …….……06
2.3.1 Développement du marché solaire thermique mondial ...…….……...…….....…07
2.3.2 Répartition de la capacité installée par type de capteurs……...…….08
2.4 Potentiel du solaire thermique dans les processus industriels ……..…09
2.4.1 Le solaire thermique dans les applications industrielles …….09
2.4.2 La demande de chaleur industrielle par niveau de température ……..……....09
2.4.3 Le niveau de température des différents processus des secteurs industriels …….....10
2.5 La consommation d'énergie thermique par secteur d'activité en Algérie….....11
2.5.1 Consommation du secteur de l'industrie et du BTP en Algérie……..……..…..….11
2.5.2 Consommation du secteur de l'industrie manufacturière par secteur d'activité …….13
2.5.3 Consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire par forme d'énergie…....13
2.6 Le potentiel d'énergie solaire en Algérie……..……..14
2 .7 Généralité sur les installations solaire……15
2.8 CONCLUSION……...21
CHAPITRE 3 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION
3.1 Introduction ……22

TABLES DES MATIERES

3 .2 Dimensionnement thermique de l'installation ……..22

3.2.1 Dimensionnement sous MATLAB……..…22

3.2.2 Dimensionnement sous SOLO……...…..…….27

3 .3 CONCLUSION …….36

CHAPITRE 4 RESULTATS ET DISCUTIONS

4.1 INTRODUCTION ……...…..37

4 .2 ETUDE THERMIQUE……..37

4.2.1 Présentation de TRNSYS ……..……..……37

4.3.2 Simulation ……..……..…..……38

4.3.3 Résultats et discussions ……..……..……...40

4.3 Etude économique……...44

4.3.1 PRESENTATION DU LOGICIEL RETSCREEN ……...…….....….44

4.3.2 Etude de cas ……..……...45

4.4 Conclusion ……...……..51

CONCLUSION GENERALE……....53

ABREVIATIONS

Al	Représente les autres auteurs.
CDER	Centre de Développement des Energies Renouvelables
MTEP	Million de Tonne Equivalent de Pétrole
IEA	Agence Internationale de l'Energie
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
ISMME	Industrie de Sidérurgie, Métallurgie, Mécanique et Electricité
ECS	Eau Chaude Solaire
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie- France
SOLO	Logiciel de calcul
GES	Gaz à Effet de Serre
CES	Chauffe Eau Solaire
PNR	Projet National de Recherche
TSV	Temps Solaire Vrai

NOMENCLATURE

Symbole	Signification	Unité
$\mathbf{U_g}$	Coefficient des pertes globales	$[W.m^{-2}.°C^{-1}]$
$\mathbf{F_r}$	Facteur caractérisant les pertes thermiques du capteur	/
Ta	Température mensuelle moyenne ambiante	[°C]
Ts	Température de stockage	[°C]
$\dot{Q}_u$	L'énergie utile récupérée par un capteur solaire	W
$\mathbf{Q_s}$	Pertes thermiques de la cuve de stockage et des conduites de raccordement	W
$\mathbf{Q_s}$	Energies utile du fluide caloporteur	W
$\mathbf{Q_x}$	Energies auxiliaire	W
$\mathbf{Q_L}$	Besoins calorifique du chauffage	W
Tr	Température de réseau	[°C]
Td	Température diurne	[°C]
t1	la première heure du jour considéré	[hr]
t2	la dernière heure du jour considéré	[hr]
τ	Transmissivité du vitrage	/
α	Absorptivité de l'absorbeur dans le spectre visible	/
Bes	Besoins journaliers en eau chaude	[Litre]
Cp	Capacité calorifique de l'eau	$[J.Kg^{-1}.K^{-1}]$
Ac	Surface du capteur	m²
B	Rendement optique du capteur	%
F	Fraction solaire	%
K	Coefficient des pertes global de l'installation	[W/m².°C]
	Puissance de l'échangeur	[W]
$\mathbf{Q_{v\ capteur}}$	Débit qui circule dans le capteur	[Kg /s.m²]
Nc	Nombre de capteur total	/
X , Y	Deux nombres sans dimension	/

Liste des tableaux

Tableau. 2.1 Les secteurs industriels et les processus utilisés classés selon le niveau de température utilisée…… ……...……...10
Tableau. 2.2 Potentiel solaire en Algérie pour différentes régions.....……...…..15
Tableau. 3.1 Les principales données d'entrées de ce logiciel SOLO……...…..……..31
Tableau. 3.3 Performance thermique de l'installation……...……...33
Tableau. 3.4 Résultat de la simulation…….35

Liste des figures

Figure. 2.1 Répartition par secteur d'activité de la consommation finale mondial et du secteur de l'industrie par forme d'énergie……...…..06
Figure. 2.2 Répartition du marché mondial des installations solaires thermiques……..…..07
Figure. 2.3 Répartition de la capacité installée par type de capteurs……...….08
Figure. 2.4 Part de demande de chaleur industrielle par niveau de température……..…09
Figure. 2.5 Répartition par forme d'énergie de la part de la consommation du secteur de l'industrie et du BTP……..…….11
Figure. 2.6 Répartition par branches d'activité ……12
Figure. 2.7 La consommation par type d'énergies du secteur industriel…….……12
Figure. 2.8 Part de la consommation du secteur de l'industrie manufacturière……13
Figure. 2.9 Part de la consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire (évaluée en 2010 à 0.471 MTEP) par forme d'énergie ……...14
Figure. 2.10 Irradiation solaire moyenne reçue sur le territoire Algérien (kWh/m2 par jour)……15
Figure. 2.11 Chauffe-eau solaire sans échangeur……....15
Figure. 2.12 Chauffe eau solaire avec échangeur placé sur le circuit primaire……...16
Figure 2 .13 Chauffe-eau solaire avec échangeur le circuit secondaire…….17
Figure 2.14 Chauffe-eau solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve…….18
Figure 2.15 Raccordement des capteurs série……..19
Figure 2.16 Raccordement des capteurs parallèles…….19
Figure 2.17 Raccordement en boucle Tickelman…….20
Figure 2.18 Orientation et inclinaison des capteurs…….20

Figure 3.1 Interface du logiciel…….29
Figure 3.2 Présentation des températures…….32
Figure 3.3 Irradiations solaires mensuelles……..34
Figure 3.4 Evolution des besoins mensuels…… 34
Figure3.5 Apports solaires mensuels ……..……...…35
Figure 4.1 Exemple d'un assemblage TRNSYS…….…….38
Figure 4.2 Modèle du système du TRNSYS……..……..39
Figure 4.3 Quelques résultats de la simulation……...… .40
Figure 4.4 la température de sortie du champ pour le et le rayonnement 21Mars.…….....41
Figure 4.5 La température de sortie du champ et le rayonnement du 21 juin…….……..42
Figure 4.6 La température de sortie du champ et le rayonnement du 21 Septembre……....43
Figure 4.7 La température de sortie du champ et le rayonnement du de 21 Décembre...…….44
Figure 4.8 Données météorologiques de la NASA pour Alger…….…....46
Figure 4.9 Evaluation de la température ambiante pendant l'année…….47
Figure 4.10 Evaluation du rayonnement solaire pendant l'année…….47
Figure 4.11 Flux monétaires cumulatifs……51

L’énergie est un moyen indispensable dans l’économie mondiale. La croissance des pays développés est fondée sur un modèle de forte consommation d’énergie.

Les énergies renouvelables sont inépuisables, propres et peuvent être utilisées de manière autonomes. Elles présentent en outre l'avantage additionnel de se compléter entre elles.

L’Algérie, grâce à sa situation géographique, occupe une position privilégiée dans l’exploitation de l’énergie solaire avec une durée d’ensoleillement moyenne de 3000 heures /an, est parmi les potentiels les plus élevés au monde.

Le pays, ayant conscience de l’enjeu de la croissance de la consommation énergétique, œuvre par le biais des centres de recherche, les universités et d’autres, pour avancer la recherche et pousser les investissements dans ce domaine. En prenant comme exemples le programme national de recherche et le programme triennal d’efficacité énergétique « 2011-2013 » qui émanent eux mêmes du programme national des énergies renouvelables et d’efficacité énergétique, adopté par le Conseil des Ministres en février 2011, qui viennent pour encourager le développement des énergies renouvelables en Algérie.

L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire et industriel, pour le chauffage des habitations, des piscines, des serres, est une des meilleures applications de cette énergie dans ce cadre ; l’installation des chauffages solaires à grande échelle est l’une des diverses solutions qui répondent à l’objectif de notre travail qui est l’étude d’une installation de chauffage solaire industriel.

Notre étude comporte essentiellement sur quatre chapitres ; le premier chapitre sera consacré à l’état de l’art et problématique. Le deuxième chapitre portera sur l’état des lieux du thermique dans le monde et en Algérie. Le troisième chapitre consistera à dimensionner le système de chauffage d’eau solaire. Le quatrième chapitre sera consacré à la simulation des performances de notre installation sur le logiciel TRNSYS ainsi qu’à l’étude économique de l’installation sur le logiciel RETSCREEN. Une conclusion générale achèvera le présent manuscrit.

1.1 INTRODUCTION

Dans ce premier chapitre nous allons citer les principaux travaux réalisés dans le monde, au Maghreb et en Algérie en ordre chronologiques sur les différentes installations de chauffage collectif et industriel pour la production d'eau chaude sanitaire.

1.2 CHAUFFAGE D'EAU SOLAIRE

Parmi les travaux scientifiques portant sur les performances des installations solaires en Algérie et dans le Monde, citons en ordre chronologique :

En 2014 [1], M. Picón-Núñez et al, ont réalisé une étude sur la conception des configurations la plus approprié de capteurs solaires pour les applications industrielles.

En 2013 [2], C. Lauterbach et al, ont analysé des systèmes à basse température d'un processus solaire à chaleur.

En 2012 [3], 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.

La même année [4], R.Kharchi du CDER, a réalisé une simulation dynamique du comportement thermique et énergétique pour des logements pour le site d'Alger sous TRNSYS.

La même année [5], M.Calderoni et al, réalisaient une étude sur une nouvelle politique de faisabilité économique d'une centrale thermique solaire pour la production de chaleur industrielle au centre méditerranéen d'énergie renouvelable en Tunisie.

La même année [6], A. Bouakaz de l'université de Batna, a réalisé une étude sur le potentiel d'énergie solaire thermique utilisé pour la production de l'eau chaude dans l'industrie agro-alimentaire.

En 2011 [7], E. Taibia et al, ont évalué le potentiel des énergies renouvelables dans les applications industrielles dans le monde.

.**La même année [8]**, C. Dorra [13] a réalisé une étude de simulation sous TRNSYS d'une installation solaire collective pour le chauffage de l'eau sanitaire, à l'école national d'ingénieurs de Monastir en Tunisie.

En 2010 [9], R.J. Fuller a réalisé une étude de comparaison du chauffage solaire de processus industriel en Australie.

La même année [10], B. Boutaghriout et al de l'université de Batna, ont réalisé une étude préliminaire du potentiel de production d'eau chaude par capteurs plans solaires pour une application industrielle dans la région des Hauts plateaux.

EN 2008 [11], N. Govind et al, ont conçu des systèmes solaires thermiques utilisant le stockage de l'eau chaude sous pression pour applications industrielles.

En 2007 [12], D. Blandin et al, réalisent une étude sur la stratification dans les ballons d'eau chaude solaires à Montréal.

EN 2006 [13], N. Govind et al, ont réalisé une étude pour la détermination de l'espace de conception et l'optimisation des systèmes de chauffage d'eau solaire.

En 2003 [14], S. Sami-Mechri et al du CDER [10], ont étudié la rentabilité d'une installation solaire de chauffage d'eau collective appliquée à différents sites algériens.

En 2002 [15], A. Hamid et al du CDER [9], ont étudient et réalisent une installation solaire de chauffage d'eau solaire collectif d'une capacité de 400 litres au centre de développement des énergies renouvelables de Bouzareah.

La même année [16], S. Kalogirou a évalué le potentiel des applications de chaleur de processus industriels solaires et le choix de technologie le plus approprié dans le processus industriel du capteur solaire plan au cylindroparabolique.

En 1996 [17], B. Zaouari, a réalisé une étude technico-économique d'une installation solaire collective pour le chauffage de l'eau sanitaire à l'école national d'ingénieurs de Monastir en Tunisie.

En 1986 [18], le Centre de développement des énergies renouvelables de Marrakech au Maroc, a réalisé une installation de chauffe-eau solaire collective d'une capacité de 2500 litres et une autre installation de 950 litre.

En 1977 [19], S.A Klein et al publient le premier travail sur l'élaboration de la méthode f-chart pour les applications de chauffage solaire.

1.3 PROBLÉMATIQUE :

Le sujet proposé s'inscrit dans le volet recherche-formation introduit par le projet PNR de l'année 2010. Le sujet porte sur l'étude et la réalisation d'une installation à base de capteurs solaires qui doivent fournir, quotidiennement, 4,5 m3 d'eau à la température de 60° C destinés à un processus industriel pour une entreprise sise à Cheraga , spécialisée dans la fabrication d'aromes alimentaires. Les puisages sont repartis selon des horaires précis conformes au processus industriel (l'installation sera réalisée même en dehors du PNR).

1.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, l'essentiel des travaux ayant une relation directe avec notre sujet a été présenté en Algérie, au Maghreb et dans le Monde. En effet les principaux travaux sur le calcul des performances des installations solaires individuelles et collectives ou industrielles ont été cités. Dans ce projet, nous nous intéressons à l'étude technique et économique d'une installation de chauffage d'eau solaire à usage industriel.

2.1 INTRODUCTION :

Après les bâtiments d'habitation, le solaire thermique part à la conquête des applications industrielles. Grâce aux capteurs sous vide et aux systèmes cylindro-paraboliques actuels, il est possible d'atteindre des températures de travail plus élevées que celles utilisées dans des processus industriels. Les premières installations sont en service en Suisse. Leur utilisation entraîne une réduction de la consommation d'électricité et d'énergies fossiles ainsi que des émissions de CO2.

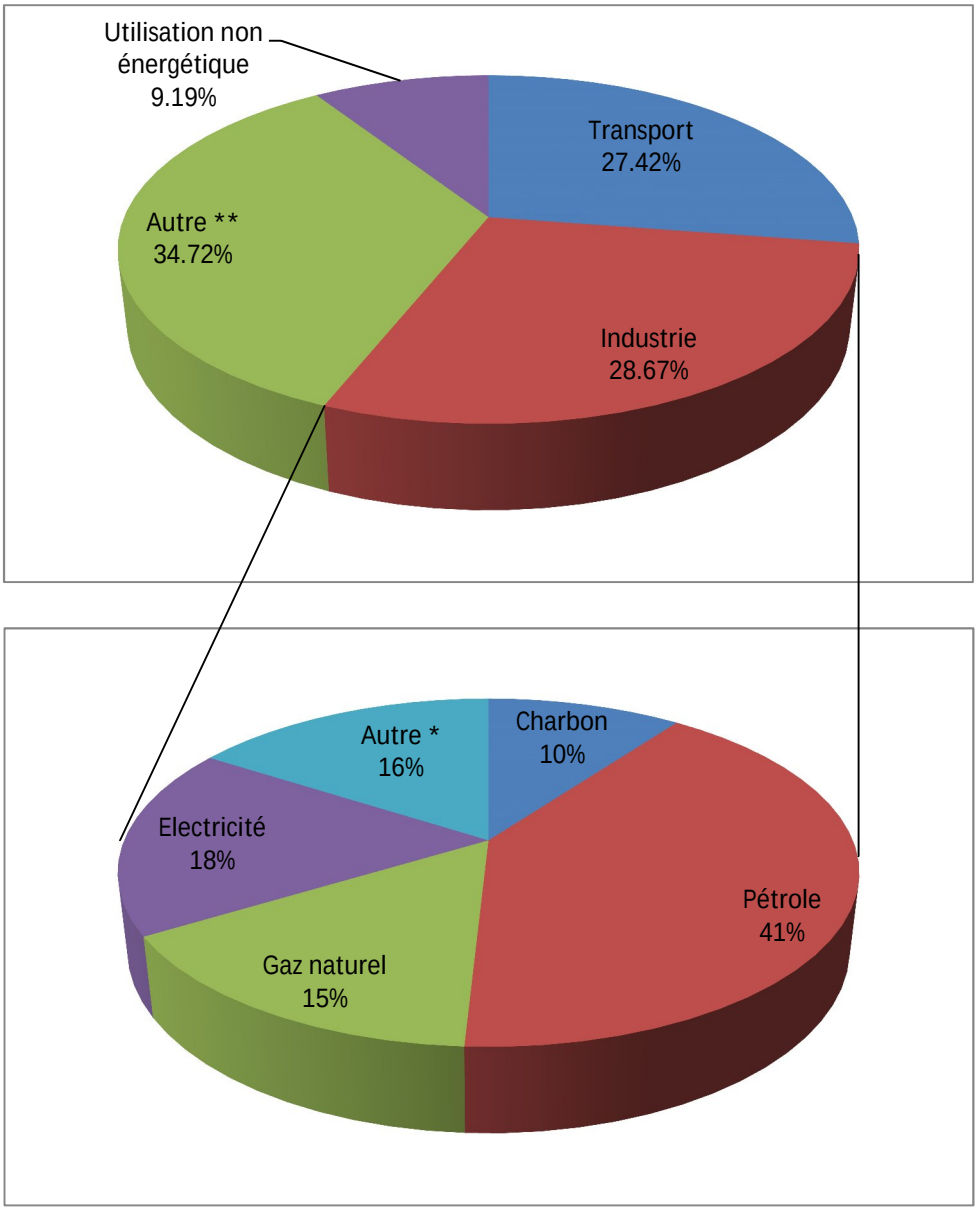
2.2 ETAT DES LIEUX DU THERMIQUE SOLAIRE

DANS LE MONDE

2.2.1 LA CONSOMMATION MONDIALE PAR SECTEUR D'ACTIVITE :

Différents produits énergétiques sont utilisés dans plusieurs secteurs d'activités de l'économie. La consommation finale mondiale par secteur d'activité montrée en figure 2.1 à connue en 2011 une croissance de 47.58% par rapport à 1973, soit une équivalence de 4243.99 MTEP**.** La répartition entre les trois plus grands secteurs consommateurs de l'énergie vient celui des services, habitat et autres avec 34.72% suivi par celui de l'industrie avec 28.67% et en 3ème position, on trouve celui du transport avec 27.42%. Ces trois secteurs sont plus ou moins équilibrés, et l'utilisation non énergétique est de 9.19% seulement [20].

La consommation du secteur de l'industrie est passée de 1545.32 MTEP en 1973 à 2556.74 MTEP en 2011 soit une augmentation de 39.55%, et la répartition de cette consommation par types d'énergie montre que trois produits ont pris une large part de cette dernière : le pétrole avec 40.74% suivi par l'électricité avec17.74% puis par le gaz naturel avec 15.47% de la consommation total du secteur, et par le charbon avec 10.12%. [20] comme le montre aussi la figure 2.1



* (géothermique, solaire, éolienne, électricité et chaleur, etc.)

** (agriculture, commerciale et services public)

Figure. 2.1 Répartition par secteur d'activité de la consommation finale mondial et du secteur de l'industrie par forme d'énergie.

2.3 LA CAPACITE DU SOLAIRE THERMIQUE

L'énergie solaire thermique installée dans le monde fin de 2009 était de 172.4 GWth, soit une surface équivalente d'environ 246.2 millions de mètres carrés [21]. Entre 2007 et 2008, la progression du marché a été légèrement moins soutenue avec une croissance d'environ 15 %.

En 2010, le marché européen du solaire thermique s'est élevé à 2,6 GW, soit une surface de capteurs de 3,69 millions de mètres carrés [22].

En Algérie quelques installations ont été réalisées au niveau de la gendarmerie nationale, des complexes touristiques, de l'aéroport d'Alger, chez des particuliers et dans des centres de formation et de recherche. La surface de captation des chauffe-eau solaires installés jusqu'à présent à travers le territoire national n'atteint pas les 3000 m² ce qui est négligeable par rapport aux mètres carrés installés dans le monde [23].

