



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Institut de Maintenance et de sécurité industrielle معهد الصيانة والأمن الصناعي

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie en Génie Industriel

Thème :

**Etude et conception d'un Chauffe-eau
Solaire pour une maison individuelle**

Présenté par :

HEDIA Nessrine et DELMI BOURAS Abdelghani

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
BELKHODJA Leila	MCB	IMSI (Université d'Oran 2)	Président
REGUIEG YSSAAD Sadek	MAA	IMSI (Université d'Oran 2)	Encadreur
AOUIMER Yamina	MAA	IMSI (Université d'Oran 2)	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Avant de développer notre recherche et notre expérience professionnelle, il apparaît de commencer ce mémoire par de vifs remerciements, à nos enseignants qui nous ont beaucoup appris au cours de notre cursus afin d'aborder ce travail.

J'aimerais remercier tous les membres de ma famille pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements.

J'offre mes sincères remerciements à ma enseignante « Hamadouch Khadidja », Dieu vous garde et vous bénisse, à mon amie « Abdellaoui Alaa » pour m'avoir encouragé et supporté pendant le long parcours de mon cursus universitaire.

Je remercie aussi « Boualem Abdelali » qui m'a aidé par ses connaissances.

Aussi, je tiens à remercier Monsieur Sadek REGUIEG YSSAAD, notre encadreur dans ce travail qui nous a conseillé, formé et accompagné tout au long de cette expérience avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Aux membres de notre jury pour le grand honneur qu'ils nous feront en acceptant de juger ce travail.

À tous mes chers amis avec qui j'ai passé des moments inoubliables.

HEDIA Nessrine

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie Dieu l'unique, le puissant, de nous avoir donné la santé, la volonté, son guide et sa protection.

En second lieu, je remercie mes parents et toute ma famille pour leur soutien constant et leurs encouragements continus...

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur Sadek REGUIEG YSSAAD notre encadreur pour son soutien et aide, et pour la confiance qu'il a placé en nous, pour ses critiques et suggestions qui ont été pour moi d'un grand apport...

A Mon cher ami « Abdellaoui Alaa ».

Je remercie aussi tout ce qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail...

DELMY BOURAS Abdelghani

Résumé

Aujourd'hui, la demande d'énergie est bien supérieure aux sources disponibles, en particulier pour les combustibles fossiles. Il est donc indispensable de se tourner vers d'autres alternatives. Ainsi, l'énergie solaire, grâce à son abondance et à son potentiel, devient l'un des moyens les plus efficaces et les plus durables à répondre aux besoins énergétiques des populations. Cette source d'énergie peut être exploitée de multiples façons mais ce qui nous intéresse spécialement, c'est sa capacité à chauffer l'eau sanitaire.

L'objectif de ce travail est la conception (assistée par ordinateur) d'une installation solaire de chauffage d'eau sanitaire pour une habitation individuelle en considérant les différents paramètres liés à la demande en eau chaude. Il s'agit de réaliser le dimensionnement des composantes qui aboutit au rendement énergétique le plus satisfaisant possible du système. Cette tâche essentielle dans tout projet de ce type a été réalisée à l'aide du logiciel de conception et simulation solaire T*SOL. L'occurrence des résultats est représentée sous forme de graphiques reflétant les variations de chaque paramètre.

Mots clés : Energie solaire, Energie thermique, Chauffe-eau solaire, Capteur plan solaire, Simulation sous T*SOL, Rendement énergétique.

ملخص

يفوق الطلب على الطاقة اليوم بكثير المصادر المتاحة خاصة المتعلقة بالوقود الأحفوري لذلك أصبح من الضروري اللجوء إلى بدائل أخرى. إن الطاقة الشمسية بفضل وفرتها وإمكاناتها، يمكن أن تكون واحدة من أكثر الطرق كفاءة واستدامة لتلبية احتياجات الطاقة للمجتمعات. يمكن استخدام مصدر الطاقة هذا بعدة طرق ولكن ما يهمنا هنا هو قدرتها على تسخين المياه المنزلية.

إن الهدف من هذا العمل هو تصميم تركيب شمسي لتسخين المياه المنزلية خاص بمسكن فردي من خلال مراعاة مختلف المعايير المتعلقة بالطلب على المياه الساخنة. بتعلق الأمر بتحديد أبعاد ومكونات الجهاز التي تؤدي إلى أحسن مردود طاقي ممكن للنظام. تم تنفيذ هذه المهمة الأساسية كما في أي مشروع من هذا النوع بمساعدة برنامج تصميم ومحاكاة تركيبات الطاقة الشمسية المعروف T*SOL كما تم إدراج مختلف المخططات والمنحنيات لتوضيح النتائج المتحصل عليها ومناقشتها.

كلمات مفتاحية: طاقة شمسية ، طاقة حرارية ، سخان مياه شمسي ، مجّع شمسي مسطح ، محاكاة بواسطة برنامج T*SOL ، مردود طاقي.

Table des matières :

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Energie solaire.....	3
1.1 Introduction	3
1.2 Le système solaire	3
1.3 Le soleil	4
1.4 Rayonnement solaire	6
1.4.1 Types de rayonnement solaire	7
1.4.2 Caractéristiques du rayonnement solaire	7
1.4.3 Nécessité du rayonnement solaire	8
1.5 Les technologies de captage d'énergie solaire	9
1.5.1 Panneaux solaires photovoltaïques	9
1.5.2 L'énergie des radiations électromagnétiques solaires	10
1.5.3 L'énergie solaire thermique	11
1.5.4 Technologie des tubes sous vide	12
1.5.5 L'énergie solaire à sel fondu	13
1.5.6 L'énergie solaire thermodynamique	14
1.5.7 L'énergie solaire aérovoltaïque	15
1.6 Applications de l'énergie solaire	15
- L'électrification	16
- La climatisation	16
- La production d'eau chaude	17
- L'agriculture	18
1.7 Mesure de l'énergie solaire	19
1.8 Avantages de l'énergie solaire	20
1.9 Inconvénients de l'énergie solaire	20
1.10 Conclusion	21
Chapitre 2 : Généralités sur les chauffe-eaux solaires	23
2.1 Introduction	23
2.2 Définition de chauffe-eau solaire	23
2.3 Les types de chauffe-eaux solaires	24
2.4 Les composants d'un chauffe-eau solaire.....	26
2.4.1 Capteur solaire.....	27
2.4.2 La ballon de stockage.....	33
2.4.3 L'échangeur électrique.....	33
2.4.4 L'appoint électrique.....	34
2.5 Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire	38
2.6 Conclusion	39