2.3.1 DEVELOPPEMENT DU MARCHE SOLAIRE THERMIQUE

La répartition du marché mondial des installations du solaire thermique en 2009, selon l'étude réalisée par l'Agence Internationale de l'Energie (IEA), comme le représente la figure 2.2 , fait ressortir que la Chine est largement en tête des pays producteurs de chaleur d'origine solaire avec 101.5GWth, l'Europe 32.5GWth et les (Etats unis +Canada) avec une capacité de 15GWth; sur la capacité totale installée, ces pays représentent 86.4%. [6]

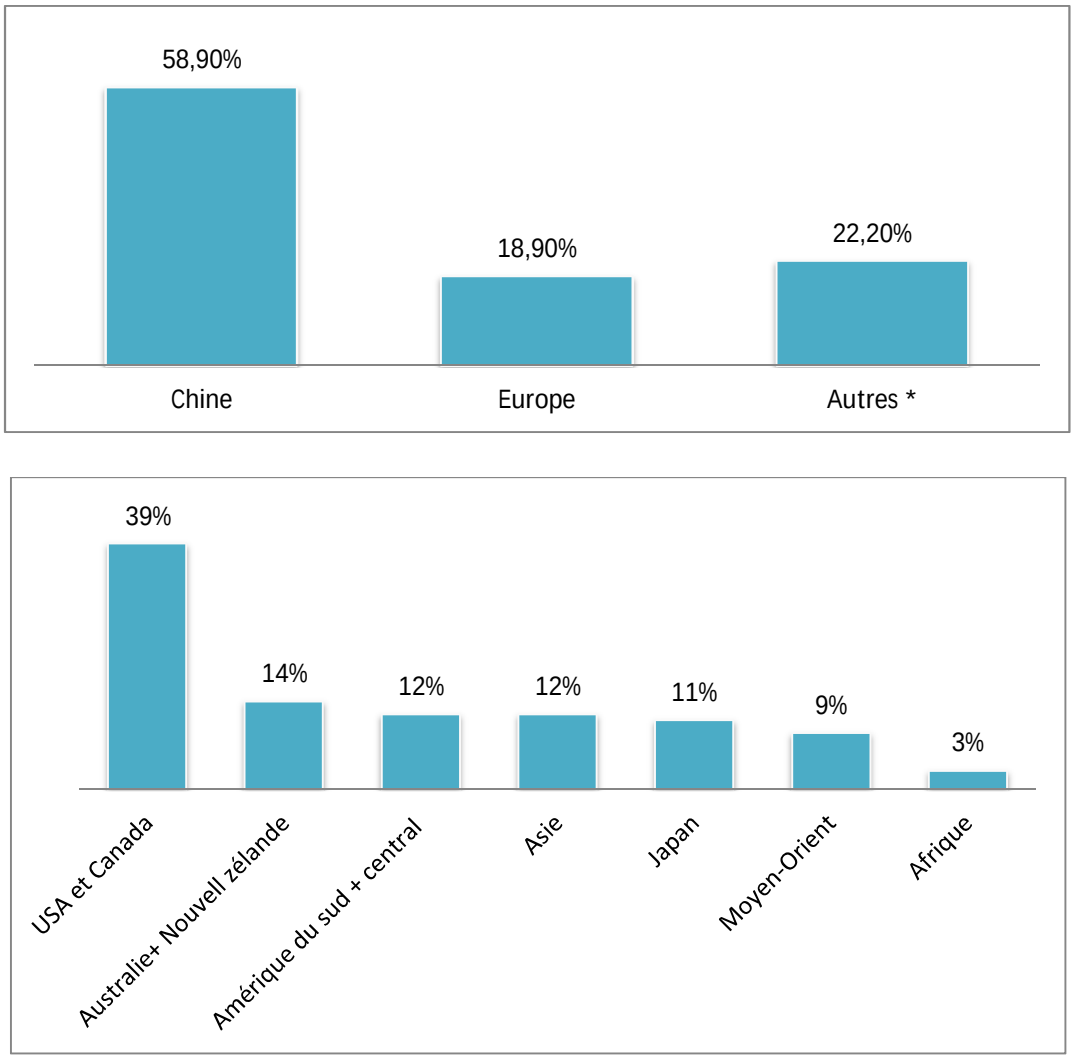


Figure. 2.2 Répartition du marché mondial des installations solaires thermiques

Le reste du marché est partagé entre l'Australie et la Nouvelle Zélande 5.2 GWth, les pays de l'Amérique du sud et centrale 4.7GWth, les pays asiatiques : l'Inde, la Corée du Sud, Taïwan et la Thaïlande (4,6 GWth), le Japon (4,3 GWth), le Moyen-Orient (3,5 GWth) et quelques pays africains (1,1 GWth), à savoir la Namibie, l'Afrique du Sud, la Tunisie et le Zimbabwe. L'ESTIF, la Fédération des Industriels Européens du solaire thermique, estime que le parc solaire thermique atteindra une puissance installée de 320 000 MW à l'horizon 2020, soit une surface équivalant à 450 millions de mètres carrées [6].

2.3.2 REPARTITION DE LA CAPACITE INSTALLEE PAR TYPE DE CAPTEURS :

Avec une puissance totale de 172.4 GWth installée dans le monde, la répartition par type de capteur fait ressortir en première position les capteurs plans et des capteurs à tubes sous vide avec une capacité de 151,1 GWth, suivis par les capteurs non vitrés en plastique avec 19,7 GWth et par les capteurs à air avec 1.2GWth [25]. (figure 2.3)

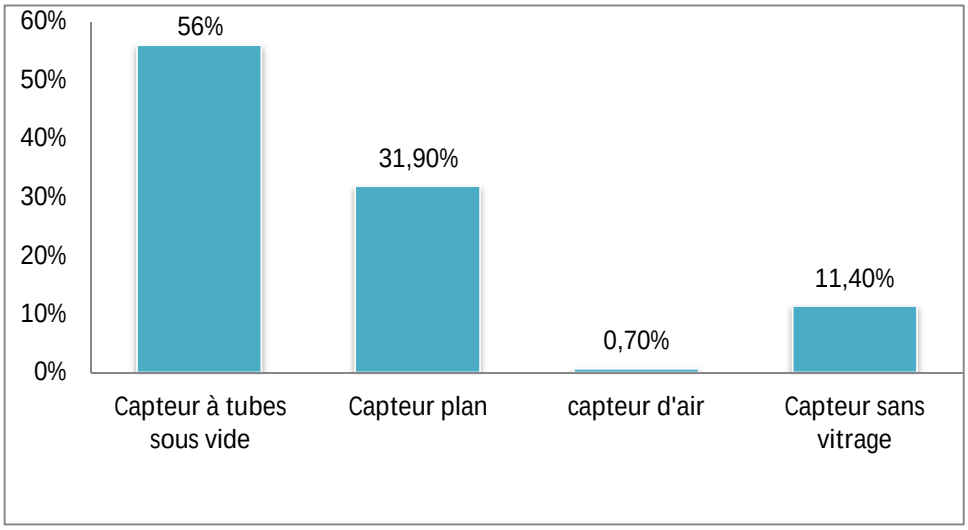


Figure. 2.3 Répartition de la capacité installée par type de capteurs

2.4 POTENTIEL DU SOLAIRE THERMIQUE DANS LES PROCESSUS INDUSTRIELS :

2.4.1 LE SOLAIRE THERMIQUE DANS LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES :

Contrairement au secteur de l'habitat individuel où le solaire thermique se développe fortement aujourd'hui, l'habitat collectif, le tertiaire et l'industrie restent cependant moins important. [26]

La capacité solaire thermique installée en 2006 pour la production de la chaleur dans les processus industriels était de 25 TWth, ce qui représentait 0.02% de la capacité totale solaire thermique installée dans le monde. [26]

Actuellement environ 90 installations solaires thermiques en fonctionnement pour la production de la chaleur dans les processus industriels sont rapportées dans le monde, avec une capacité totale d'environ 25 MWth soit une surface équivalente d'environ 35000 mètres carrées [26]**.**

2.4.2 LA DEMANDE DE CHALEUR PAR NIVEAU DE TEMPERATURE :

La répartition de la demande de chaleur industrielle par la gamme de température, montre (figure. 2.4) que 30% de la demande est prise par les températures en-dessous de 100°C, 27% entre 100 et 400°C et enfin, 43% au dessus de 400°C [27].

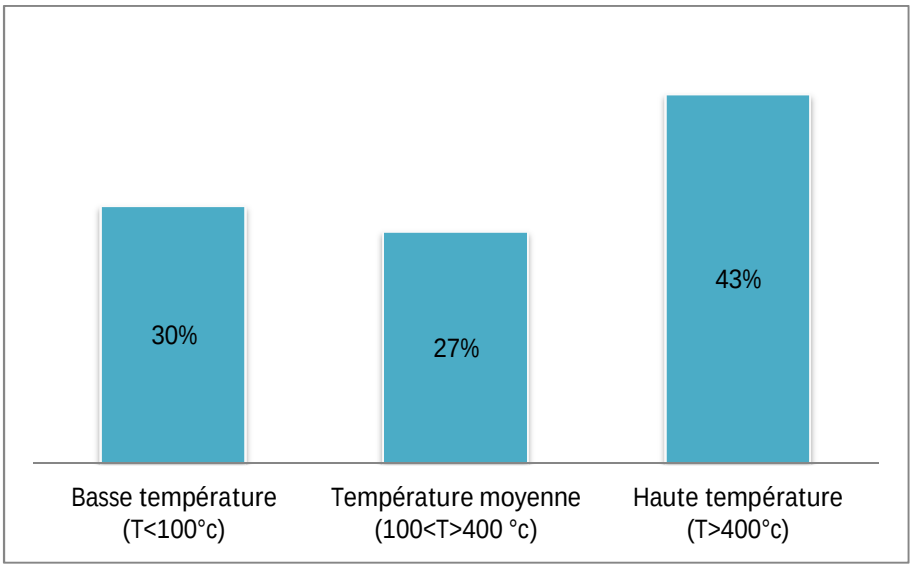


Figure. 2.4 Part de demande de chaleur industrielle par niveau de température

2.4.3 LE NIVEAU DE TEMPERATURE DES DIFFERENTS PROCESSUS DES SECTEURS INDUSTRIELS :

Le tableau. 2.1 montre que les domaines les plus importants pour la chaleur solaire sont dans les industries des aliments et boissons, les industries textiles et chimiques, et pour de simples procédés de nettoyage, par exemple le lavage. La raison pour cela est due aux basses températures requises pour les processus dans ces secteurs. Le niveau de température qui est exigé dans les processus de la production du secteur de la nourriture et les boissons est entre 30 et 150°C. Entre la plage de température de 30°C-90°C, des capteurs plans sont très efficaces. Le tableau montre également un grand potentiel pour les processus dans la plage de températures moyennes jusqu'à environ 300 ° C [26].

Tableau. 2.1 Représentant les secteurs industriels et les processus utilisés classés selon le niveau de température utilisé.

Secteur industriel	Processus	Niveau de température (°C)
Nourriture et boissons	Sécher	30-90
	Laver	40-80
	Pasteuriser	80-100
	Bouillir	95-105
	Stériliser	140-150
	Traitement thermique	40-60
Industrie textile	Laver	40-80
	Blanchir	60-100
	Teindre	100-160
Industrie chimique	Bouillir	95-105
	Distiller	110-300
	Divers procédés chimiques	120-180
Tous les secteurs	Préchauffage de l'eau d'alimentation de chaudière	30-100
	Chauffage des halls de production	30-80

EN ALGERIE

2.5 LA CONSOMMATION D'ENERGIE PAR SECTEUR D'ACTIVITE

La répartition par secteur d'activité représentée en figure 2.6, montre que celui des ménages et autres consomme 40 % de la consommation finale, le reste est réparti entre le secteur des transports (35 %) et le secteur de l'industrie et du BTP avec 25 %. Dans ce groupe de consommation, le secteur des ménages et autres a connu une baisse de 1,9 % passant de 12.653 MTEP en 2009 à 12.415 MTEP en 2010. Celui des transports a connu une croissance de 3,2 % pour atteindre11.215MTEP en 2010. Enfin, le secteur de l'industrie et du BTP a atteint 8.019 MTEP en2010 contre 7.382 MTEP en 2009. [28]

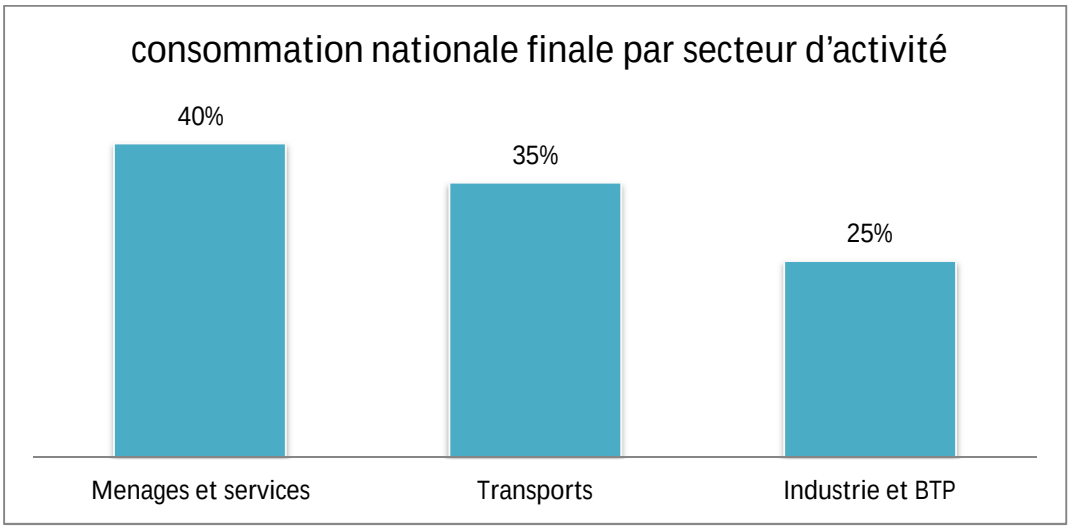


Figure. 2.5 Répartition par forme d'énergie de la part de la consommation du secteur de l'industrie et du BTP

2.5.1 CONSOMMATION DU SECTEUR DE L'INDUSTRIE ET DU BTP

La répartition par secteur d'activités de la consommation finale montre que celui des matériaux de construction consomme 40%, suivi par le secteur des autres industries avec 24.5%. En troisième lieu, vient le secteur ISMME (Industrie de Sidérurgie, Métallurgie, Mécanique et Electricité) avec 13%, suivi de ce lui du BTP avec 9.8% et de celui de l'industrie manufacturière avec 8.4%. Le secteur de la chimie vient en dernière position avec 4.3%. [28]

Dans ce groupe de consommation, on observe une augmentation de 8.6% dans le secteur des matériaux de construction en 2010. Par ailleurs, d'autres industries ont connu une baisse de 57.8%. Pour le secteur de l'ISMME a connu une augmentation de 1 %. Le secteur de

l'industrie manufacturière a vu une baisse de 16.3%. Le secteur du BTP a connu une augmentation de 24.7%. Le secteur de l'industrie manufacturière a connu une baisse de16.3% passant de 0.801MTEP en 2009 à 0.671 MTEP en 2010. Enfin, le secteur de la chimie a atteint 0.292 MTEP en 2009 contre 0.348 MTEP en 2010 [24]. La figure. 2.6 représente la répartition par branches d'activité de la consommation du secteur de l'industrie et du BTP, évaluée en 2010 à 8.019 MTEP [28]

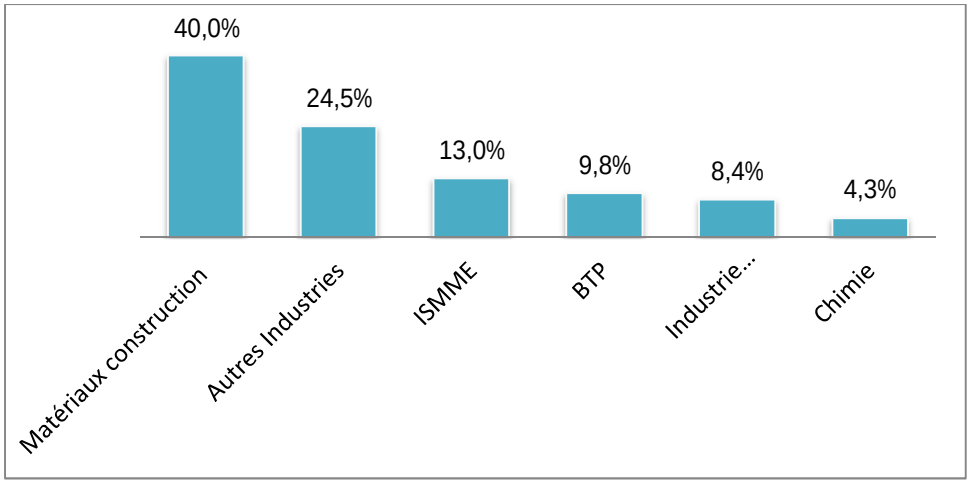


Figure. 2.6 Répartition par branches d'activité

La consommation par type d'énergies du secteur industriel, du bâtiment et des travaux publics fait ressortir le gaz naturel et l'électricité comme les plus prédominants de l'ordre de 40 % chacun, suivi de quelques produits pétroliers et de ses dérives et quelques autres produits comme le montre la figure 2.5. [28]

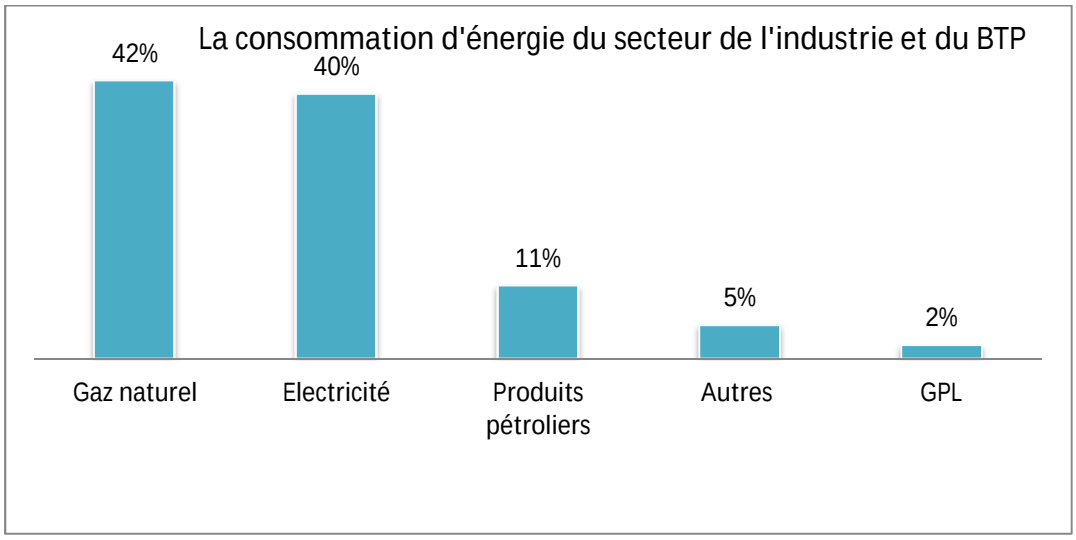


Figure 2.7 : La consommation par type d'énergies du secteur industriel

2.5.2 CONSOMMATION DU SECTEUR DE L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE PAR SECTEUR D'ACTIVITE

La répartition de la consommation du secteur de l'industrie manufacturière par secteur fait ressortir le secteur de l'industrie agroalimentaire le plus important avec 70% suivi par les industries du textile, du cuire, de l'habillement et des verreries avec 15% et 14.5% successivement.