Chapitre 3 : Proposition d'une installation de chauffage d'eau solaire	41
3.1 Introduction	41
3.2 Dimensionnement des composants principaux	41
3.2.1 Dimensionnement du ballon de stockage.....	43
3.2.2 Dimensionnement du capteur solaire.....	44
3.2.3 Dimensionnement de la tuyauterie.....	46
3.2.4 Dimensionnement de l'échangeur thermique.....	47
3.2.5 Dimensionnement de l'appoint électrique.....	48
3.3 Conclusion	48
Chapitre 4 : Analyse et Simulation du Chauffe-eau solaire proposé.....	50
4.1 Introduction	50
4.2 Présentation du logiciel T*SOL	50
4.3 Sélection de notre modèle d'installation ECS solaire	51
4.4 Paramétrage des composants de notre installation	52
4.4.1 Capteur solaire.....	53
4.4.2 Ballon de stockage.....	54
4.4.3 Circuit solaire.....	54
4.5 Résultats expérimentaux et discussion	54
4.5.1 Résultats « Météo ».....	55
- Température extérieure.....	55
- Rayonnement solaire global horizontal.....	56
4.5.2 Résultats « Consommation ECS ».....	56
- Température eau chaude sanitaire et eau froide.....	57
- Besoin énergétique pour le réchauffement d'eau sanitaire.....	58
- Taux de couverture en eau chaude sanitaire.....	59
4.5.3 Résultats « Circuit capteurs ».....	59
- Température en sortie du circuit capteur.....	59
- Pertes thermiques (Circuit capteurs et Tuyauterie).....	60
- Rendement du circuit capteurs.....	62
4.5.4 Résultats « Usage de l'appoint électrique ».....	62
- Energie solaire et énergie d'appoint nécessaires pour l'ECS	62
4.6 Résultats de la simulation annuelle	62
4.7 Synthèse des résultats	63
4.8 Conclusion	63
Conclusion générale	65
Bibliographie.....	66

Liste des figures

Figure 1 – Le Système solaire	4
Figure 2 - Le soleil	5
Figure 3 - Panneau solaire photovoltaïque.....	9
Figure 4 – Chauffe-eau solaire	12
Figure 5 - Chauffe-eau solaire à tubes sous vide.....	13
Figure 6 - Énergie solaire à sel fondu.....	14
Figure 7 – L'électrification.....	16
Figure 8 - Production d'eau chaude par l'énergie solaire.....	17
Figure 9 – Utilisation de l'énergie solaire dans l'agriculture	18
Figure 10 - Pyranomètre.....	19
Figure 11 - Chauffe-eau solaire à thermosiphon (monobloc).....	25
Figure 12 - Chauffe-eau solaire à éléments séparés (circulation forcée).....	25
Figure 13 - Composants d'un capteur plan solaire vitré.....	27
Figure 14 - Absorptivité et émissivité de divers types de revêtements	30
Figure 15 - Diverses formes d'absorbeurs (d'après DGS Solar Anlagen 2001)	31
Figure 16 - Deux types d'échangeurs.....	33
Figure 17 – Emplacement de l'appoint électrique (résistance)	33
Figure 18 – Une soupape de sécurité.....	34
Figure 19 – Un vase d'expansion	35
Figure 20 - Un purgeur.....	36
Figure 21 – Un clapet anti-retour	36
Figure 22 - Conduites de liaison isolées.....	37
Figure 23 - Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire	38
Figure 24 - Installation d'un chauffe-eau solaire	42
Figure 25 – Exemple d'un échangeur thermique dans un ballon de 1000L	46
Figure 26 - Appoint électrique (Résistance).....	47
Figure 27 - Installation ECS avec résistance.....	51
Figure 28 – Météo Map de T*SOL (Sélection de localisation).....	52
Figure 29 - L'évolution de la température extérieure en fonction du mois.....	54
Figure 30 - La variation du rayonnement solaire global horizontal.	55
Figure 31 - Températures eau chaude sanitaire et températures eau froide.	56
Figure 32 - Besoins énergétiques pour le réchauffement d'eau sanitaire.....	57
Figure 33 - Taux de couverture en eau chaude sanitaire	58
Figure 34 - Température en sortie du circuit capteurs.....	59
Figure 35 - Pertes thermiques (Capteurs et Tuyauterie extérieur et intérieur).	60
Figure 36 - Le rendement moyen du circuit capteurs.....	61
Figure 37 – Energie solaire et énergie d'appoint.....	62

Liste des tableaux

Tableau 1 - Résultats du dimensionnement de la tuyauterie.	45
Tableau 2 - Caractéristiques techniques de notre capteur solaire.....	52
Tableau 3 - Les différents paramètres utilisés dans le ballon d'eau chaude.	53
Tableau 4 - Les différents paramètres utilisés dans le circuit solaire.....	53
Tableau 5 - Résultats de la simulation annuelle.	62

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance dans les années à venir. Les sociétés industrialisées utilisent davantage d'énergie. Encore moins exposées au soleil, elles trouvent les moyens de tirer cette énergie à partir de sources fossiles. Le fait que cette dernière ne doit pas être utilisée car sa consommation engendre l'effet de serre, elle doit être remplacée par des énergies renouvelables, ce qui est une aubaine pour les pays très ensoleillés comme l'Algérie qui doit axer sa politique de développement sur l'exploitation et la commercialisation de cette énergie prometteuse, gratuite et non polluante.

L'énergie visée dans ce travail est donc l'énergie solaire, utilisée depuis longtemps pour répondre à certains besoins de chaleur. Le chauffe-eau solaire est l'outil solaire le plus développé au monde. Il en existe littéralement des millions au Japon, aux Etats-Unis, des dizaines de milliers en France,...etc. et rares sont les pays dans lesquels ils sont totalement inconnus. En Algérie, les chauffe-eaux solaires sont encore très peu utilisés même si la demande en eau chaude dans toutes les zones du pays est importante.

On comprend vite la raison pour laquelle les installations de chauffage d'eau solaire sont la solution énergétique qui répond au mieux à l'objectif de notre projet qui est l'étude, la conception et la mise au point d'un chauffe-eau solaire pour une maison individuelle comme nous le verrons tout au long de ce travail.

Ce mémoire est constitué de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre nous allons étudier l'énergie solaire, ses technologies de captage ainsi que ses applications diverses.
- Le deuxième chapitre donne des informations générales sur les chauffe-eaux solaires, leurs composantes, leur fonctionnement et les différents types de capteurs solaires.
- Le troisième chapitre explique le dimensionnement d'un chauffe-eau solaire où nous allons proposer la conception d'une installation dédiée au chauffage d'eau pour une maison individuelle avec la présentation des différentes étapes et calculs.
- Le quatrième chapitre concerne l'utilisation du logiciel de conception et de simulation T*SOL dans le but de simuler notre chauffe-eau solaire proposé en chapitre 3 et analyser ses performances, notamment son taux de couverture en eau chaude et son rendement.