Dans ce groupe de consommation, le secteur de l'agro-alimentaire a connu une baisse de 16.2 % passant de 0.801 MTEP en 2009 à 0.671 MTEP en 2010. Celui des industries du textile, du cuire et de l'habillement atteint 0.103 MTEP en 2010. Le secteur des verreries a connu une baisse de 3.9 % passant de 0.101 MTEP en 2009 à 0.097 MTEP en 2010 [28]. On représente sur la figure. 2.7, la part de la consommation du secteur de l'industrie manufacturière

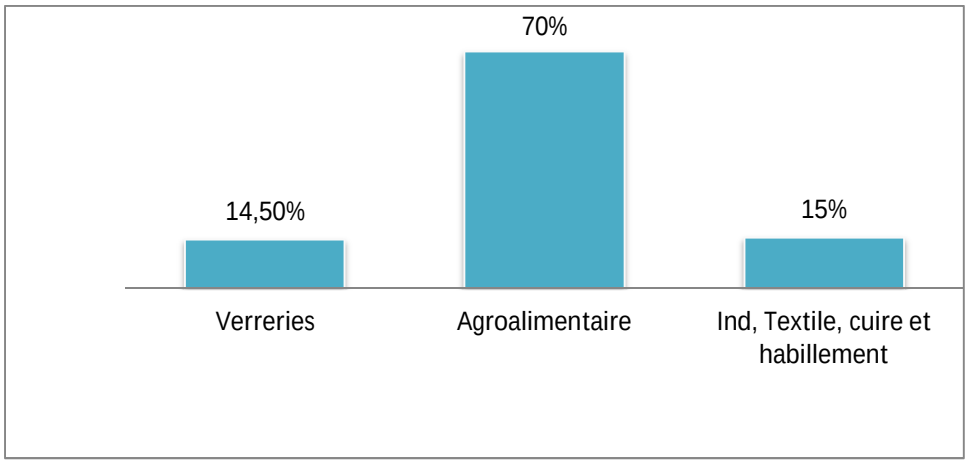


Figure. 2.8 Part de la consommation du secteur de l'industrie manufacturière

2.5.3 CONSOMMATION DU SECTEUR DE L'INDUSTRIE AGRO-ALIMENTAIRE PAR FORME D'ENERGIE

La répartition par produit énergétique de la consommation du secteur de l'industrie agroalimentaire fait ressortir la prédominance des produits énergétiques suivants : l'électricité avec 65.2% et le gaz naturel avec 34.8%. La consommation d'électricité atteint 0.307 MTEP en 2010 alors que le gaz naturel atteint 0.164 MTEP [28], comme le montre la 2.8

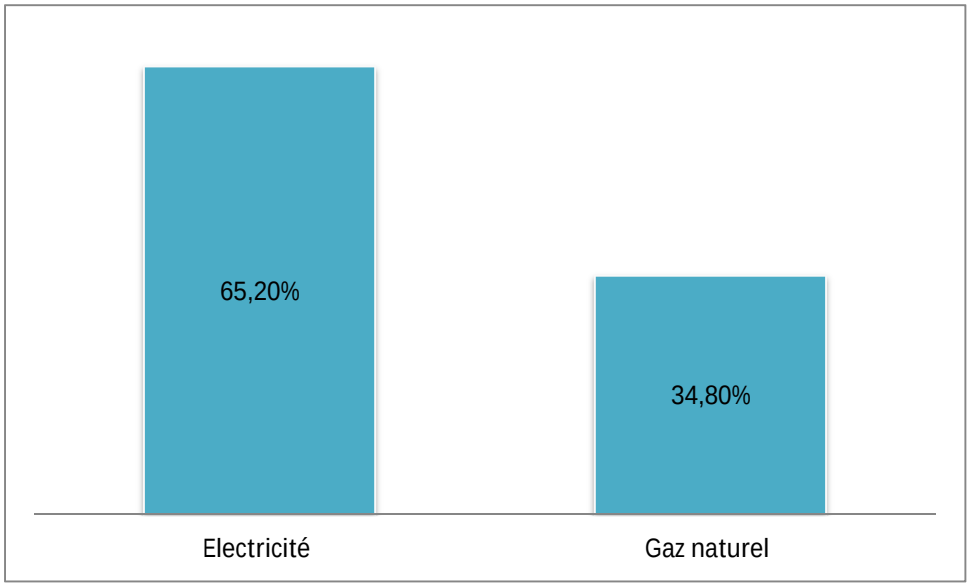


Figure. 2.9 Part de la consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire (évaluée en 2010 à 0.471 MTEP) par forme d'énergie

2.6 LE POTENTIEL D'ENERGIE SOLAIRE EN ALGERIE

L'Algérie occupe une place stratégique vue le gisement dont elle dispose et qui est parmi les plus importants au monde. La durée d'insolation sur la totalité du territoire national dépasse les 2500 heures par an, et peut atteindre les 3900 heures (Sahara). 5 [KWh/m^2] est l'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale. Le potentiel solaire dont l'Algérie dispose pour différentes régions est donné dans le tableau suivant [29].

Tableau 2.2Potentiel solaire en Algérie pour différentes régions

Paramètres	Régions		
	Côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée d'ensoleillement [heures /an]	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue [kWh/m^2/an]	1700	1900	2650

L'énergie solaire moyenne reçue sur le territoire Algérien représenté en figure 2.9 montre que l'Algérie possède un potentiel très important sur plusieurs sites. [29]

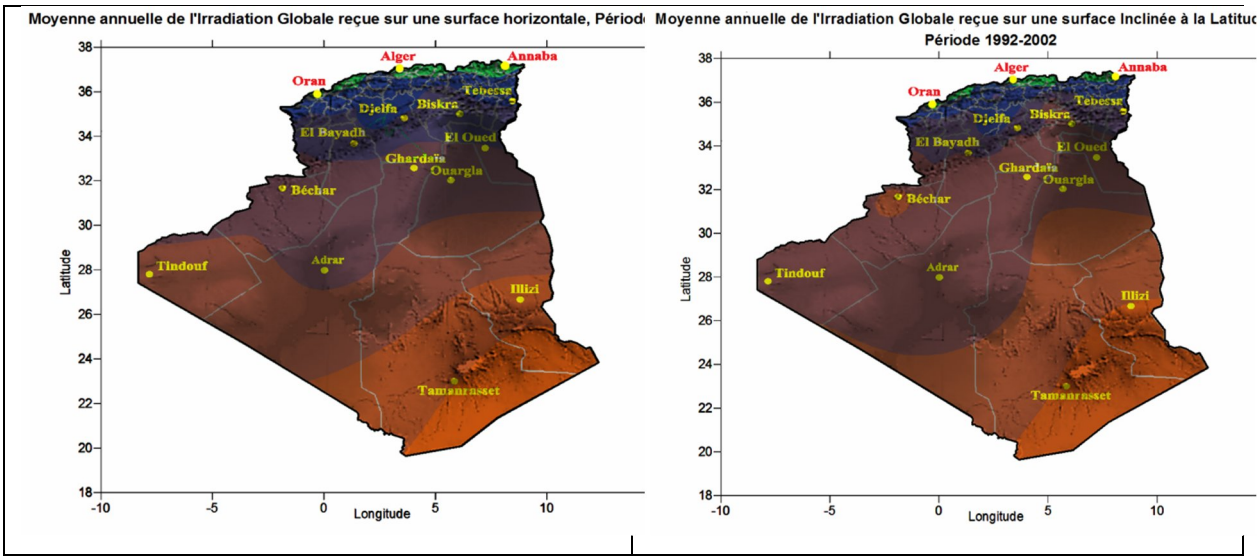


Figure. 2.10 : Irradiation solaire moyenne reçue sur le territoire Algérien (kWh/m2 par jour)

2.3 GENERALITE SUR LES INSTALLATIONS SOLAIRES

2.3.1 DIFFERENT TYPE D'INSTALLATIONS SOLAIRES COLLECTIVES

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

a) 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 2.11.

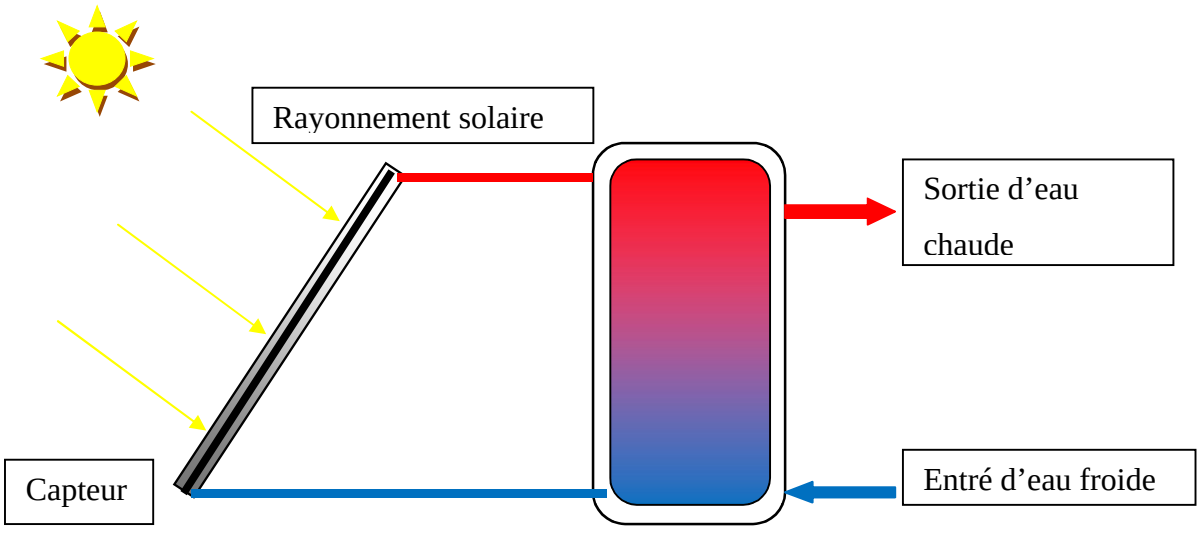


Figure 2.11 : Chauffe-eau solaire sans échangeur

Celui-ci présente des :

Avantages :

- Sa réalisation est très simple.
- Un bon rendement thermique étant donnée l'absence d'échangeur.
- Un coût bas du à l'absence aux deux éléments d'échangeur de chaleur et de fluide antigel.

Inconvénients :

- Risque aux fortes pressions pour la cuve et pour le capteur (pression de réseau).
- Risque de gel dans le circuit

b) Installation solaire à double circuit (avec échangeur)

Il en existe trois différents types.

♦ **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 (2.15).

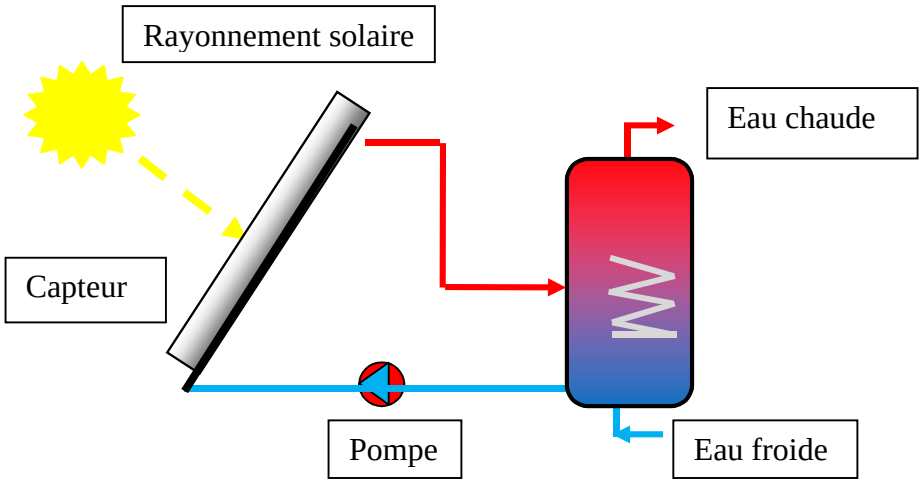


Figure 2.12 : Chauffe eau solaire avec échangeur placé sur le circuit primaire

Ce système présente:

Avantages :

- Le capteur n'est pas soumis à la pression du réseau.
- Une bonne stratification a l'intérieur de la cuve.
- Une quantité relativement réduite d'antigel.

Inconvénients :

- Moins d'énergie calorifique transmise à l'eau dans la cuve.
- Coût élevé à cause de l'échangeur et de l'antigel

♦ **Installation solaire avec échangeur dans 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 2. 16. L'énergie calorifique est transmise à travers l'échangeur qui se trouve à l'intérieur de la cuve.

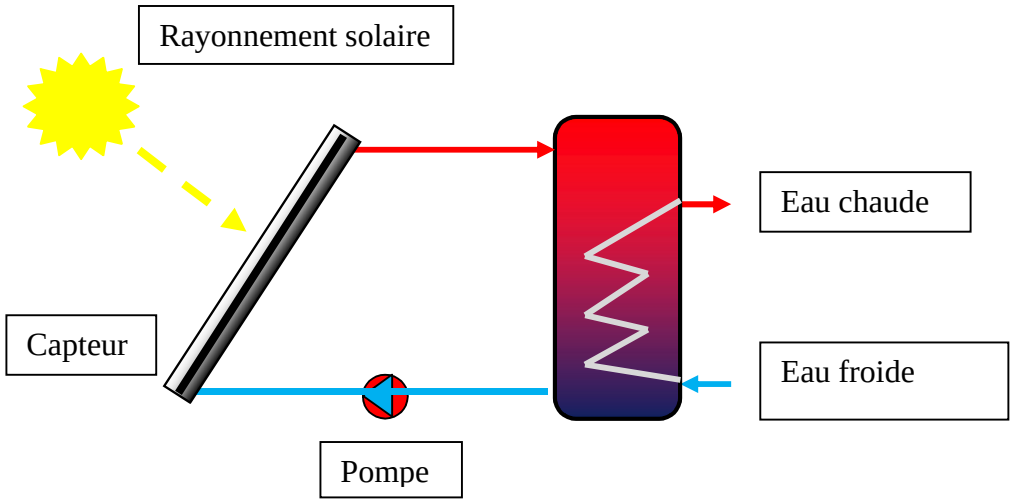


Figure 2 .13: Chauffe-eau solaire avec échangeur le circuit secondaire

Ce système présente des:

Avantages :

- La cuve et le capteur ne sont pas soumis à la pression du réseau.
- Utilisation d'un fluide thermo porteur avec des additifs antigel.

Inconvénients :

- Coût élevé (échangeur - antigel).
- Moins d'énergie calorifique transmise à l'eau.
- Une mauvaise stratification à l'intérieur de la cuve.

b.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'extérieur de la cuve de stockage ; voire figure2.17

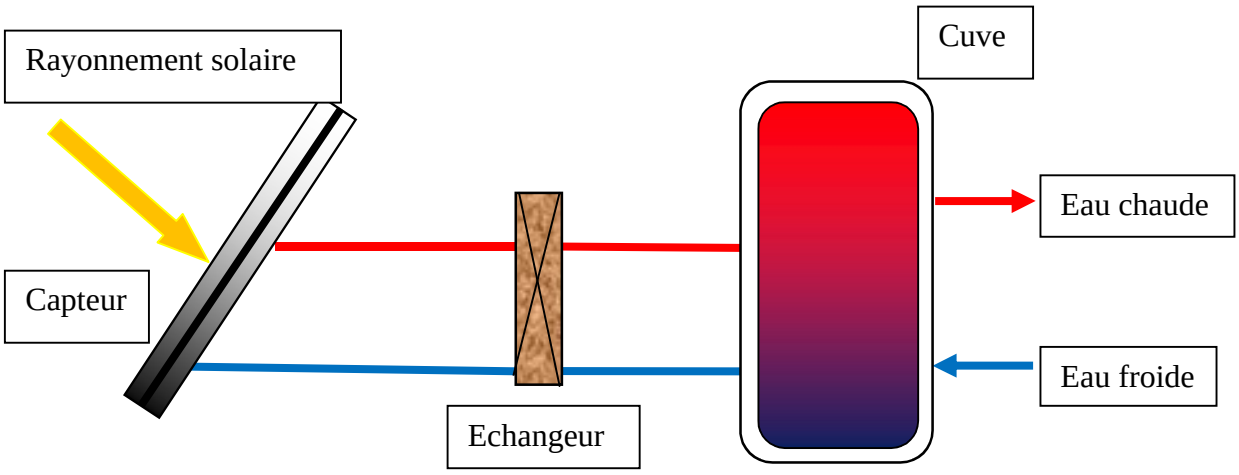


Figure 2.14 : Chauffe-eau solaire avec échangeur à l'extérieure de la cuve

Ce système présente des:

Avantages :

- Utilisation du capteur à basse pression.
- Un bon échange thermique entre l'eau sanitaire et le fluide caloporteur.

Inconvénients :

- Un coût de l'additif antigel important dans le circuit primaire.
- Une installation plus coûteuse et plus complexe.

2.3.2 DIFFERENTS TYPES DE RACCORDEMENTS

Le montage des capteurs peut se faire de plusieurs manières. Pour le même nombre de capteurs, le rendement et la température de sortie sont différents selon la configuration utilisée (en parallèle ou en série).

a) Raccordement en série

Dans ce type de raccordement, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur, comme le montre la figure 2.15. Le raccordement en série permet une montée en température plus importante au prix de pertes thermiques plus importantes ; d'autant plus si l'on travaille avec un faible débit. La montée en température au fil des panneaux en série peut provoquer une diminution du rendement.

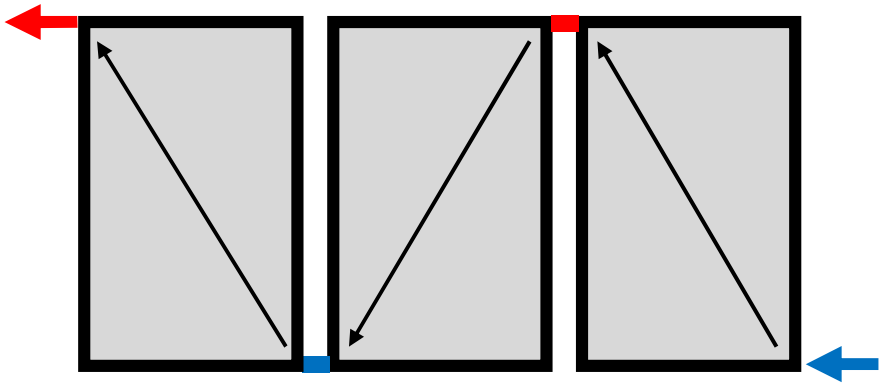


Figure 2.15: Raccordement des capteurs série

b) Raccordement en parallèle

Dans ce type de raccordement, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui traverse le collecteur du coté bas du capteur, alors que l'eau chaude traverse une autre conduite (retour) placée le long du bord en haut du capteur, représenté en figure 2.16. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré pour que le débit du fluide caloporteur soit distribué identiquement dans les autres capteurs.

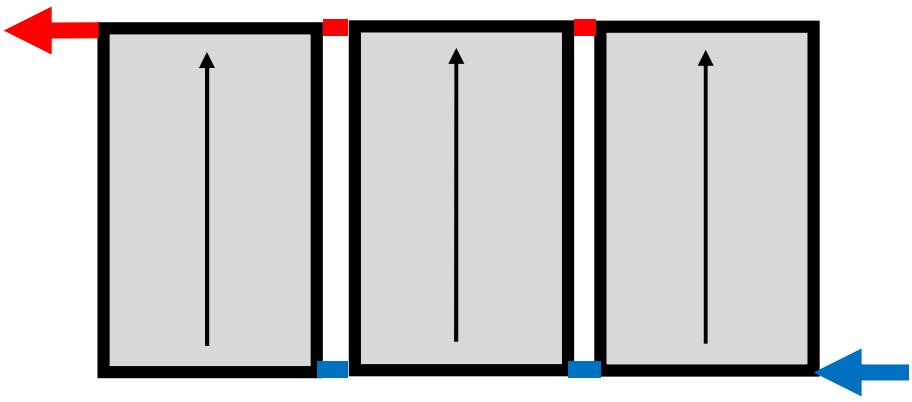


Figure 2.16 : Raccordement des capteurs parallèles

c) Raccordement en boucle de Tickelman

Pour les grandes installations, il est parfois nécessaire de les placer en parallèle puisque l'eau prend toujours le plus court chemin, de manière que tous les chemins soient équivalents. C'est ce que l'on appelle le principe de Tickelman. .

Dans les installations à grande échelle, il est courant de mélanger les techniques d'assemblage : les panneaux sont branchés par groupes, puis chacun de ces groupes est relié en boucle de Tickelman sur le système global ; voire figure 2.17.

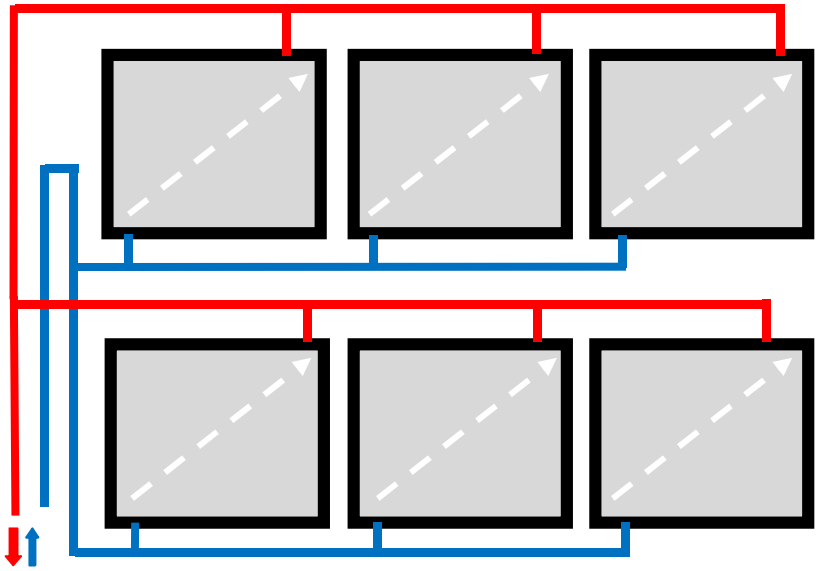


Figure 2.17: Raccordement en boucle Tickelman

2.3.3 ORIENTATION ET INCLINAISON DU CAPTEUR PLAN

Le rayonnement solaire reçu par un capteur solaire varie considérablement en fonction du lieu d'implantation, mais aussi de son orientation, de son inclinaison et de la présence de masques éventuels ; voir figure 2.13.

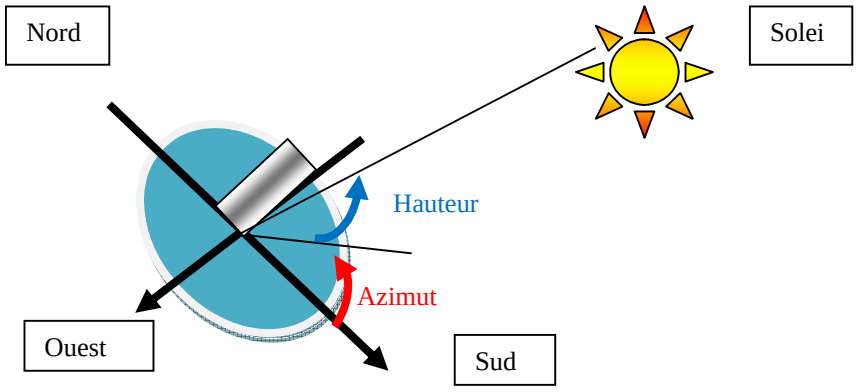


Figure 2.18: Orientation et inclinaison des capteurs

L'orientation sud pour les pays de l'hémisphère nord et une inclinaison à latitude du lieu pour des installations fixes par rapport à l'horizontale assurent les meilleurs rendements. Une variation en inclinaison est recommandée si les capteurs ne peuvent pas être orientés vers le

sud. Un changement en inclinaison est conseillé en période saisonnière + 10° en hiver et – 10° en été.

2.3.4 IMPLANTATION DES CAPTEURS

Dans la pratique on trouve plusieurs types d'implantation :

- Montage au sol.
- Montage sur toiture inclinée
- Posés directement sur la toiture :

2.4 CONCLUSION

Pour bénéficier d'eau chaude, nous avons souvent recours aux installations solaires, celles-ci peuvent êtres disposées dans n'importe quel climat, mais leurs performances sont liées à l'ensoleillement de l'espace où elles sont installées.

La détermination des types de capteurs solaires dépend du type d'application recherchée, la fiabilité, le coût et les températures d'utilisation souhaitées. Il faut noter que pour la production d'eau chaude industrielle (Température <70°C), utilise généralement les capteurs solaires plans avec vitrage.

3.1 INTRODUCTION

Notre travail rentre dans l'un des projets nationaux de recherche pour des applications à basses températures. L'objectif est d'étudier une installation de chauffage d'eau solaire à usage industriel d'une capacité de stockage de 4500 litres par jour. Ce chapitre comporte essentiellement sur la partie dimensionnement de l'installation.

Les besoins journaliers en eau chaude solaire (ECS), est le tout premier paramètre à connaître pour le dimensionnement d'une installation de chauffage solaire. Il y a aussi d'autres paramètres très important dans cette étude tels que la surface d'installation des capteurs solaires, ainsi que les différentes coordonnées (astronomiques, équatoriales).

Dans ce projet, il a été demandé de chauffé de l'eau à 60 °C pendant l'année pour une moyenne de consommation de 4500 litres par jour repartis deux fois par jour.

3 .2 DIMENSIONNEMENT THERMIQUE DE L'INSTALLATION

3.2.1 Dimensionnement sous MATLAB

Ce programme a été élaboré par l'équipe du projet national de recherche (Université Saad Dahleb de Blida-CDER). Ce dernier est basé essentiellement sur la méthode f-Chart et Φ f-Chart.

3.2.1.1 Présentation de la méthode :

C'est une méthode d'estimation des performances à long termes des systèmes thermiques solaires sous forme d'un paramètre appelé la fraction solaire

La méthode consiste à établir un bilan de l'énergie reçue, besoins et apports pour le calcul de la fraction solaire.

Sachant que l'énergie utile récupérée par un capteur solaire s'écrit comme suit [30]

$$\dot{Q}_u = A_c \left[\eta_0 \, I_g - F_r U_g \left(T_i - T_a\right)\right] \quad \textbf{[W]} \qquad (1)$$

a. Méthode f-chart

Les variables essentielles dans cette méthode sont la surface du capteur, le type de capteur, la capacité de stockage, le débit du fluide et les tailles de la charge et de l'échangeur de chaleur. On appelle f la fraction de la charge thermique pour la durée de calcul désirée fournie par énergie solaire en fonction de deux paramètres adimensionnels X et Y.

Un bilan thermique sur le système permet d'écrire [31]:

$$\left(MC_p\right)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_u + Q_{aux} - \left(Q_L + Q_s\right) \quad \textbf{[J/S]} \qquad (2)$$

Avec :

T_s : température du stockage

Q_s : Pertes thermiques de la cuve de stockage et des conduites de raccordement

Q_s ; Energies utile du fluide caloporteur

Q_x ; Energies auxiliaire

Q_L : Besoins calorifique du chauffage

Sur une période d'un mois et un volume de stockage constant, on peut considérer que $\int_{\Delta t} \dot{Q}_u \, dt$ est négligeable devant les différentes échanges, d'où on peut écrire que

$$\int_{\Delta t} \dot{Q}_u \, dt = \int_{\Delta t} \left(\dot{Q}_L + \dot{Q}_s\right) dt - \int_{\Delta t} \dot{Q}_{aux} \, dt \qquad (3)$$

Sachant que l'énergie utile récupérée est donnée par :

$$\dot{Q}_u = AFr\left[\left(\tau\alpha\right)_e I_g - U_g\left(T_e - T_a\right)\right] \qquad (4)$$

D'une manière générale, la fraction de satisfaction des besoins énergétiques exprimés [31]

$$f = \frac{1}{L}\int_{\Delta t} AFr\left[\left(\tau\alpha\right)_e I_g - U_g\left(T_e - T_a\right)\right]^+ dt \qquad (5)$$

Cette équation peut être décomposée en 2 paramètres adimensionnels, à savoir [31]:

$$X = \frac{A\,Fr}{L}\overline{(\tau\alpha)}_e\ H_\beta\ N$$
$$Y = \frac{A\,Fr}{L}U_g\left(T_{ref} - \overline{T_d}\right)\Delta t \qquad (6)$$

Pour les conditions suivantes :

Débit massique : 0.02 kg $m^{-2}s^{-1}$

Capacité du stockage : 50 à 100 kg/m^2 de surface de captation (Pour notre cas en considérant une capacité de stockage de 75 kg/m^2)

Efficacité de l'échangeur : $1 < \frac{\varepsilon\, C_{min}}{U\,A} < 5$

Alors le taux de couverture solaire est donné par l'expression suivante [31]:

$$f = 1.029\,Y - 0.065\,X - 0.245\,Y^2 + 0.0018\,X^2 + 0.0215\,Y^3 \qquad (7)$$

Pour :

$0 < Y < 3$ et $0 < X > 18$

Les besoins en eau chaude sanitaire sont relativement réguliers durant l'année. Pour tenir compte de cette continuité de la demande, on introduit une correction de la variable adimensionnelle *X* tel que [3] :

$$\frac{X_c}{X} = \frac{11.6 + 1.18T_s + 3.86T_r - 2.32\overline{T_d}}{100 - \overline{T_d}} \qquad (8)$$

Avec :

Tr : Température du réseau

Ts : Température du stockage

Td : Température diurne

b. **Méthode Φ f-chart :**

La méthode Φ f-chart considère que les capteurs solaires ne commencent à fonctionner qu'à partir d'un niveau d'énergie solaire critique connu, constant durant le mois et travaillant indépendamment de la cuve de stockage
Comme pour la méthode f-chart on définit 2 variables adimensionnelles *X* et *Y*, tel que [31]:

$$X = \frac{AFr'}{L}\overline{(\tau\alpha)}_e \; H_\beta \; N$$
$$Y = \frac{AFr'}{L}U_g \; (100)\Delta t \qquad (9)$$

La fraction de satisfaction est alors donnée par [3]:

$$f = \bar{\phi}_{\max} \; Y - a\,[\exp(b\,f) - 1][1 - \exp(c\,X)] \qquad (10)$$

Avec :

$$a = 0.015\left(\frac{M\,Cp}{350}\right)^{-0.76}$$

$b = 3.85$

$c = -0.15$

$\bar{\phi}_{\max}$: Utilisabilité moyenne relative au rayonnement critique

3.2.1.2 Méthodologie de calcul

Organigramme de calcul de la fraction solaire utilisé est comme suit ;

- Calcul de l'irradiation solaire globale H, l'irradiation diffuse H_d et de l'indice de clarté K_t
- Calcul de l'angle horaire au lever du soleil
- Calcul du coefficient de correction géométrique journalier pour l'éclairement direct
- Calcul du coefficient de correction géométrique journalier global
- Calcul de l'irradiation incidente sur le plan incliné $\overline{H}_\beta$
- Estimation des besoins calorifiques L
- Calcul des produits $(\tau\alpha)_e$ mensuels moyens pour toutes types e ciel:
- Correction des $(\tau\alpha)_e$:
- Calcul du produit $(\tau\alpha)_e$ mensuel moyen

- Les corrections nécessaires (masse de stockage, échangeur de chaleur)
- Calcul de la température diurne
- Calcul des nombres adimensionnels *X/A* et *Y/A*
- Estimer *f* en optant pour une surface de captation *A*

3.2.1.3 Les hypothèses utilisées :

Les hypothèses utilisées dans ce programme sont comme suit :

- La demande est de 3m^3d'eau chaude à 60 °C avec deux soutirages par jour d'une capacité de 1.5 m^3 chacune (à 8heures et à 13 heures)
- Le stockage est de 4.5 m^3
- Le capteur utilisé ayant les caractéristiques suivantes : surface 1.8 m^2 de surface, un rendement optique de 0.82 et un coefficient de pertes globales de 6.5 W/m^2K
- Le débit du fluide caloporteur est de 0.02 kg/s m^2
- Efficacité de l'échangeur est de 0.7
- Appoint électrique : 12 kW
- La configuration choisie pour un pré dimensionnement est le montage par séries de 4 capteurs et un taux de satisfaction annuel de 60 %.

3.2.1.4 Résultats de simulation

Evidement que la production augmente avec le nombre de capteurs, mais la problématique c'est le choix optimum du nombre en fonction des besoins demandés par l'entreprise en terme de performances et de couts. On utilisant la méthode f-chart et Φ f-chart sous le programme Matlab.

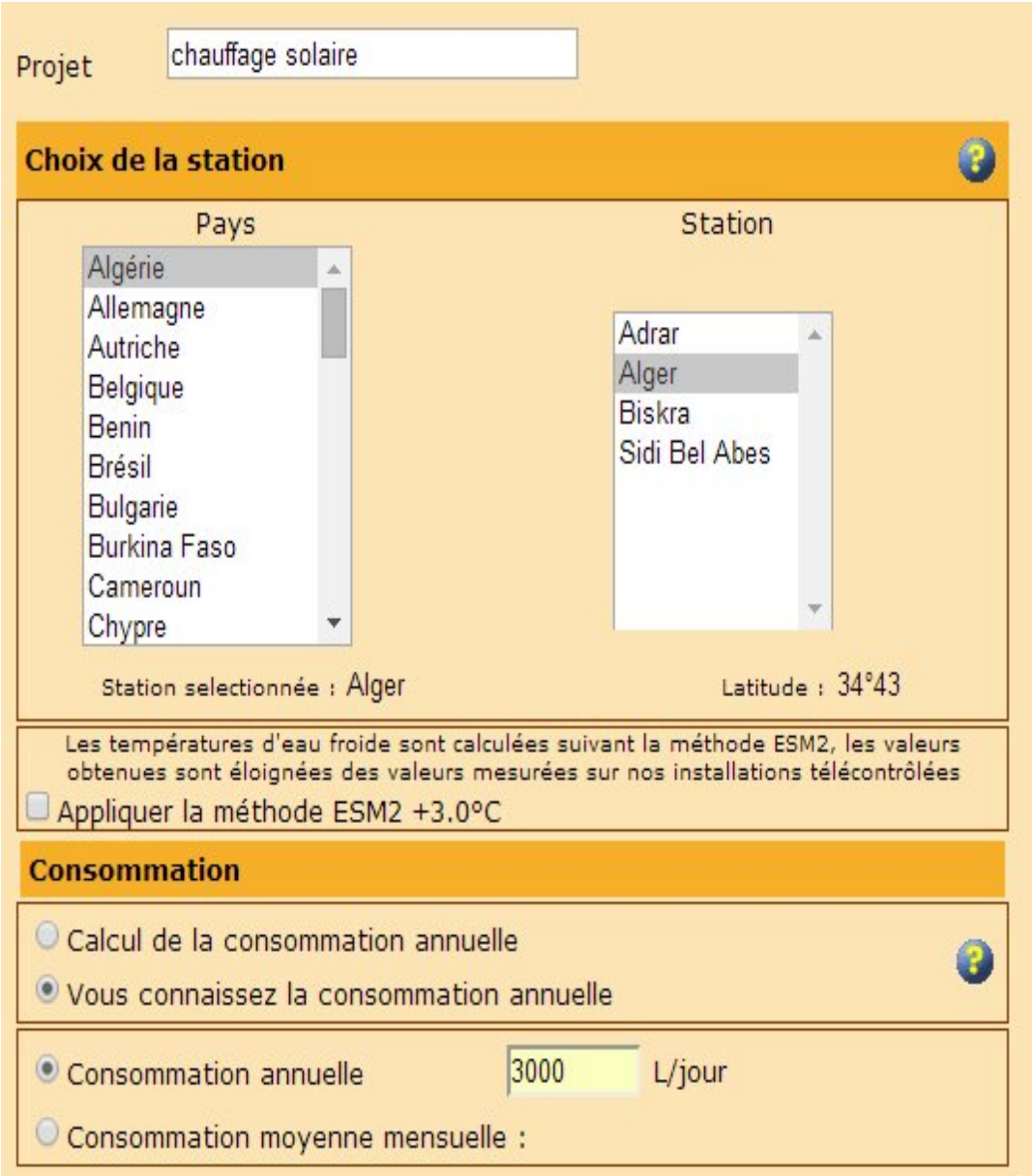
Les résultats obtenus après simulation est une surface de captation de 64 m^2, avec une fraction solaire annuelle de 60 %

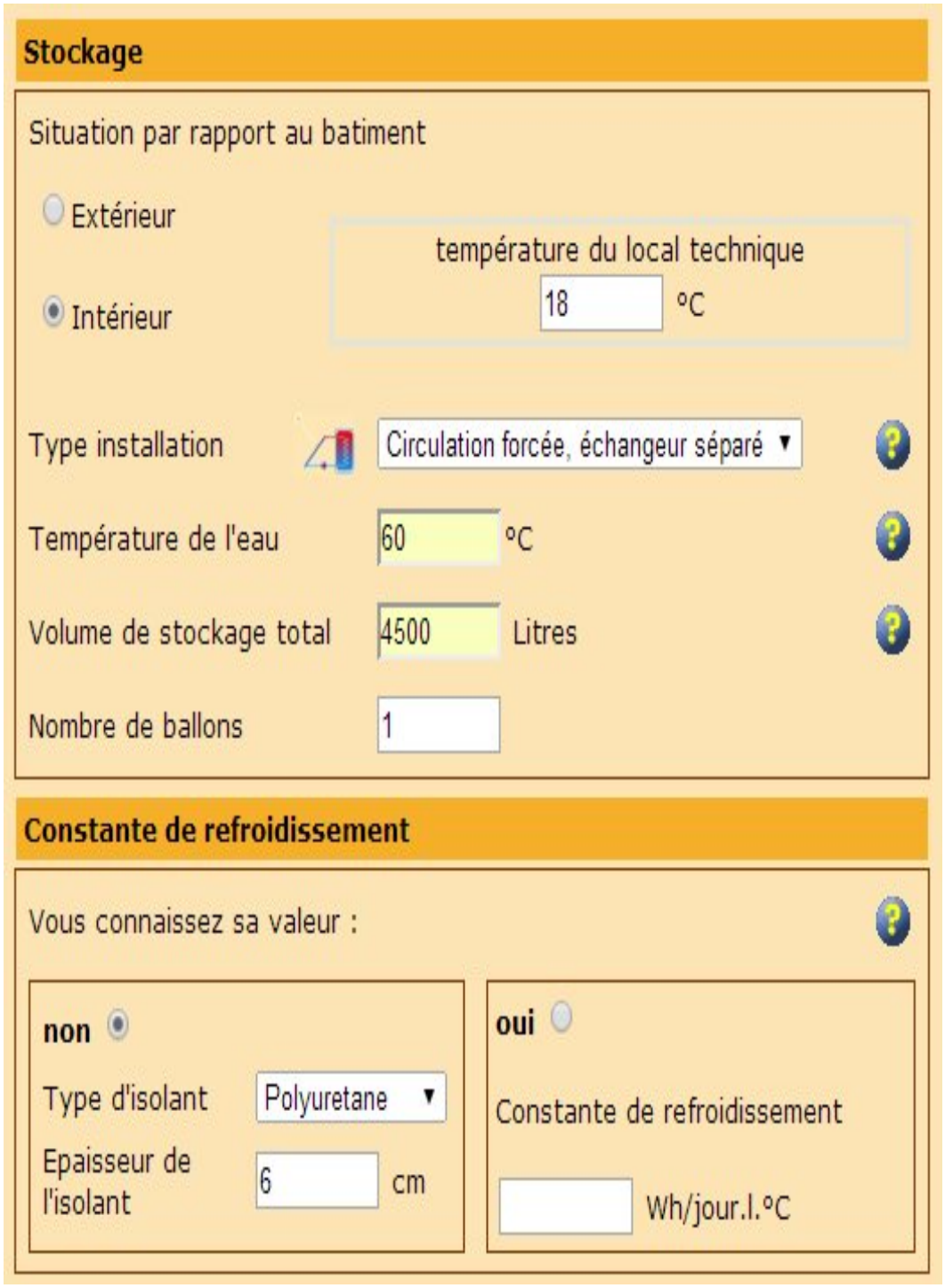
Nous allons maintenant confirmer ce calcul par un autre logiciel de dimensionnement des installations solaires de référence mondial appelé « SOLO »