Chapitre 1 :

Energie Solaire

Chapitre 1 :

Energie solaire

1.1 Introduction :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires. [1]

1.2 Le système solaire :

On appelle Système solaire, l'ensemble des astres soumis au champ de gravitation du Soleil (notre étoile à elle seule représente 99,8 % de la masse totale du Système solaire !).

Le Système solaire évolue dans l'un des bras de notre galaxie spirale, la Voie lactée, à quelque 26.000 années-lumière de son centre. Selon les définitions établies par l'Union astronomique internationale, notre Système solaire comprend notamment :

- Huit planètes - et leurs satellites naturels ; il y en a plus de 175 connus - qui sont Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, par ordre d'éloignement au Soleil. Les quatre premières sont qualifiées de planètes telluriques, les quatre dernières, de planètes gazeuses.
- Des planètes naines comme Pluton ou Cérés.
- Plusieurs centaines de milliers d'astéroïdes composés de roches et de minéraux métalliques essentiellement. Leur taille est extrêmement variable, de plusieurs centaines de kilomètres aux grains de poussière. Ils sont regroupés majoritairement dans la Ceinture d'astéroïdes principale, située entre Mars et Jupiter.
- Des milliers de comètes composées de poussières et de glaces volatiles.
- D'innombrables petits corps glacés comme les Centaures - qui orbitent entre Jupiter et Neptune - ou encore les objets transneptuniens dans la lointaine Ceinture de Kuiper.

Au-delà de la Ceinture de Kuiper se trouverait un gigantesque ensemble de corps glacés baptisé nuage d'Oort. Sa limite externe marquerait la limite de l'influence gravitationnelle du Soleil. Les astronomes estiment qu'elle se situe quelque part entre 1,6 et 2 années-lumière - soit entre 101.186 et 126.482 unités astronomiques - de notre étoile ! Mais l'héliosphère -

cette bulle créée par les vents solaires - ne s'étend pas aussi loin. Le milieu interstellaire l'interrompt dans une direction à une centaine d'unités astronomiques, soit seulement quelque 0,002 année-lumière.

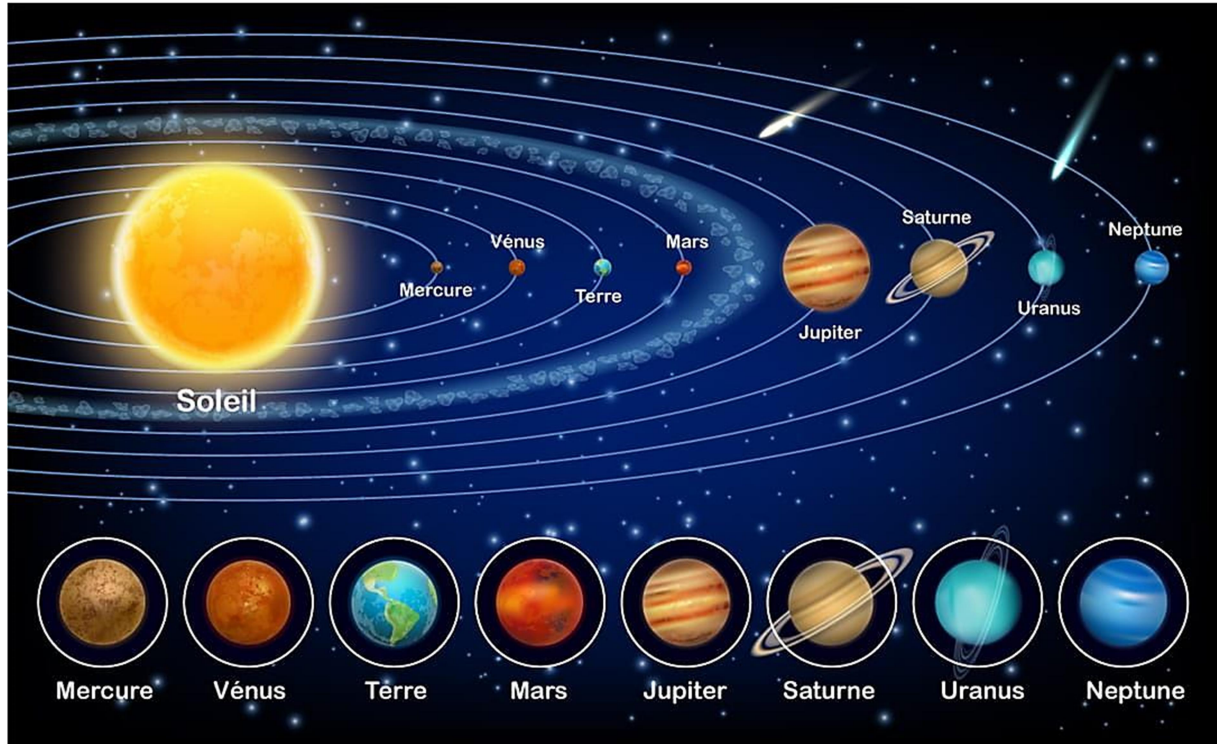


Figure 1 – Le Système solaire

Notons que le Système solaire réserve sans doute encore des surprises aux astronomes. Certaines régions comme la zone située entre le Soleil et Mercure sont encore mal connues. Les orbites de plusieurs objets transneptuniens suggèrent qu'une neuvième planète, peut-être 4 fois plus grande que la Terre et 10 fois plus massive, pourrait se cacher aux confins de notre Système solaire, entre 500 et 1.200 unités astronomiques du Soleil. [2]

1.3 Le soleil :

Etoile centrale du système solaire, le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre, dont elle est distante d'environ 150 millions de kilomètres. Dans la classification des étoiles, le soleil est une étoile de type G2. La masse du Soleil représente la majeure partie de la masse du système solaire. Elle est utilisée comme unité de masse pour les étoiles. L'énergie solaire, d'une importance capitale pour la Terre et notamment pour la vie, est produite par les réactions nucléaires qui se déroulent au cœur du Soleil. Agé d'environ 5 milliards d'années, le Soleil

continuera à briller, avec une luminosité augmentant lentement, pendant une durée équivalente avant d'évoluer en géante étoile rouge et finalement de mourir.

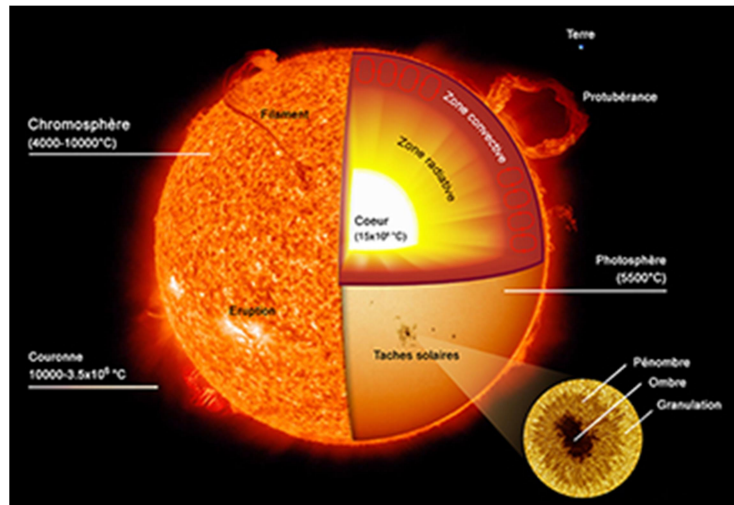


Figure 2 - Le soleil

Le mouvement apparent du Soleil par rapport à la Terre donne lieu aux saisons, dues à l'inclinaison du plan de l'écliptique par rapport à celui de l'équateur terrestre. La rotation de 27 jours du Soleil autour de lui-même a été découverte par Galilée en 1611.

On distingue dans le Soleil diverses couches parmi lesquelles le noyau ou coeur, la zone radiative, la zone de convection, la photosphère (qui émet la majeure partie de la lumière solaire), la chromosphère et sa partie extérieure, la couronne. La densité décroît avec l'altitude, du noyau vers l'atmosphère. La température régnant dans le noyau est de l'ordre de 15 millions de kelvins. Elle décroît dans les zones radiatives et convectives. Dans la photosphère, qui constitue la surface visible du Soleil, elle est de l'ordre de 5800 K en moyenne. Dans les plus basses couches de la chromosphère, la température décroît avec l'altitude jusqu'à environ 4500 K, avant de croître à nouveau, surtout dans la zone de transition, où cette croissance est très forte sur une épaisseur réduite. La température de la couronne atteint des températures de l'ordre de 10^6 K. Cette température extrêmement élevée n'est pas encore totalement expliquée.

L'atmosphère solaire est un milieu complexe constitué de plasma soumis à un champ magnétique intense, siège d'éruptions solaires et qui émet le vent solaire. Les taches solaires,

qui apparaissent sombres à cause de leur température plus basse sont, comme la couronne, des radiosources. L'activité solaire liée à ces phénomènes varie de manière cyclique.

Récemment, l'héliosismologie a permis de mieux appréhender la structure interne du Soleil. La couche convective interne n'est connue que par les ondes étudiées dans cette discipline et par l'étude des neutrinos solaires, produits au cours des réactions nucléaires se déroulant dans le cœur. Le déficit des neutrinos solaires observés par rapport à ceux attendus est l'une des interrogations de l'astrophysique solaire.

L'observation du spectre solaire s'effectue grâce à des spectrohéliographes. Ce spectre comprend des raies, connues depuis Fraunhofer (1814), qui signalent la présence d'hydrogène et d'hélium principalement et d'une soixantaine d'autres éléments. Il comprend également des bandes qui trahissent la présence de molécules dans l'atmosphère solaire. [4]

1.4 Rayonnement solaire :

C'est l'énergie que le Soleil émet dans l'espace interplanétaire.

Lorsque nous parlons de la quantité d'énergie solaire atteignant la surface terrestre, nous utilisons des concepts d'irradiance et d'irradiation. L'irradiation solaire est l'énergie reçue par unité de surface au cours du temps (J/m^2), la puissance reçue en un temps donné. De même, l'irradiance solaire est la puissance reçue en un instant - elle est exprimée en watts par mètre carré (W/m^2).

Les réactions de fusion nucléaire ont lieu dans le noyau solaire et sont la source d'énergie du Soleil. Le rayonnement nucléaire produit une perte de masse et un rayonnement électromagnétique à diverses fréquences ou longueurs d'onde. Ce rayonnement thermique se propage dans l'espace à la vitesse de la lumière (299 792 km/s).

Une valeur singulière est la constante solaire ; la constante solaire est la quantité de rayonnement reçue instantanément par unité de surface dans la partie externe de l'atmosphère terrestre dans un plan perpendiculaire aux rayons solaires. En moyenne, la valeur de la constante solaire est de $1,366 W/m^2$.

Les panneaux photovoltaïques sont capables de capter la lumière solaire et la transformer en énergie électrique.[5]

1.4.1 Types de rayonnement solaire :

Le rayonnement émis par le Soleil est composé des types de rayonnement suivants :

- **Rayons infrarouges (IR) :** Le rayonnement infrarouge fournit de la chaleur et représente 49 % du rayonnement solaire.
- **Rayons visibles (VI) :** représentent 43 % du rayonnement et fournissent de la lumière.
- **Rayons ultraviolets (rayonnement UV) :** représentent 7%.
- **Autres types de rayons :** représentent environ 1% du total.

Types de rayons ultraviolets :

À leur tour, les rayons ultraviolets (UV) sont subdivisés en trois types :

- **Ultraviolet A ou UVA :** Ils traversent facilement l'atmosphère, atteignant toute la surface de la terre.
- **Ultraviolet B ou UVB :** Courte longueur d'onde. A plus de difficulté à traverser l'atmosphère. En conséquence, ils atteignent la zone équatoriale plus rapidement qu'aux hautes latitudes.
- **Ultraviolet C ou UVC :** Courte longueur d'onde. Ils ne traversent pas l'atmosphère. Au lieu de cela, la couche d'ozone les absorbe.

Le rayonnement ultraviolet est le rayonnement dont la longueur de ses ondes électromagnétiques est comprise entre environ 100 nm et 400 nm.

Son nom vient du fait que sa gamme commence à partir de longueurs d'onde plus courtes que ce que l'œil humain identifie comme de la lumière violette. Toutefois, cette lumière ou longueur d'onde est invisible pour l'œil humain car elle est au-dessus du spectre visible. Ce rayonnement fait partie intégrante des rayons du soleil et produit divers effets sur la santé car il se situe entre les rayonnements non ionisants et ionisants.[5]

1.4.2 Caractéristiques du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire total est distribué dans un large spectre d'amplitude non uniforme avec la forme typique d'une cloche, comme c'est typique du spectre d'un corps noir avec lequel la source solaire est modélisée. Par conséquent, il ne se concentre pas sur une seule fréquence.

Le maximum de rayonnement est centré dans la bande de rayonnement ou de lumière visible avec un pic à 500 nm en dehors de l'atmosphère terrestre, ce qui correspond à la couleur vert cyan.