3.2.2 Dimensionnement sous SOLO

3.2.2.1 Présentation du logiciel

Le logiciel SOLO permet de dimensionner les installations solaires de production d'eau chaude. Mise en place par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie – France) ; il permet essentiellement de simuler plusieurs systèmes solaires tels que le chauffage individuel, le collectif ou même celui des piscines. Son interface est très simple est et destinée pour tous les pays des cinq continents. Concernant l'Algérie, il donne les principales régions selon le zonage tel qu'Alger, Biskra, Adrar, et Sidi Bel Abbès, comme l'indique la figure 3. 1




Stockage
Situation par rapport au batiment
Extérieur
Intérieur
température du local technique
18
°C
Type installation
Circulation forcée, échangeur séparé
Température de l'eau
60
°C
Volume de stockage total
4500
Litres
Nombre de ballons
1
Constante de refroidissement
Vous connaissez sa valeur :
non
Type d'isolant
Polyuretane
Epaisseur de l'isolant
6
cm
oui
Constante de refroidissement
Wh/jour.l.°C

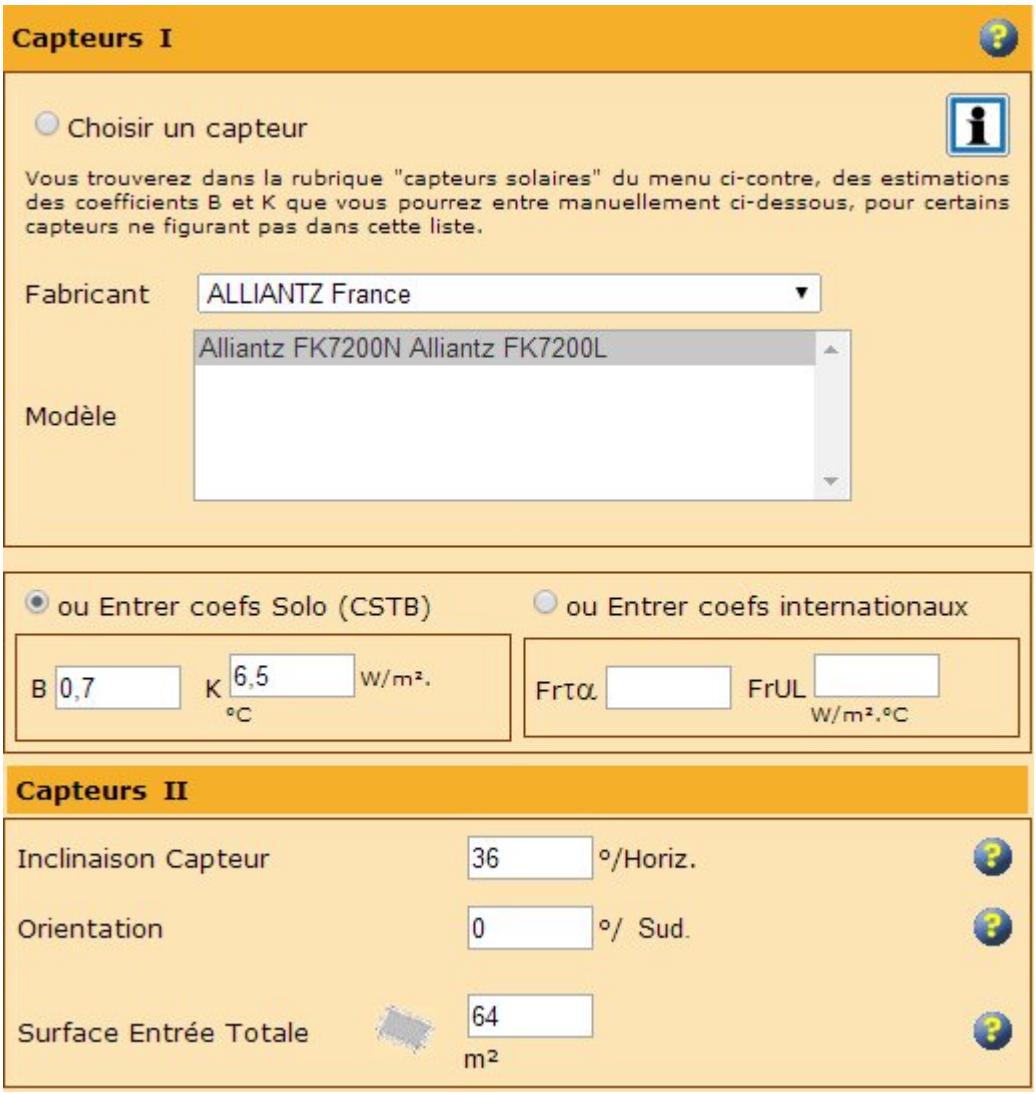


Figure 3.1 : Interface du logiciel

Ce logiciel est basé aussi sur la méthode f-Chart. Cette méthode permet d'estimer la fraction solaire pour la durée de calcul désirée d'une charge connue.

3.2.2.2 Simulation de l'installation

Les données d'entrées nécessaires pour effectuer un calcul sur le logiciel SOLO sont :

Les coordonnées du lieu :

Site : CHERAGA (Zone industriel).

- **Station** : Alger,
- **Pays :** Algérie

- Latitude : 36.8
- Longitude : 3°

- **Situation de stockage :**

Les conditions de stockage choisis est à l'intérieur d'un local bien isolé à une température ambiante de 18 °C.

- **Consommation :**

La consommation moyenne journalière : 3000 litre / jour repartis en deux fois (08heurs et 13 heures).

- **Le type d'installation :**

Chauffage solaire forcé avec échangeur à l'extérieur de la cuve de stockage.

- **Température d'utilisation** :

T_u : 60 °C.

- **Le volume de stockage et le nombre de ballon :**

4500 Litre / jour, repartis dans un seul ballon.

- **L'isolation des ballons :**

Constante de refroidissement : 0,0501 [Wh/jour. L. °C].

- **Type de capteur :**

  - Capteur solaire thermique plan de production national.
  - Surface : 1,8 [m²]
  - Rendement optique du capteur ; B = 0.7
  - Coefficient des pertes global de l'installation ; K = 6,5 [W/m². °C]

- **L'inclinaison et l'orientation des capteurs :**

  - Inclinaison des capteurs : 36° sur l'horizontal (latitude du lieu).
  - Orientation des capteurs : 0° plein Sud (pour l'hémisphère nord).

- **Donnée sur le type d'installation de la simulation :**

  - Surface d'ouverture d'un capteur solaire : 1,8 [m2].

- Surface globale d'un capteur solaire : 2 [m2].
- Nombre de capteur : 32
- Surface total de captation est de S total =64 [m²].

Pour la simulation sous le logiciel solo, nous avons utilisé quelques résultats de la simulation sous Matlab tels que la surface de captation.

Les principales données d'entrées de ce logiciel sont essentiellement résumées dans le tableau 3.1:

Tableau 3.1 Les principales données d'entrées de ce logiciel SOLO

Surface d'un capteur	1.8 m²
Rendement optique du capteur	0.7
Coefficient de pertes globales du premier ordre	6.5 W/m²k
Besoin journalier en eau chaude	3000 litres
La température de procès	60 °c
Capacité de stockage	4500 L
Nombre de capteurs	32

3.2.2.3 Résultats et discussions de la simulation

L'objectif essentiel de la simulation est de confirmer le dimensionnement choisi en termes de surface de captation et de fraction solaire initialement sous MATLAB. Après simulation sur le logiciel SOLO, nous avons obtenu les résultats suivants :

a. Evolution des différentes températures

On représente graphiquement l'évolution de la température de l'eau froide et la température désirée le long de l'année sur la figure 3.3

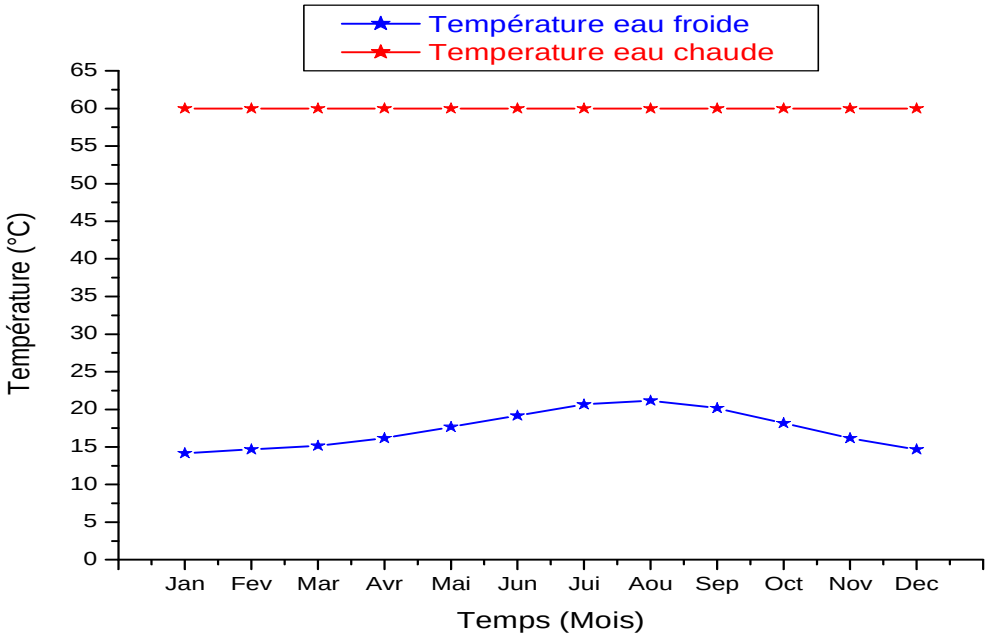


Figure 3.2 Présentation des températures

La température d'eau froide moyenne annuelle est de 18 °C.

On remarque que l'écart entre la température de l'eau froide et la température désirée est assez considérable surtout dans la période hivernale ou l'écart peut atteindre les 45 °C.

La moyenne mensuelle calculée de la température ambiante atteint son maximum en été à 25°C et son minimum en hiver à 10 °C.

Les principaux résultats de la simulation pour les performances thermiques de l'installation de production d'eau chaude solaire sont donnés dans le tableau 3.3

Tableau 3.3 Performance thermique de l'installation

	Irradiation capteurs (Wh/m2.jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)
Janvier	3024	4956	1982	63,9	40
Février	4234	4428	2411	86,1	54,4
Mars	5173	4848	3227	104,1	66,6
Avril	5530	4587	3372	112,4	73,5
Mai	6097	4578	3690	119	80,6
Juin	5951	4273	3515	117,2	82,3
Juillet	6157	4254	3646	117,6	85,7
Août	6236	4200	3631	117,1	86,5
Septembre	5680	4169	3339	111,3	80,1
Octobre	4462	4524	2892	93,3	63,9
Novembre	3147	4587	2055	68,5	44,8
Décembre	2758	4902	1829	59	37,3

b. Evolution des irradiations solaires mensuelles pendant l'année

Pour la région de notre étude, on remarque que la courbe de l'irradiation représentée en figure 3.3 suit une forme d'une cloche, elle atteint son maximum au mois d'août pour une valeur de 6236 [Wh/m^2] et un minimum en hiver (mois de décembre) avec une valeur de 2758 Wh/m^2. On peut dire aussi que c'est un potentiel très important pour des telles installations.

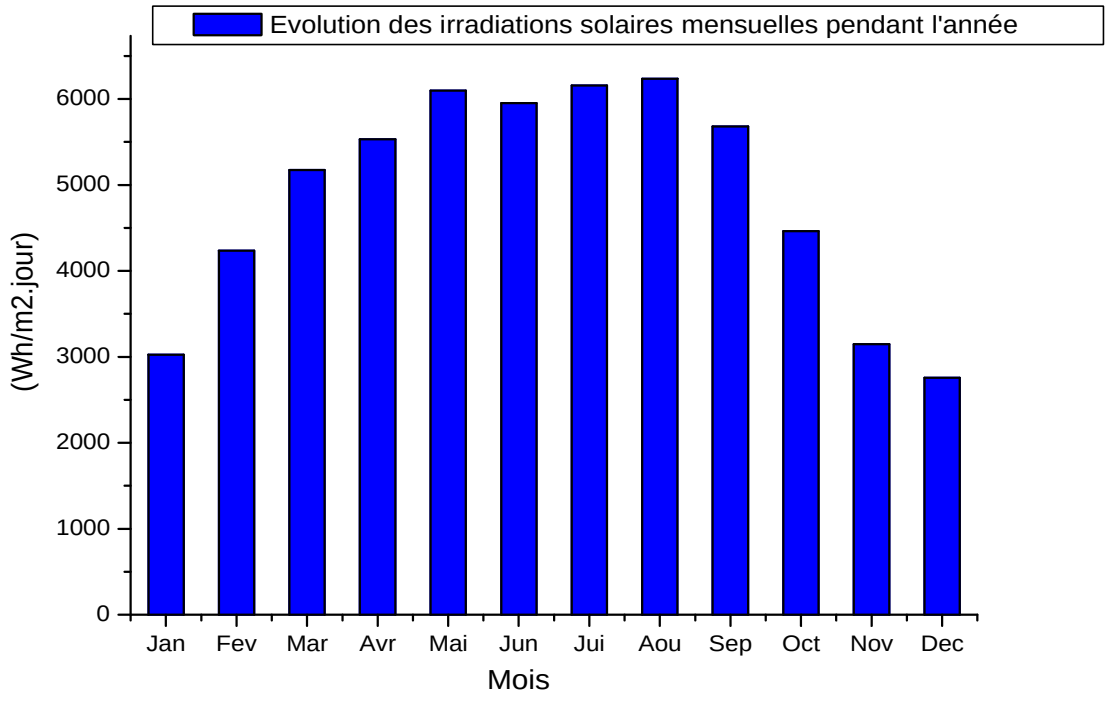


Figure 3.3: Irradiations solaires mensuelles

c. Evolution des besoins mensuels

La distribution des besoins mensuels pendant l'année sont rapportés dans la figure 3.4. On remarque que les besoins varient d'une saison à une autre. Les besoins en eau chaude sont importants lors de la saison hivernale avec des valeurs moyenne de 4956 kWh / mois, et moindres en saison estivale avec des valeurs moyennes de 4200 kWh/ mois.

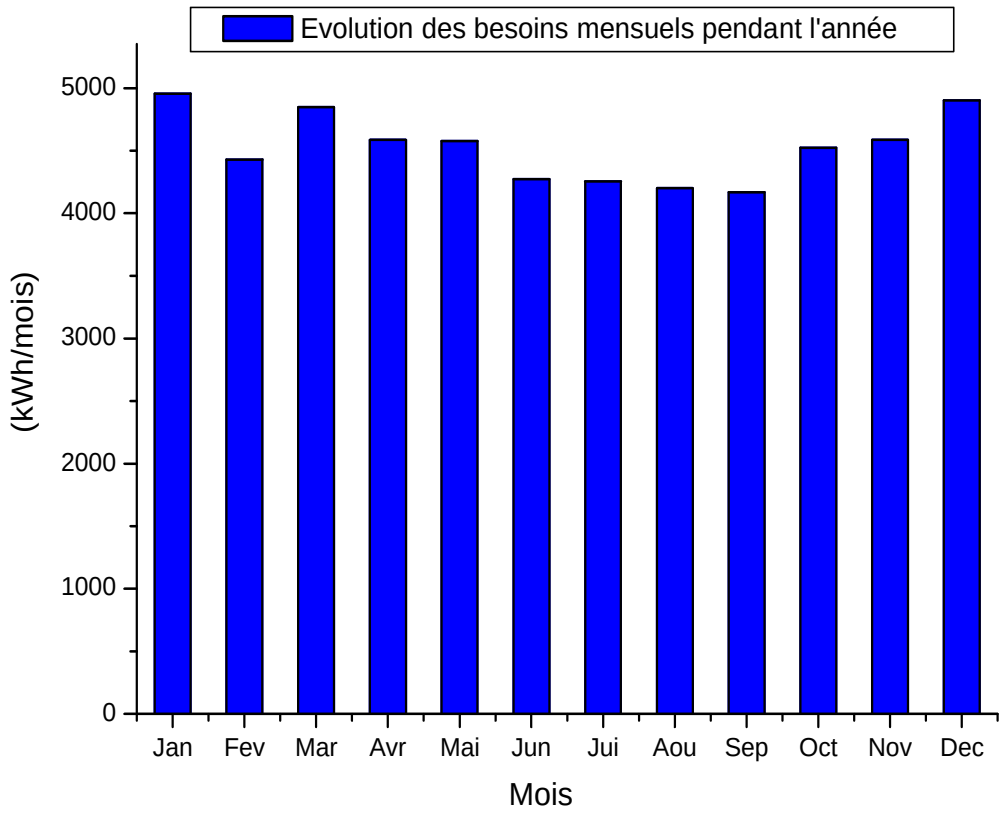


Figure 3.4 : Evolution des besoins mensuels

d. Evolution des apports solaires mensuels

La figure 3.5 décrit l'évolution des apports solaire. On remarque évidemment que les apports solaires sont importants pendant les mois d'été, c'est la période ou les irradiations sont à leur maximum contrairement en hiver ou le potentiel solaire est moins important avec des valeurs moyennes de 2000 KWh / mois.

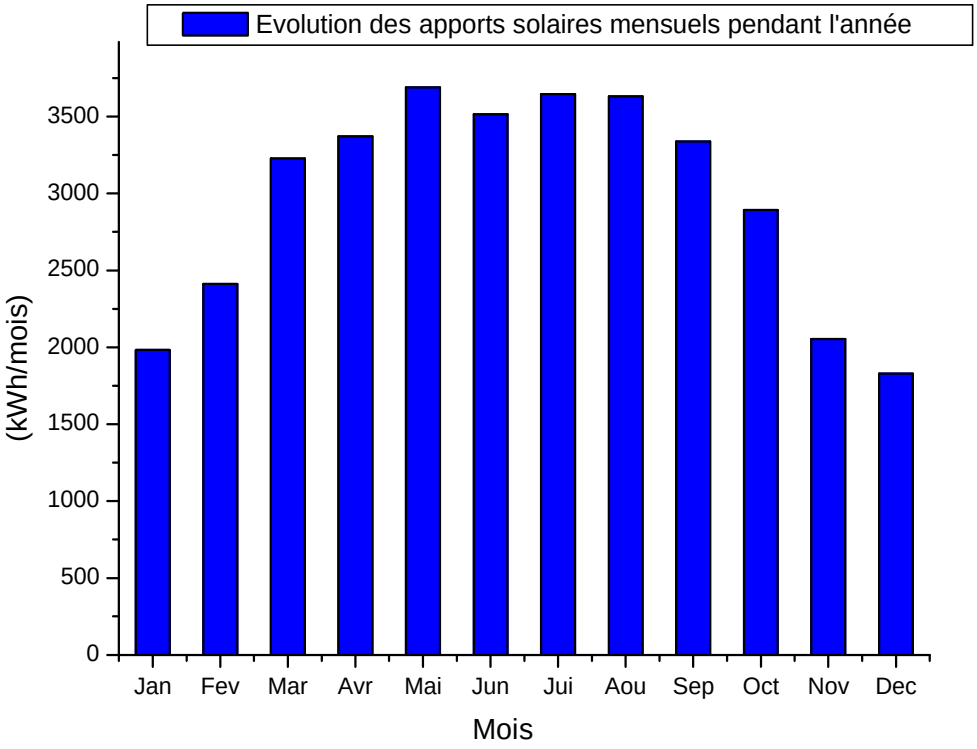


Figure3.5 : Apports solaires mensuels

e. Résultat final de la simulation

Les principaux résultats de la simulation pour les performances thermiques de l'installation de production d'eau chaude solaire sont donnés dans le tableau 3.5

Tableau 3.4 Résultat de la simulation

Paramètres	Résultats
Besoin annuel	**54307** [kWh/an]
Apport solaire annuel	**35588** [kWh/an]
Productivité annuelle	**556** [kWh/m².an]
Taux couverture solaire	**61.6%**

On remarque que le taux annuel de couverture solaire pour la configuration choisie pour l'installation en termes de surface et de capacité, ainsi que le choix des performances du capteur atteint un taux moyen annuel de couverture solaire de 61.6 %, un taux assez important, ce qui confirme le choix préliminaire de notre installation et les résultats de la simulation sous

Matlab. On peut dire aussi que l'apport solaire pour des régions similaires est très intéressant dans le sens ou l'on peut atteindre une économie de 80% d'énergie pour quelques mois de l'année. Un encouragement est nécessaire pour ce genre d'installations solaires surtout pour des régions où le potentiel solaire est important, comme l'Algérie.