Selon la loi de Wien, la bande de rayonnement photo synthétiquement active oscille entre 400 et 700 nm, correspond au rayonnement visible et équivaut à 41 % du rayonnement total. Dans le rayonnement photo synthétiquement actif, il existe des sous-bandes avec un rayonnement :

- bleu-violet (400-490 nm).
- vert (490-560 nm).
- jaune (560-590 nm).
- rouge-orange (590-700 nm).

Lors de la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est soumis à la réflexion, la réfraction, l'absorption et la diffusion par les différents gaz atmosphériques à un degré variable en fonction de la fréquence.

L'atmosphère terrestre agit comme un filtre. La partie extérieure de l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement, réfléchissant le reste directement dans l'espace. D'autres éléments qui agissent comme un filtre sont le dioxyde de carbone, les nuages et la vapeur d'eau, qui se transforment parfois en rayonnement diffus.

Nous devons garder à l'esprit que le rayonnement solaire varie en fonction de l'emplacement. Par exemple, les zones tropicales reçoivent le plus de rayonnement solaire parce que les rayons du Soleil sont presque perpendiculaires à la surface de la Terre.[5]

1.4.3 Nécessité du rayonnement solaire :

L'énergie solaire est la principale source d'énergie et, par conséquent, le moteur de notre environnement. L'énergie solaire que nous recevons grâce au rayonnement solaire est directement ou indirectement responsable d'aspects vitaux des processus biologiques tels que la photosynthèse, le maintien d'une température de la surface du planète compatible avec la vie, ou le vent.

L'énergie solaire globale qui atteint la surface de la terre est 10 000 fois supérieure à l'énergie actuellement consommée par l'ensemble de l'humanité. [5]

1.5 Les technologies de captage d'énergie solaire :

On associe la plupart du temps le captage de l'énergie solaire aux panneaux solaires que l'on peut voir sur le toit des maisons. Or, son adoption dans le commerce couvre une large diversité d'applications qui fournissent au monde une quantité d'énergie astronomique. Étudions cinq technologies innovantes de captage de l'énergie solaire.[6]

1.5.1 Panneaux solaires photovoltaïques :

Les panneaux solaires photovoltaïques (PV) utilisent l'énergie du soleil pour générer un flux d'électricité. C'est aujourd'hui la méthode la plus couramment adoptée pour capter l'énergie solaire. Ces panneaux, dont la taille varie de quelques centimètres carrés à plusieurs mètres carrés, sont constitués d'un grand nombre de cellules photovoltaïques disposées selon une matrice complexe. Comme on peut s'en douter, plus la surface de cellules pouvant être pénétrées par les rayons du soleil est large, plus la quantité d'énergie captée est importante.

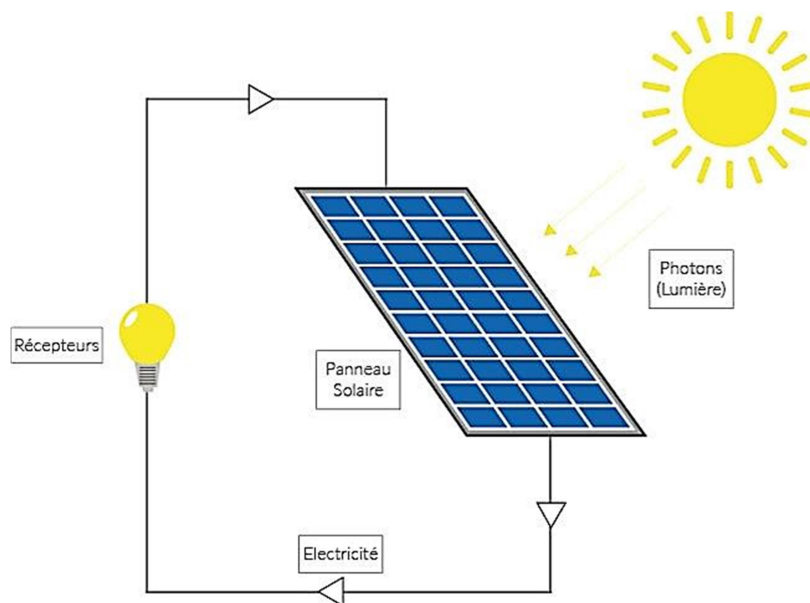


Figure 3 - Panneau solaire photovoltaïque.

Chaque cellule solaire photovoltaïque est en général faite d'une structure composée de plaquettes de semi-conducteurs, qui peut être une structure monocristalline ou polycristalline. Les deux fines plaquettes de semi-conducteurs de la structure, l'une de

type P et l'autre de type N, sont assemblées séparément. Les deux plaquettes sont placées l'une au-dessus de l'autre et la réaction qui se produit naturellement entre ces deux types de semi-conducteurs crée une zone de déplétion qui atteint un point d'équilibre, cela sans générer la moindre électricité. Avec la cellule photovoltaïque, lorsque les photons de lumière traversent les plaquettes de semi-conducteurs en créant une connexion, cette interaction libère suffisamment d'énergie pour perturber l'équilibre dans la région de déplétion. Cette action crée alors un bref flux d'électricité. Toutefois, puisque la lumière est constamment présente, cette interaction se produit en continu et peut générer des quantités phénoménales d'énergie électrique.

La puissance produite par l'interaction d'un seul photon se reproduit sur toute la surface de la cellule. Cette cellule se combine avec d'autres pour former tout un panneau de cellules solaires, puis un vaste ensemble de panneaux photovoltaïques. L'interaction mineure produite dans la zone de déplétion peut-être répétée et multipliée, produisant ainsi une quantité d'électricité significative. Les réseaux solaires photovoltaïques, cependant, produisent du courant continu. Pour pouvoir s'intégrer dans les systèmes modernes de transmission d'énergie, tels que les prises électriques murales de votre domicile, cette énergie continue doit être convertie en courant alternatif à l'aide d'un onduleur. Cette technologie fondamentale se décline en divers modèles exclusifs qui cherchent à optimiser l'efficacité de chaque cellule photovoltaïque au niveau des molécules, de la constitution des panneaux et de la capacité de ces derniers à s'intégrer dans un plus vaste réseau solaire.[6]

1.5.2 L'énergie des radiations électromagnétiques solaires :

Le soleil produit un large spectre de radiations de différentes longueurs d'onde, notamment l'infrarouge. Ce spectre transfère efficacement l'énergie thermique à des corps capables de l'absorber. On appelle « corps noir » les éléments qui peuvent absorber efficacement cette énergie électromagnétique thermique, car la couleur noire absorbe toutes les longueurs d'ondes des radiations visibles par l'œil humain. Un corps noir idéal peut absorber et émettre correctement toutes les longueurs d'onde de radiations électromagnétiques.

Les radiations électromagnétiques sont utilisées depuis longtemps pour le chauffage dans de nombreux systèmes passifs, comme dans notre exemple de cuisson de l'œuf, dans les thermes romains ou les maisons de l'Égypte ancienne, ainsi que dans des solutions modernes telles que les panneaux solaires thermiques et les thermosiphons. Ces stratégies de captage de l'énergie solaire thermique reposent largement sur la physique des radiations des corps noirs et leur capacité à absorber et à transférer les radiations électromagnétiques.

Dans un contexte résidentiel, l'énergie thermique est le plus souvent recueillie pour être utilisée dans des systèmes de chauffage de l'eau. Ces solutions sont cependant moins bien adaptées à la production d'énergie à l'échelle industrielle. [6]

1.5.3 L'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est l'énergie thermique du rayonnement solaire. Elle est captée dans le but d'échauffer un fluide (liquide ou gaz). L'énergie reçue par le fluide peut être ensuite utilisée directement (eau chaude sanitaire, chauffage, etc.) ou indirectement (production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique, production de froid, etc.).

C'est ainsi une forme d'énergie provenant de la chaleur transmise par le soleil par rayonnement. Le capteur solaire est l'instrument utilisé pour transformer le rayonnement solaire en chaleur. Les principes physiques fondamentaux qui fondent cette production d'énergie sont notamment l'absorption et la conduction thermique. Dans le cas particulier des systèmes à concentration (centrale solaire thermodynamique, four solaire, etc.), la réflexion joue aussi un rôle important.

Le solaire thermique se développe, malgré un net ralentissement depuis 2009. La Chine représente à elle seule 71 % de la puissance installée des capteurs, mais en puissance par habitant elle est dépassée par sept pays, dont l'Autriche, la Grèce et l'Australie.[8]



Figure 4 – Chauffe-eau solaire

Le chauffe-eau solaire est un excellent exemple d'application de captage de l'énergie solaire thermique couramment utilisée sous tous les climats ensoleillés du monde. Cette version ultra simple d'un système de chauffage de l'eau par le soleil utilise une pompe pour faire circuler de l'eau froide à travers un panneau de couleur noire. Cela ressemble visuellement à un panneau solaire photovoltaïque. La surface noire absorbe efficacement l'énergie thermique, qui est refroidie par l'eau en circulation, laquelle est alors réchauffée. L'eau circule en permanence dans cette boucle, ce qui crée de l'eau chaude grâce à l'activité solaire. Certains systèmes peuvent se passer de pompe en utilisant l'effet de flottabilité créé par l'eau ainsi chauffée. Cette eau plus chaude « flotte » tandis que l'eau plus froide s'enfonce, ce qui produit de faibles mouvements de flux dans le système et crée un thermosiphon. Dans ces systèmes, la cuve de stockage doit être placée au-dessus de la source d'absorption solaire. [6]

1.5.4 Technologie des tubes sous vide :

Certains systèmes de chauffage d'eau solaires plus évolués et plus efficaces utilisent des tubes sous vide et des tuyaux chauffants autonomes pour transférer l'énergie thermique à une cuve secondaire. Le tube sous vide laisse pénétrer l'énergie rayonnante dans le système, mais toute l'énergie transformée en énergie thermique est contenue dans le tube.



Figure 5 - Chauffe-eau solaire à tubes sous vide

Le tuyau chauffant absorbe cette énergie et la transfère à une large cuve d'eau. Ces systèmes sont nettement plus efficaces pour chauffer l'eau pendant les mois froids car le tube sous vide ne laisse s'échapper que de faibles quantités d'énergie thermique, ce qui permet de convertir la quasi-totalité de l'énergie rayonnante en énergie thermique.[6]

1.5.5 L'énergie solaire à sel fondu :



Figure 6 - Énergie solaire à sel fondu

Des avancées relativement récentes dans les systèmes à sel fondu repoussent les limites de la production énergétique solaire. Toutefois, comme pour les chauffe-eaux solaires que nous venons de voir, les systèmes énergétiques à sel fondu utilisent les radiations électromagnétiques pour faire fondre du sel. Ce sel fondu est alors transféré à un échangeur de chaleur qui chauffe l'eau jusqu'à la transformer en vapeur, qui est ensuite guidée à travers une turbine pour générer de l'électricité.

Les centrales énergétiques à sel fondu, comme la centrale solaire d'Ivanpah, s'appuient sur un vaste réseau de miroirs héliostats pour concentrer la lumière du soleil en un point unique, que l'on appelle en général tour solaire ou tour centrale. Cette tour recueille l'énergie de tous les héliostats environnants, ce qui suffit à faire fondre le sel à plus de 800 °C. Ce sel fondu est ensuite stocké dans des réservoirs isolés, ce qui permet d'utiliser l'énergie même quand le soleil ne brille plus. [6]

1.5.6 L'énergie solaire thermodynamique :

Cette énergie solaire est produite par la production de chaleur et le mouvement d'une machine thermique. Les rayonnements du soleil sont directement convertis en électricité grâce à de grands miroirs paraboliques capables de les collecter et de les concentrer. Ces miroirs sont dotés de fluides caloporteurs qui transportent la chaleur préalablement collectée. C'est cette chaleur qui actionne le mouvement des machines thermiques, qui elles, produisent de la

vapeur. Enfin, une fois sous pression, la vapeur générée fait tourner les turbines et les alternateurs qui produisent de l'électricité. Ce type d'énergie peut aussi être qualifié d'énergie thermique à usage indirect et est principalement utilisé dans les centrales solaires thermiques.[8]

1.5.7 L'énergie solaire aérovoltaïque :

Les panneaux solaires aérovoltaïques combinent le fonctionnement des capteurs solaires thermiques et celui des modules photovoltaïques. Ce panneau solaire est composé de deux faces : la couche supérieure et la couche inférieure. La première, orientée vers le soleil, produit de l'électricité dès lors qu'elle entre en contact avec les rayons du soleil. La seconde, côté inférieur, est dotée d'un capteur solaire qui capte la chaleur du soleil. Ce panneau hybride a un rendement plus élevé que celui des panneaux solaires classiques surtout dans les endroits où les températures sont très élevées (comme le Sénégal). En effet les températures trop élevées diminuent le rendement des panneaux solaires ; En récupérant la chaleur des panneaux pour chauffer de l'eau, le panneau aérovoltaïque baisse ainsi sa température interne, ce qui permet d'accroître son rendement.[8]

1.6 Applications de l'énergie solaire :

L'éventail des applications de l'énergie solaire est relativement large. Il va de l'électrification à l'agriculture en passant par la climatisation, le chauffage, la production de l'eau chaude solaire et le pompage solaire.[9]