3 .3 CONCLUSION

Le présent chapitre a été consacré au calcul, et au dimensionnement de notre installation en utilisant deux méthodes différentes. Les résultats démontrent un taux de couverture de l'ordre 61.6%, un taux satisfaisant. Dans le chapitre suivant, nous allons simuler les performances thermique de notre installation sous le logiciel TRNSYS suivit d'une étude technico économique avec un logiciel RETSCREEN.

4.1 INTRODUCTION

Ce chapitre a pour but de présenter des notions utiles pour la suite. Il vise à introduire des modèles TRNSYS tels que le modèle de capteur solaire ou les modèles de tuyauterie. Dans le Cadre d'un projet visant à utiliser l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau à usage industriel.

Les données météorologiques utilisées dans ce mémoire sont issues du site TRNSYS. Ses fichiers contiennent 12 mois typiques pour plusieurs villes algériennes, sélectionnés à partir de 30 années de données (température extérieure, ensoleillement, vent...).

4 .2 ETUDE THERMIQUE

4.2.1 PRESENTATION DE TRNSYS

Le logiciel TRNSYS (Transient System Simulation) permet de modéliser des systèmes mécaniques et de prédire leur comportement en régime transitoire. Le fonctionnement de TRNSYS est basé sur l'utilisation de composants appelés TYPES. Chaque TYPE modélise un composant spécifique grâce à un système d'équations. Une large bibliothèque de TYPES est disponible avec le logiciel (ex. : capteur solaire, réservoir d'eau, échangeur de chaleur ou encore système de régulation). Les TYPES sont insérés dans la feuille de calcul de TRNSYS puis reliés entre eux par l'utilisateur. Un TYPE possède des paramètres (fixes durant la simulation), des entrées et des sorties. Ainsi, la sortie d'un TYPE pourra être l'entrée d'un autre TYPE. Les informations pouvant être échangées entre les TYPES sont très diverses (ex. : température, débit, taux d'échange de chaleur, signal de régulation, etc.). Le pas de temps et la durée de la simulation sont fixés par l'utilisateur. À chaque pas de temps, le logiciel résout le système d'équations. Une fois la convergence atteinte, il passe au pas de temps suivant.

À la Figure 4.1 est présenté un exemple d'assemblage TRNSYS. Une pompe de circulation alimente un capteur solaire plan. La température et le débit du fluide sortant de la pompe sont envoyés au capteur. Le fichier météo est utilisé pour lire le fichier météo de la ville considérée. Les informations d'ensoleillement et de température extérieure sont envoyées au capteur. Le TYPE 2b permet quant à lui de contrôler la pompe de circulation en fonction de la température d'entrée et de sortie des capteurs. Et ploter 1 permet de générer un fichier de sortie (ex. : température de sortie du capteur).

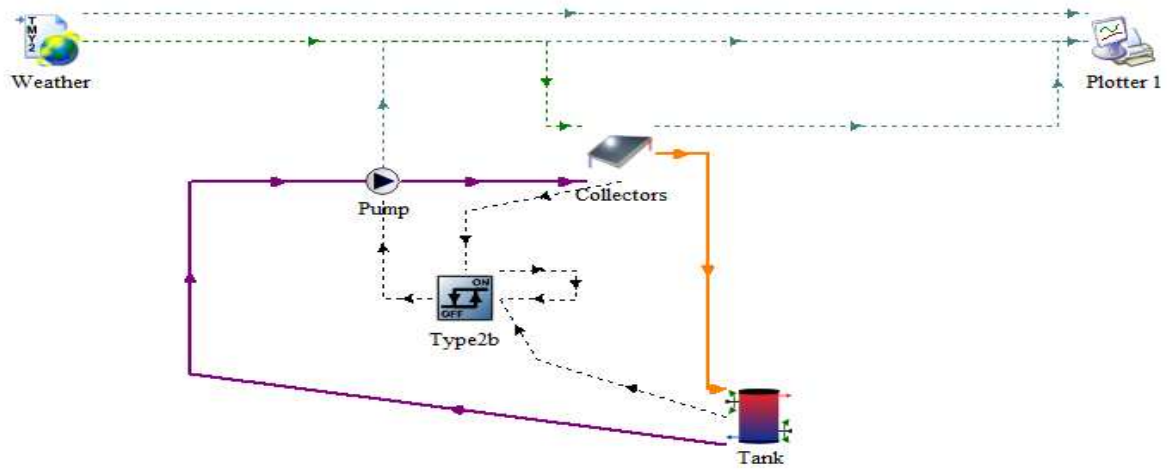


Figure 4.1. Exemple d'un assemblage TRNSYS

4.3.2 SIMULATION

L'énergie et le rendement du champ solaire ont été simulés par les composants de la bibliothèque dans le logiciel TRNSYS pour le site de ALGER pour quatre journées représentatives dans l'année ces journées sont les suivantes :

21 Mars ; t1=1896h ; t2=1920h ; (équinoxe de printemps)

21 Juin ; t1=4104h ; t2=4128h ; (solstice d'été)

21 Septembre ; t1=6312h ; t2=6336h ; (équinoxe d'automne)

21 Décembre ; t1=8496 ; t2=8520h ; (solstice d'hiver)

t1 est la première heure du jour considéré

t2 est la dernière heure du jour considéré

♦PRESENTATION DU SCHEMA DE LA SIMULATION

En Figure 4.2, nous avons représenté le modèle du système choisis sur le logiciel en respectant la configuration déterminée initialement.

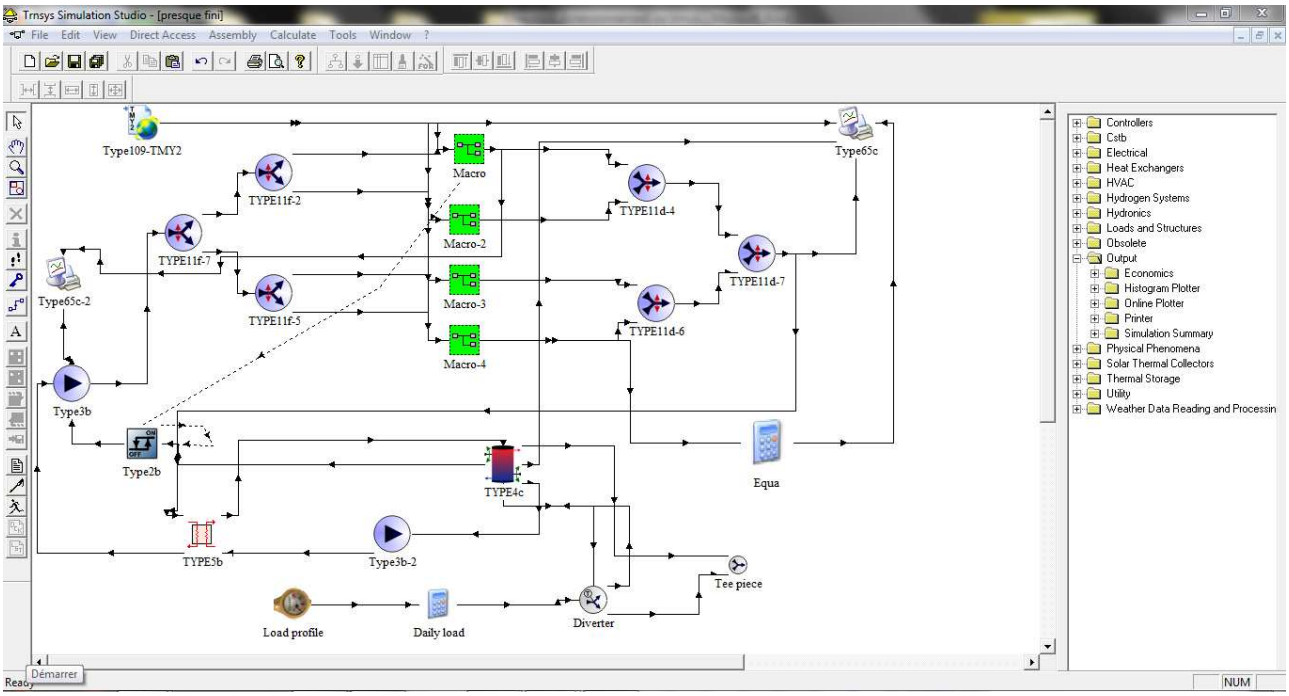


Figure 4.2: Modèle du système du TRNSYS

La représentation des composants essentiels de l'installation sont :

- Le champ de captation en respectant le dimensionnement initial (32 capteur) avec les raccordements en série et en parallèle.
- Une cuve de stockage (type 4c) d'une capacité de 4500 litres avec un appoint intégré.
- Un échangeur de chaleur externe (type 5b).
- Une régulation différentielle (type 2b).
- Des diffuseurs de (type 11f) et des mixeurs de (type 11) qui assurent le raccordement des capteurs en parallèle.
- Des macros pour simplifier la complexité du schéma.
- Les pompes de circulation (type 3b).
- Le fichier météo (type 109) a été utilisé pour la zone d'Alger (base de donnée de METEONORM).
- Un afficheur des résultats numérique et graphique le (type 65c).
- Type 14b pour déterminer le moment exacte du besoin ainsi que le débit et nombre de fois dans la journée.

4.3.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Après la simulation de toutes les données sur le logiciel, nous avons obtenu les résultats suivants :

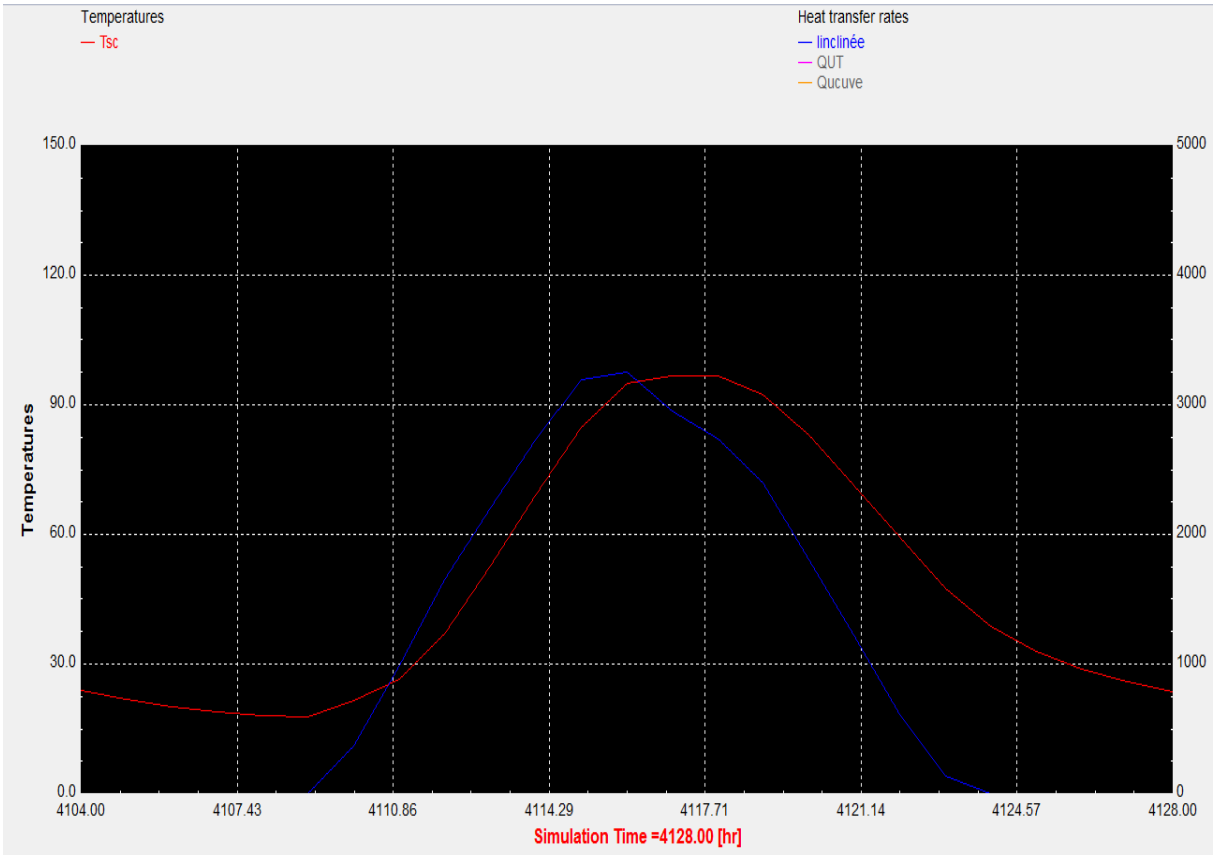


Figure 4.3 : Quelques résultats de la simulation

♦RESULTATS DES ENERGIES SOLAIRES ET DE LA TEMPERATURE DE SORTIE DU CHAMP DE CAPTATION

Pour illustrer notre travail, nous avons pris de chaque saison de l'année une journée représentative ; les équinoxes (21 mars et 21 septembre) et les solstices (21 décembre et 21 juin).

- **La journée du 21Mars :**

La figure 4.4 représente les résultats de la température de sortie du champ de captation et du rayonnement solaire incident de la journée du 21Mars :

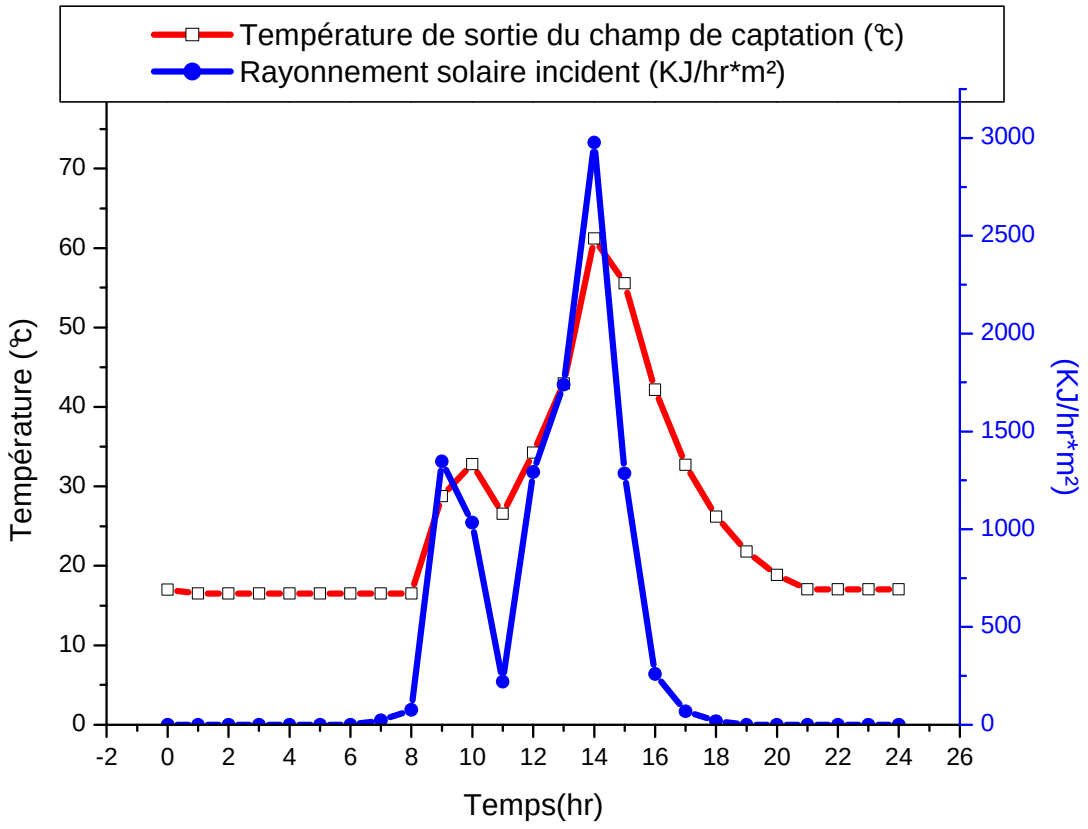


Figure 4.4 : la température de sortie du champ pour le et le rayonnement 21Mars

On remarque pour cette journée que la température de sortie du champ suit la même allure que celle du rayonnement solaire incident de la journée du 21 Mars, ils arrivent à leurs maximum autour de midi (TSV) avec des valeurs respectives 60(°c) et 3000 KJ/hr*m². On remarque aussi plusieurs fluctuations, ceci est dû probablement aux données météorologiques utilisées par le logiciel qui sont rapportées par météonorm.

- **La journée du 21juin :**

La figure 4.5 représentant les résultats de la journée de l'été du (21juin)

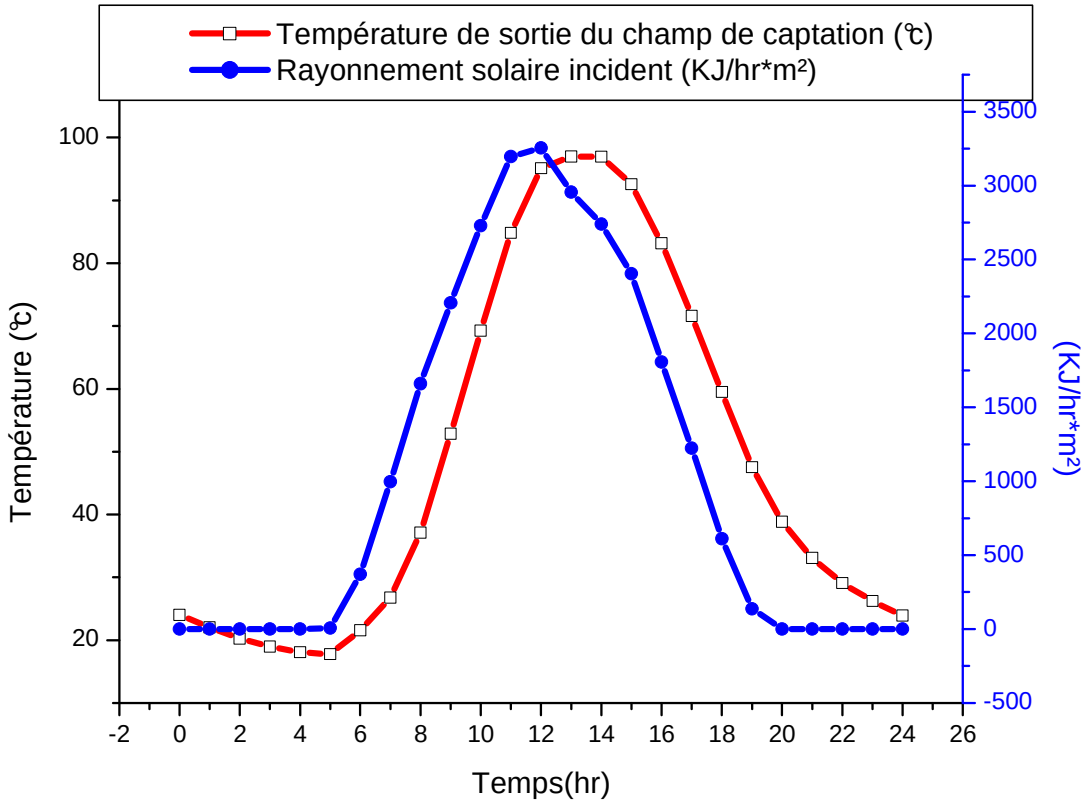


Figure 4.5 : La température de sortie du champ et le rayonnement du 21 juin

On remarque dans cette figure que les deux courbes se suivent (similaire), elles atteignent toujours leurs maximum autour de midi (TSV) avec des valeurs respectives de 98(°c) et 3200 Kj/hr*m², on voit aussi l'intensité du potentiel solaire. On voit aussi dans cette courbe une absence de fluctuation, ceci est dû probablement à l'absence de passages nuageux.