L'électrification :



Figure 7 – L'électrification

Avec des panneaux solaires photovoltaïques on peut produire de l'électricité. Cette électricité peut être utilisée de plusieurs manières :

- L'éclairage domestique : toutes vos ampoules domestiques peuvent fonctionner avec l'énergie solaire. En utilisant es ampoules LEDs de 10 kWh, un panneau de 100 w pourrait vous permettre d'utiliser jusqu'à 10 ampoules dans votre maison.
- L'éclairage public, avec les lampadaires solaires.
- Les équipements électriques domestiques : vos panneaux vont produire du courant continu. L'onduleur de votre installation va le transformer en courant alternatif qui sera utilisable par la totalité de vos appareils électriques : lave-linge, micro-ondes, télévisions, ventilateurs, climatiseurs, réfrigérateurs, etc.[9]

La climatisation :

Les besoins en climatisation sont très importants au Sénégal. D'avril à mi-juin le besoin se fait sentir, de la mi-juin à mi-décembre, la vie est quasiment impossible sans climatisation. Or, la climatisation coûte cher. L'énergie solaire vient ici à la rescousse en permettant de diviser par trois votre facture énergétique liée à la climatisation.

L'énergie solaire peut être utilisée pour la climatisation de 2 manières :

- D'abord en produisant de l'électricité qui peut être utilisée pour faire fonctionner un climatiseur classique : cette option n'est pas recommandée par qu'elle est très couteuse vu que le climatiseur sera en général très consommateur (plus de 2000 kWh) et aussi qu'il va fonctionner avec du courant alternatif qui doit être converti par un onduleur avec une puissance conséquente (donc plus).
- En faisant directement marcher des climatiseurs solaires : ces climatiseurs solaires ont en général une meilleure efficacité énergétique (Coefficient SEER) ce qui leurs permet d'avoir une consommation énergétique réelle de 600 kWh pour les modèles 12 BTU.[9]

La production d'eau chaude :

Les capteurs solaires thermiques ainsi que les panneaux solaires aérovoltaiques permettent d'utiliser la chaleur du soleil pour chauffer de l'eau. Cette eau peut être à usage sanitaire et donc envoyée vers un ballon d'eau chaude ou à usage de chauffage et donc envoyé vers des radiateurs ou un plancher chauffant.

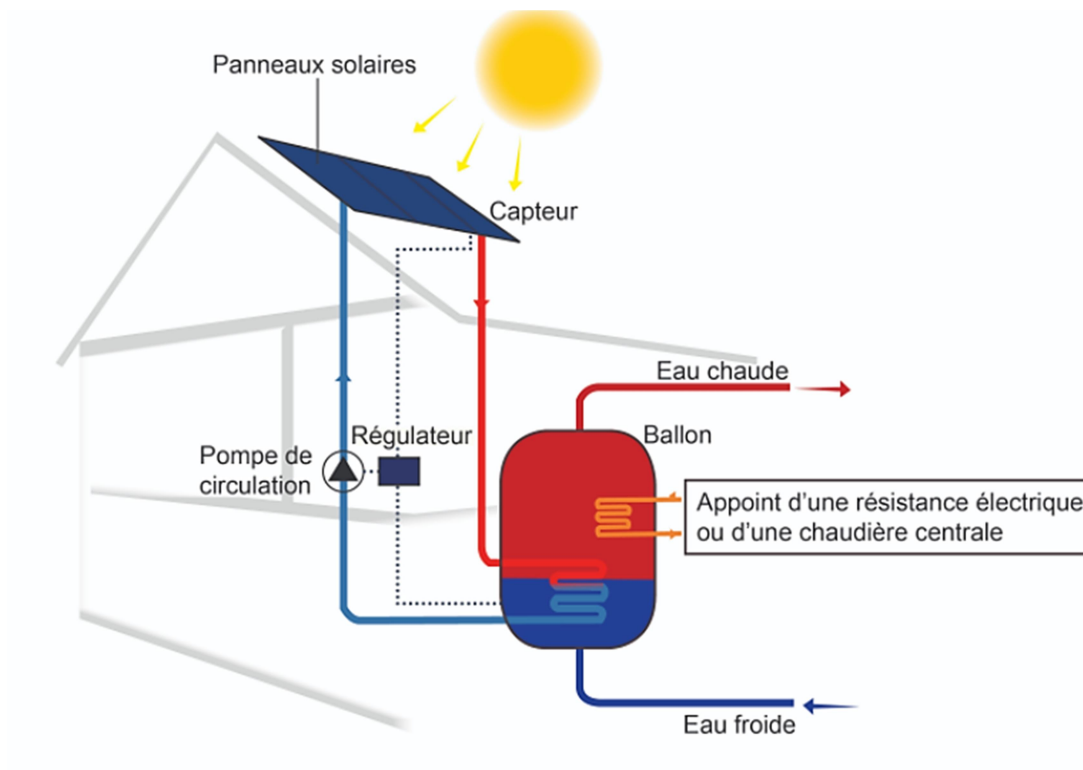


Figure 8 - Production d'eau chaude par l'énergie solaire

Un chauffe-eau solaire permet de couvrir jusqu'à 100% des besoins en eau chaude du ménage. D'une part que les températures élevées permettent un excellent rendement et d'autre part parce que les besoins en eau chaude sont assez limités. Ainsi un chauffe-eau solaire de 150 litres sera souvent suffisant pour la plupart des ménages. Une troisième application est le chauffage des piscines.[9]

L'agriculture :



Figure 9 – Utilisation de l'énergie solaire dans l'agriculture

L'énergie solaire a plusieurs applications dans l'agriculture et l'élevage :

- Elle peut servir à électrifier les champs et domaines qui bien souvent ne sont pas raccordés au réseau électrique. L'installation de panneaux solaires permet alors aux personnes travaillantes ou installées sur place de pouvoir utiliser leurs appareils électriques.
- Elle peut être utilisée pour le pompage de l'eau, quelques panneaux (sans batteries, sans régulateurs et sans onduleurs) peuvent suffire pour faire fonctionner des pompes (DC) de surface ou immergées. L'eau pompée peut être stockée dans des réservoirs pour utilisation ultérieure, dans des bassins surélevés pour l'irrigation par gravitation, ou déversée dans les abreuvoirs du bétail.
- Le courant produit peut aussi être utilisé pour électrifier les clôtures.[9]

1.7 Mesure de l'énergie solaire :

Le rayonnement spectral sur une surface plane se mesure au moyen d'un instrument spécial, le pyranomètre, qui détecte l'élévation de température provoquée par l'irradiation solaire sur une surface noire. Il génère au moyen d'une thermopile, une tension proportionnelle à l'intensité de l'irradiation.