- **La journée du 21 septembre :**

La figure 5.6 représente la première journée de la saison d'automne

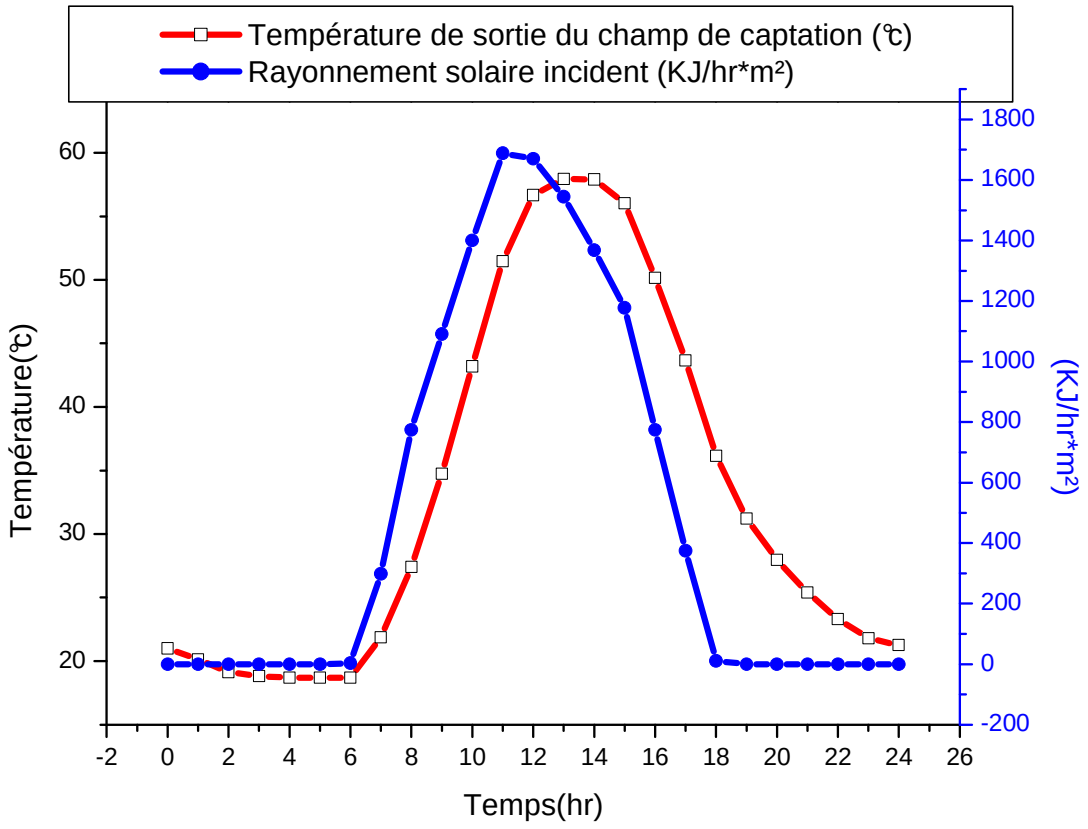


Figure 4.6 : La température de sortie du champ et le rayonnement du 21 Septembre.

On remarque dans cette figure que les deux courbes sont similaires, elles atteignent toujours leurs maximum autour de midi (TSV) avec des valeurs respectives de 60 (°c) et 1680 KJ/hr*m². On remarque aussi dans cette courbe une absence de fluctuation, ceci est dû probablement à l'absence de passages nuageux.

- **La journée de 21 décembre :**

La figure 4.7 représente la journée la moins courte de l'année.

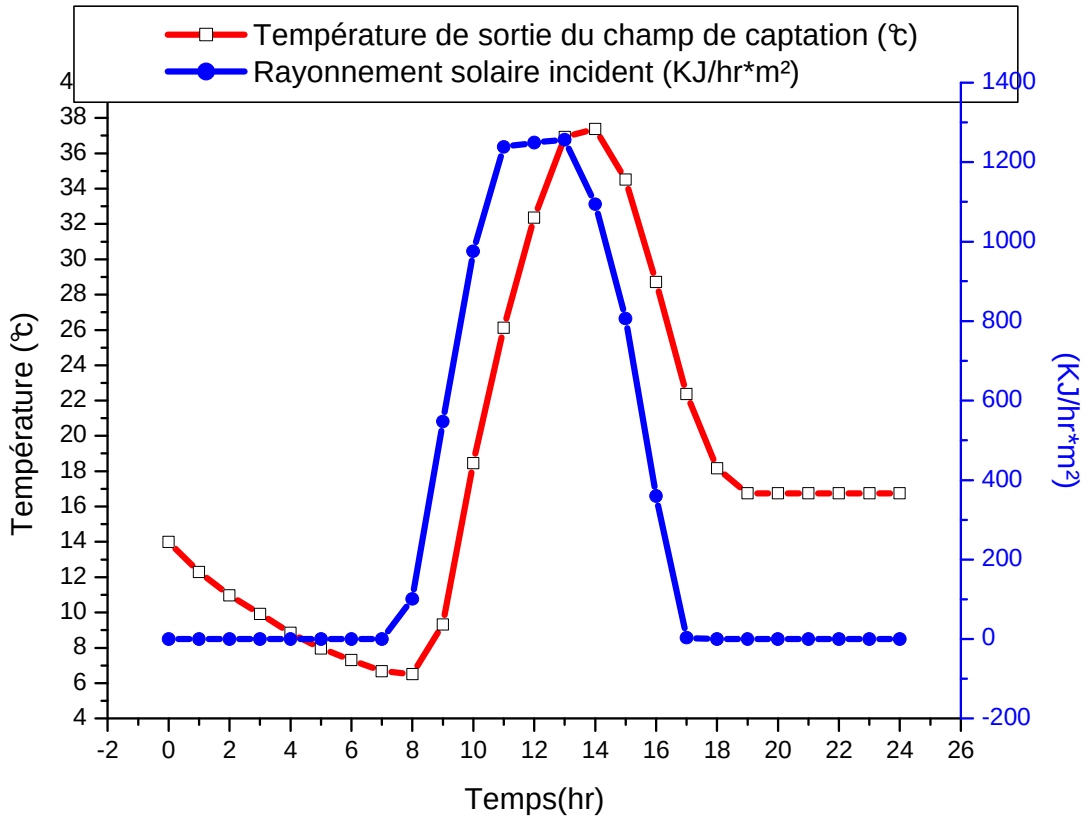


Figure 4.7: La température de sortie du champ et le rayonnement du de 21 Décembre.

On remarque dans cette figure que les températures de sortie du champ sont relativement faibles et les valeurs du rayonnement solaire sont moins intéressantes. La valeur maximale de l'énergie solaire est de 1300 KJ/hr*m² et la température maximale de sortie du champ est de 37 °c.

4.3 ETUDE ECONOMIQUE

4.3.1 PRESENTATION DU LOGICIEL RETSCREEN

Le logiciel d'analyse de projets d'énergies propres RETScreen est un outil unique pour la prise de support, développé en collaboration avec de nombreux experts de l'industrie, le gouvernement canadien et le milieu universitaire. Libre, il peut être utilisé partout dans le monde pour évaluer la production et les économies d'énergie, le coût sur le cycle de vie, la réduction des émissions de CO2.

L' International solaire chauffage de l'eau Modèle RETScreen peut être utilisé pour évaluer la production d'énergie, les coûts de cycle de vie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour trois applications de base: eau chaude sanitaire, procédé industriel (chaleur) et de piscines. Il contient six feuilles de calcul: Modèle énergétique, Ressource solaire et chauffage calcul de charge (ressource solaire et Charge de chauffage), Analyse des coûts, Analyse des GES, Sommaire financier et Sensibilité et L'analyse des risques (sensibilité). Le modèle calcule également les exigences en matière d'énergie correspondant pour une utilisation donnée. Dans le cas du chauffe-eau solaire, on a le choix d'utiliser un réservoir de stockage d'eau chaude ou pas. Trois types de capteurs solaires peuvent être utilisés : les capteurs plans vitrés ou non, et à tubes sous vide.

Ce modèle calcule l'énergie produite par un système solaire dans l'année à l'aide de données mensuelles de soleil, de température, d'humidité relative et de vitesse du vent. Le calcul du procédé dépend du type de système et de son application. Pour CES avec rangement réservoir, RETScreen utilise la méthode dite de la "f-chart". Le procédé est expliqué dans le détail [30]. Cette méthode éprouvée calcule le pourcentage des besoins d'eau chaude qui peut être atteint grâce à l'énergie solaire, en utilisant les résultats de simulations approfondis et des laboratoires modèles ont contribué à développer des algorithmes basés sur le nombre sans dimension [32]. Pour CES sans stockage, RETScreen utilise la méthode d'utilisation potentielle. Cette méthode détermine le niveau du rayonnement solaire d'une valeur de seuil au-dessous duquel on ne peut pas avoir des gains solaires lorsque l'on prend en compte les pertes de chaleur de la température solaire à laquelle ils doivent fonctionner pour répondre aux besoins. Les deux méthodes sont résumées dans le manuel de génie et les études de cas RETScreen [33].

4.3.2 ETUDE DE CAS

Pour mettre en évidence les avantages de l'installation de chauffe-eau solaires et pour comprendre l'importance de leur mise en œuvre en Algérie, l'étude de cas suivant est présentée :

♦**Région sélectionnée et ses paramètres**

La zone choisie pour l'étude est la commune de Charaga (Zone industriel), une partie de la province d'Alger, qui se situe à 36.8 de latitude et 3° de longitude.

Les données météorologiques utilisées par RETScreen sont données dans le tableau 1.

Pays - région		Algérie	
Province / État		n/a	
Lieu des données climatiques		Alger Port	
Latitude	°N	36,8	
Longitude	°E	3,1	Source
Élévation	m	60	Sol
Température extérieure de calcul de chauffage	°C	3,1	Sol
Température extérieure de calcul de climatisation	°C	33,1	Sol
Amplitude des températures du sol	°C	14,2	NASA

	Température de l'air	Humidité relative	Rayonnement solaire quotidien - horizontal	Pression atmosphérique	Vitesse du vent	Température du sol	Degrés-jours de chauffage	Degrés-jours de climatisation
	°C	%	kWh/m²/j	kPa	m/s	°C	°C-j	°C-j
Janv	12,2	71,0%	2,20	97,2	3,0	11,6	180	68
Févr	12,6	66,0%	3,00	97,1	3,0	12,4	151	73
Mars	13,8	65,0%	4,10	96,9	3,0	14,6	130	118
Avr	16,0	62,0%	4,90	96,6	3,0	17,1	60	180
Mai	18,5	66,0%	6,00	96,7	3,0	21,0	0	264
Juin	22,1	66,0%	6,20	96,8	3,0	25,8	0	363
Juill	24,3	67,0%	7,00	96,8	3,0	28,9	0	443
Août	25,2	65,0%	6,40	96,8	3,0	29,0	0	471
Sept	23,2	68,0%	5,10	96,8	2,0	25,8	0	396
Oct	20,0	66,0%	3,30	96,9	3,0	21,5	0	310
Nov	16,7	68,0%	2,70	96,9	3,0	16,6	39	201
Déc	13,9	68,0%	2,00	97,1	3,0	13,0	127	121
Annuel	18,2	66,5%	4,42	96,9	2,9	19,8	687	3 008
Source	Sol	Sol	Sol	NASA	Sol	NASA	Sol	Sol
			Mesuré à	m	10	0		

Figure 4.8 Données météorologiques de la NASA pour Alger

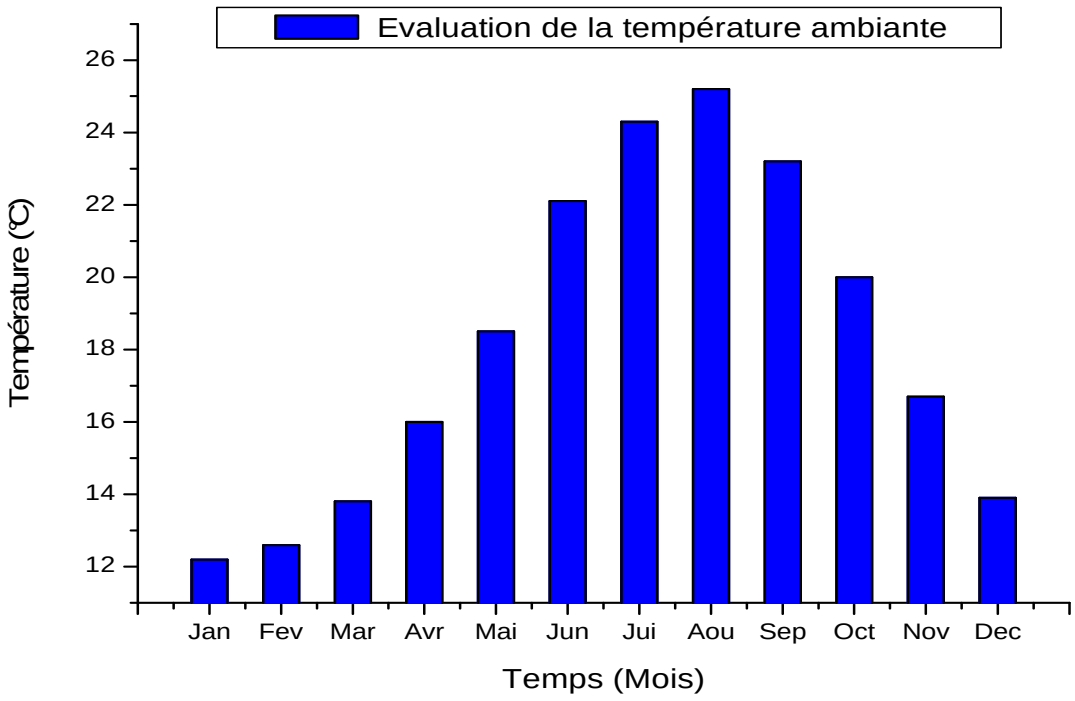


Figure 4.9 Evaluation de la température ambiante pendant l'année

Dans cette figure, on remarque que l'évaluation de la température ambiante mensuelle en période hivernale est à son minimum 12 °C, par contre elle atteint le maximum à 25 °C dans la période estivale.

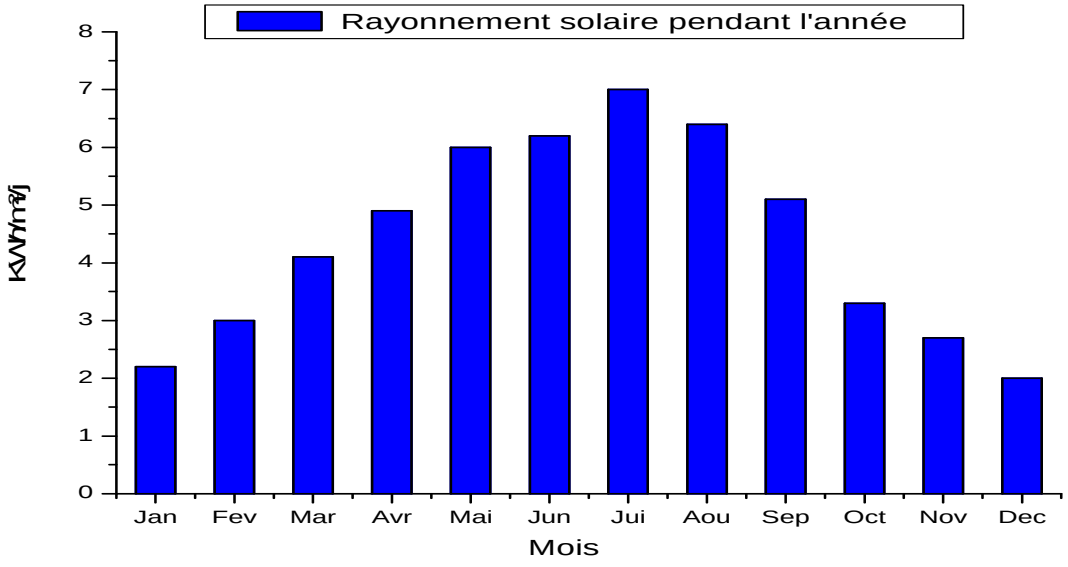


Figure 4.10 Evaluation du rayonnement solaire pendant l'année

On remarque que le rayonnement solaire pendant l'année a une forme d'une colline où son minimum est dans la période hivernale qui est de 2 KWh/m²/j et son maximum dans la période estivale qui atteint 7 KWh/m²/j.

♦Les paramètres techniques

L'étude de cas est une usine située dans l'ouest de la commune de Charaga, Nous avons entré les paramètres dans le logiciel, les voici:

a. Caractéristique de la charge

- Les besoins quotidiens en eau chaude sont de 3000 L/jour
- Température d'utilisation **:** 60°c
- Nombre de jour d'opération par semaine **:** 5jours
- Température de l'eau dans le réseau minimum **:** 10°c
- Température de l'eau dans le réseau maximum **:** 25°c
- Système de positionnement solaire **:**

  - Inclinaison : 36°

  - Azimut : 0°

b. Les paramètres du capteur

- Capteur à simple vitrage
- surface brute par capteur : 2m²
- Surface de captage par capteur : 1.8m²
- Coefficient Fr (tau alpha) : 0.70
- Coefficient Fr UL : 5.70 (W/m²)/°c
- Coefficient de température de Fr UL : 0.010 (W/m²)/°c²
- Nombre de capteurs : 32

- La surface brute de l'ensemble des capteurs : 64 m²
- Capacité : 40.32 KW
- Pertes diverses : 5%

c. Infrastructures connexes et divers

- Volume de stockage par surface du capteur solaire : 75 L/m²
- Volume de stockage : 4500 L
- Echangeur de chaleur

  Efficacité : 70%

  Pertes diverses : 4%e
- Puissance de la pompe par la surface du capteur solaire : 5 w/m²
- Prix de l'électricité : 4.179 DA/ KWh.

d. Système de production de chaleur

	Cas de référence	Cas proposé
Type du combustible	Electricité	Electricité
Rendement saisonnier	100%	100%
Consommation du combustible-annuelle	38 .7 MWh	13.5 MWh
Prix du combustible	4.179 DA/KWh	4.179 DA/KWh
Coût en combustible	161900 DA	56423DA

e. Analyse financière

- Paramètres Financiers

  Taux d'inflation : 2.5%

- Durée de vie du projet : 25ans
- Ratio d'endettement : 0%
- Coût d'investissement

Système de production de chaleur : 3200000 Da.

Encouragements et subventions : 45% du coût total du projet.

f. Analyse des émissions

- Facteur d'émission des gaz a effet de serre GES avant pertes : 0.169 tCO2/ MWh.
- Pertes de transmission et de distribution : 8%
- Emissions de GES

Cas de référence	7.1 tCo2
Cas proposé	2.6 tCO2
Réduction annuelle brute	4.6 tCO2

Le résultat de cette étude est sous forme de courbe de flux monétaire

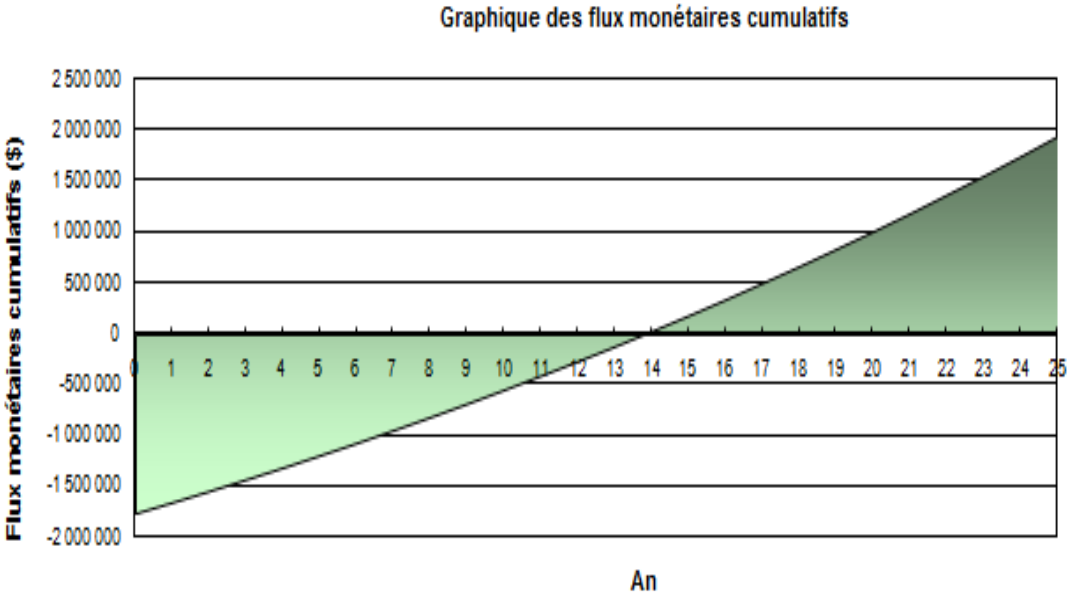


Figure 4.11 Flux monétaires cumulatifs

Dans ce graphe on voit clairement que le calcul du temps de retour brut (TRB) est de 14 ans ce qui n'est pas négligeable. Alors on commence par un déficit de -1700000 Da, et d'une année à une autre on voit ce déficit diminué pour s'annuler à partir de 14ans, et au delà on remarque que le bénéfice remonte pour atteindre plus de 2000000 de DA à la fin de la durée de vie du projet.

4.4 CONCLUSION

Pour cette configuration choisie, nous avons trouvé des températures assez satisfaisantes, il était préférable d'utiliser des données météorologies mesurés sur site afin de simuler le comportement plus ou moins réel de cette installation

Les systèmes de chauffage solaire de l'eau représentent un coût d'investissement initial très élevé. Grâce à la subvention de 45 % du coût initial d'achat de l'état Algérien, de tels systèmes peuvent avoir un temps de retour simple sur l'investissement inférieur à la durée de vie du système. Le marché pour de tels systèmes est limité à des consommateurs prêts à investir à long terme et prêts à analyser leur investissement sur le cycle de vie complet du projet.

Un système de chauffage solaire de l'eau peut être très rentable, en comparaison du chauffage électrique, lorsque le coût de l'électricité est élevé.

Dans des régions où il y a de fréquentes coupures d'électricité, un chauffe-eau solaire peut augmenter la fiabilité d'approvisionnement en eau chaude.

En plus de ses impactes économiques, il ya aussi l'impacte environnemental. Les installations solaires de production d'eau chaude permettent d'éviter une quantité importante d'émissions des gaz à effets de serres ou polluants et de déchets.

Le travail que nous avons élaboré nous a permis de découvrir non seulement l'aspect technique, mais aussi l'aspect économique et environnemental d'une telle installation solaire.

D'âpres les statistiques montrées dans notre travail, nous constatons que le secteur de l'industrie représente 28.67% de la consommation mondiale et que la demande de chaleur industrielle à basse température représente 30%.

Après avoir calculé et dimensionné notre installation, les résultats donnent un taux de couverture de l'ordre 61.6%, ce qui est intéressant.

Un chauffe-eau solaire couvre plus de la moitié des besoins en eau chaude du ménage. L'appoint ne fournira que l'énergie pour combler la différence non fournie par le solaire.

Du point de vu technique, l'utilisation du logiciel TRNSYS consiste à dimensionner et à évaluer les performances d'une installation d'un chauffe-eau solaire collectif pour usage industriel, en exploitant son code de calcul, il nous a été possible de simuler le comportement du model choisi au cours de l'année.

Du point de vu économique, vu la cherté du capteur solaire, le retour des capitaux propres d'une installation solaire n'est pas actuellement intéressant, le prix de l'investissement est très important, étant donnée que le prix du KWh d'électricité reste toujours subventionné ;par contre l'aspect écologique à partir de cette installation, pourra réduire un taux très important des émissions de gaz polluants .

Cette étude n'est qu'une initiation au chauffage solaire collectif, elle permet d'offrir la possibilité de généraliser l'utilisation de ce dernier et d'interpeller les pouvoirs publiques à sensibiliser à exploiter l'énergie solaire thermique et à contribuer à la diminution de l'exploitation des énergies fossiles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Martín Picón-Núñez et al, « Design of solar collector networks for industrial applications»; 2014

[2] C. Lauterbach, B. Schmitt, K. Vajen « System analysis of a low-temperature solar process heat system » ScienceDirect, pp 117–130 (2013)

[3] 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 (2012)

[4] R Kharchi1, B Benyoucef, F Mokhtari and K Imessad « Dynamic Simulation of both Thermal and Energetic Behavior for Dwellings Located in Algiers » Earth Science & Climatic Change (2012)

[5] Calderoni et al, « Solar thermal plants for industrial process heat in Tunisia:Economic feasibility analysis and ideas for a new policy» 2012

[6] BOUAKAZ.A«Etude du potentiel d'énergie solaire thermique utilisé pour la production de l'eau chaude dans l'industrie agro-alimentaire» Thèse de magistère (2012)

[7] Emanuele Taibi, Dolf Gielen, Morgan Bazilian«The potential for renewable energy in industrial applications» Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp 735– 744 (2011).

[8] Chida ; Dorra « Etude sur le dimensionnement et la simulation sous TRNSYS d'une installation solaire collective pour le chauffage de l'eau sanitaire», Rapport interne , école national d'ingénieurs de Monastir.

[9] R.J. Fuller «Solar industrial process heating in Australia - Past and current status» Renewable Energy, pp 216-221 (2010)

[10] B.Boutaghriout, A. GHouai, C. Hamouda & A. Malek, « réalisation d'une étude préliminaire du potentiel de production d'eau chaude par capteurs plans solaires pour une application industrielle dans la région des hauts plateaux». l'université de Batna ; Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°4 723 – 734(2010)

[11] Govind N. Kulkarni, Shireesh B. Kedare, Santanu Bandyopadhyay« Design of solar thermal systems utilizing pressurized hot water storage for industrial applications » ScienceDirect, pp 686–699 (2008)

[12] D.BLANDIN , G.KRAUSS, H.BOUIA, P.RIEDERER, D.CACCAVELLI «ETUDE DE LA STRATIFICATION DANS LES BALLONS D'EAU CHAUDE SOLAIRES» VIIIème Colloque Interuniversitaire Franco-québécois sur la Thermique des Systèmes, (2007)

[13] Govind N. Kulkarni, Shireesh B. Kedare, Santanu Bandyopadhyay« Determination of design space and optimization of solar water heating systems» ScienceDirect, pp 958–968 (2007)

[14] S.Sami-Mechri, A. Hamid, M. Belhamel& N.Ait Messaoudene « Etudie de la rentabilité d'une installation solaire de chauffage d'eau collective appliquée à différents sites algériens».CDER, Rapport interne ;(2003).

[15] A. Hamid, S.Sami, D.Semmar, D.Lafri et R.Kharchi « Etudie et réalisation d'une installation solaire de chauffage d'eau solaire collectif d'une capacité de 400litres» CDER ; Rev, En, Ren, Zone Arides, 95-100,(2002).

[16] Soteris Kalogirou «The potential of solar industrial process heat applications» ScienceDirect, pp 337–361(2002)

[17] B. Zaouari« étude technico-économique d'une installation solaire collective pour le chauffage de l'eau sanitaire à l'école national d'ingénieurs de Monastir». Tunisie ;(1996).

[18] CDER de Marrakech.« installation de chauffage solaire d'une capacité de 2500 litres et une autre installation de 950 litre». Maroc ; Rapport interne, (1986).

[19] W.A. Beckman, S.A Klein et J.A Duffie « Solar heating design by the f-chart method » ; Wiley , New York (1977)

[20] International Energy Agency,' *Key World Energy STATISTICS',2013*,www.iea.org

[21] Werner Weiss Franz Mauthner, *'Solar Heat Worldwide'*, IEA Solar Heating & Cooling Programme , May 2011.

[22] Syndicat des énergies renouvelables, *'Le solaire thermique dans le monde'*, Juin 2011

[23] Fatiha Bouhired, '*Développement des Chauffe Eau Solaires en Algérie*', N°17 2010.

[24] Bouakaz .A «Etude du potentiel d'énergie solaire thermique utilisé pour la production de l'eau chaude dans l'industrie agroalimentaire». These magister , université Hadj Lakhdar Batna (2012).

[25] Warner Weiss & Franz Mauther «Solar heat worldwide» edition 2012

[26] Claudia Vannoni - Riccardo Battisti and Serena Drigo, 'Potential *for Solar Heat inIndustrial Processes*', Task 33/IV, Department of Mechanics and Aeronautics -University of Rome "La Sapienza" ,Italy 2008

[27] C. Vannoni, R. Battisti and S. Drigo, 'The Potential of Solar Heat for Industrial Processes -POSHIP', Task 33/IV, University of Rome "La Sapienza", Final Report, 2001.

[28] Ministère de l'Energie e des Mines, '*Bilan énergétique nationale de l'année 2010*', Edition 2011. www.mem-algeria.org.

[29] Yaiche . R, «estimation du rayonnement solaire global en Algérie pour différents types de ciel » CDER, Revue des énergies renouvelables vol,13 N°4, (2010).

[30] Duffie J. A. et W. A. Beckman « Solar Engineering of Thermal Processus » Edition J.Willey and sons ,USA ; (1991).

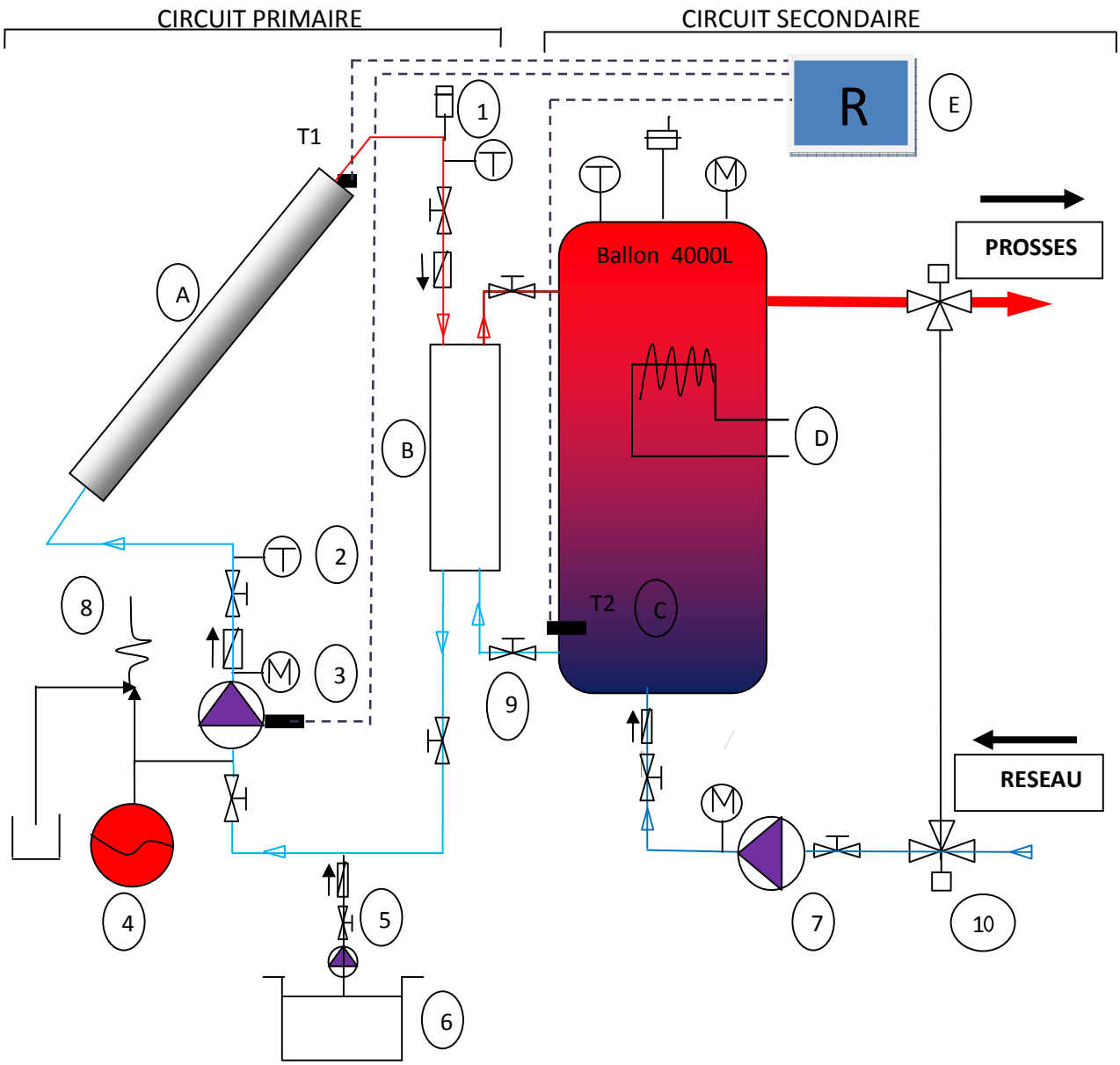
[31] M.Mezouk «Conversion Thermodynamique Solaire
Potentiel, Théorie, Systèmes et Performances, cours pour master 2 énergies renouvelables » ; université Saad Dahleb de Blida (2012)

[32] Clean Energy Project Analysis. RETScreen® Engineering and Case Studies Textbook,Solar Water Heating. Analysis Project Chapter, 3rd edn. (2005).

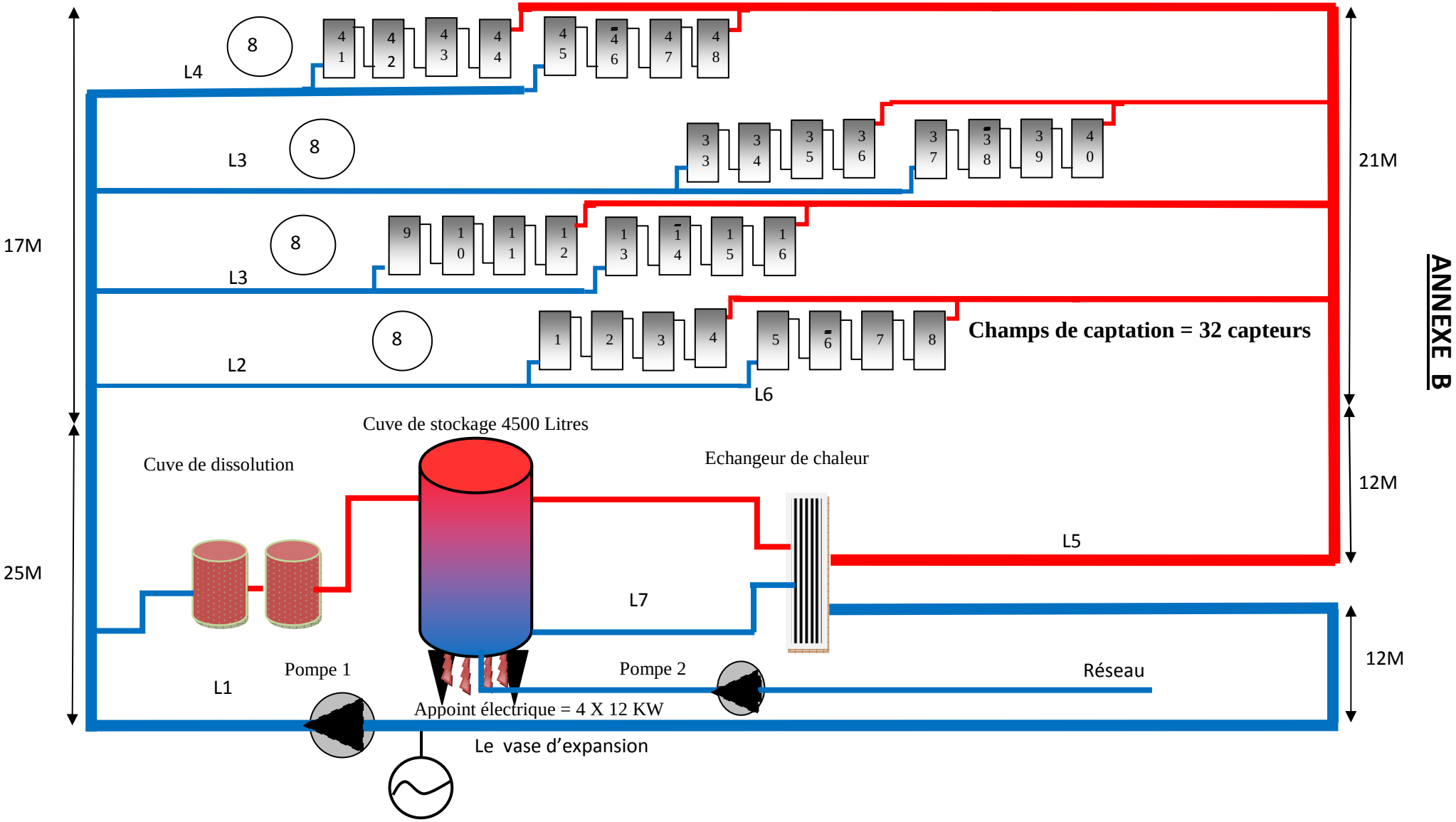
[33] A.Mounir, Z.Rima, and N.Aziz : Technical-Economic Analysis of Solar Water Heating Systems at Batna in Algeria.(20

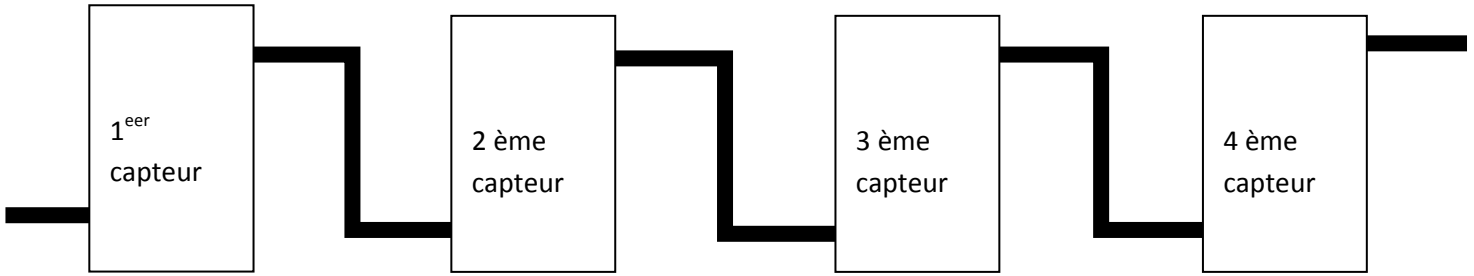
ANNEXE : A

SCHEMA DE L'INSTALLATION



A - Capteur solaire.	1- Purgeur	6 - Réservoir de remplissage
B - Echangeur de chaleur	2 - Thermomètre	7 - Pompe de circulation
C - Ballon solaire	3 - Manomètre	8 - Soupape de sécurité
D - Système d'appoint	4 - Vase d'expansion	9 - Vanne d'arrêt
E - Régulation	5 - Clapet anti -retour	10 - Vanne à trois voies


ANNEXE B
Champs de captation = 32 capteurs
Cuve de stockage 4500 Litres
Cuve de dissolution
Echangeur de chaleur
Pompe 1
Pompe 2
Réseau
Appoint électrique = 4 X 12 KW
Le vase d'expansion
L1
L2
L3
L4
L5
L6
L7
8
17M
25M
21M
12M
12M

ANNEXE C

Configuration