On utilise également des capteurs photovoltaïques qui génèrent du courant/de la tension en réaction au rayonnement solaire, mais sans réagir à la composante infrarouge du spectre.[10]



Figure 10 - Pyranomètre

La figure 11 représente un pyranomètre qui mesure exactement plusieurs longueurs d'onde du rayonnement solaire mais à un temps de réponse important.

Il faut considérer que, si on inclut la nuit et on exclut les périodes nuageuses, "l'insolation" moyenne pour l'ensemble de la terre ne dépasse pas environ 250 watts par mètre au carré par jour. En effet le rayonnement est faible au petit matin et le soir est quasi inexistant la nuit. Dans les régions à faibles irradiations solaires, l'insolation moyenne est inférieure à 1000 watts par mètre au carré par jour. [11]

1.8 Avantages de l'énergie solaire :

L'énergie solaire présente de nombreux atouts :

- Comme vous utilisez une énergie gratuite et inépuisable, vous gagnez en indépendance à l'égard des fournisseurs d'énergie en atteignant l'autoconsommation.
- En produisant votre propre électricité, vous faites jusqu'à 40 % d'économies sur vos factures.
- L'énergie solaire est une énergie renouvelable : votre installation ne dégage donc pas de gaz à effet de serre.
- En fonction du type d'installation, vous assurez une partie de vos besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage.
- Vous pouvez revendre le surplus de production à EDF Obligation d'Achat. L'occasion de percevoir des revenus complémentaires non négligeables.
- Les panneaux solaires sont recyclables à 94,7 %.
- L'installation de panneaux solaires augmente la valeur de votre bien.[11]

1.9 Inconvénients de l'énergie solaire :

L'énergie solaire n'est pas parfaite et présente des inconvénients à prendre en compte :

- L'installation solaire est soumise à plusieurs critères comme l'orientation de la maison par rapport au soleil, les conditions imposées par le plan local d'urbanisme...
- Le coût d'une installation solaire est particulièrement élevé. Il varie en fonction de la taille et la puissance de l'installation.
- L'hiver, votre installation est un peu moins performante. Il est donc nécessaire de la coupler à un chauffage d'appoint qui prendra le relais.
- La durée de vie de votre installation solaire est de 20 ans en moyenne, après quoi, son efficacité décroît. Pour bénéficier de son fonctionnement optimal, vous devrez donc envisager de le remplacer.
- Dans les installations photovoltaïques, l'onduleur a une durée de vie de 10 ans en moyenne. Après cette période, il doit forcément être remplacé ou réparé, impliquant des coûts supplémentaires.[11]

1.10 Conclusion :

L'énergie solaire est une énergie qui a de beaux jours devant elle. Avec les avancées technologiques qui ont lieu chaque année dans le secteur, il est probable que les innovations permettront de pallier ses défauts actuels tout en la rendant aisément accessible. [12]

Chapitre 2 :

Généralités sur les Chauffe-eaux solaires

Chapitre 2 :

Généralités sur les chauffe-eaux solaires

2.1 Introduction :

Comme nous l'avons évoqué au niveau du chapitre précédent, il existe plusieurs techniques pour capter l'énergie solaire : Les panneaux solaires photovoltaïques, L'énergie solaire thermodynamique, Les panneaux solaires thermiques,...etc. [13] Nous nous intéressons justement à cette dernière forme d'énergie et son application pour les chauffe-eaux solaires. Le présent chapitre propose d'étudier ce type d'installations, leurs composantes, leur fonctionnement ainsi que les différents types de capteurs solaires utilisés.

2.2 Définition de chauffe-eau solaire:

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné à fournir partiellement ou totalement de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS).

Le principe du système de chauffage solaire est venu de l'idée d'un tuyau d'arrosage laissé au soleil, qui emmagasine la chaleur. Le but de ce principe est de l'appliquer aux habitations en plaçant des panneaux solaires sur le toit.

Ce type de chauffage permet habituellement de compléter les types de chauffage de l'eau exploitant d'autres sources énergétiques (électricité, énergies fossiles, biomasse,...). Dans certaines conditions il permet de les remplacer totalement. L'énergie solaire étant parfaitement renouvelable, ce remplacement permet de limiter efficacement les émissions de gaz à effet de Serre ou la production de déchets nucléaires. [14]

C'est un système équipé d'un ou de plusieurs panneau(x) solaire(s) produisant de l'eau chaude pour les besoins en eau chaude sanitaire. On utilise la dénomination de CESI (Chauffe-Eau Solaire Individuel) qui est équipé simplement de panneaux solaires et d'un réseau de circulation avec pompe faisant circuler l'eau chaude dans un ballon solaire. Un appoint d'énergie est nécessaire pour compenser les besoins hors couverture solaire. Cet appoint peut être apporté par une simple résistance électrique, ou par une chaudière ou une pompe à chaleur. [15]

2.3 Les types de chauffe-eaux solaires :

On distingue plusieurs types de chauffe-eau solaires, selon le type de l'installation :

2.3.1 Le chauffe-eau solaire « stockeur » :

Le principe du chauffe-eau stockeur (ou auto-stockeur) est très ancien. Il est constitué d'un réservoir disposé dans un coffre isolant et protégé par une couverture transparente.

Pendant la période d'ensoleillement, la température du ballon, recouvert d'un revêtement absorbant noir s'élève. Pour éviter que celle-ci ne diminue pendant la nuit, le revêtement est généralement du type SÉLECTIF. Avant que ces revêtements n'existent, il était courant de rencontrer des chauffe-eau munis d'un double vitrage ou d'un volet isolant qui était disposé sur le capteur, hors période d'ensoleillement.

Ce type de chauffe-eau est bien adapté aux régions où le risque de gel n'existe pas ou la température ambiante nocturne est très élevée. C'est, en particulier, le cas des régions tropicales.

2.3.2 Le chauffe-eau solaire monobloc ou à « thermosiphon » :

Les Capteurs et le ballon sont groupés sur un même châssis rigide et placés à l'extérieur. Ils peuvent être installés en toiture, sur terrasse ou au sol et fonctionnent sans électricité. Le fluide, plus chaud dans les capteurs que dans le ballon, et donc moins dense, s'élève naturellement jusqu'à ce dernier, situé dans la partie supérieure du chauffe-eau. C'est l'effet « thermosiphon ».

Ce système est simple et peu coûteux. Mais le ballon se refroidit plus rapidement, même s'il est bien isolé. Il peut servir à préchauffer l'eau qui alimente un équipement classique existant. Ce chauffe-eau est compact bien adapté à la pose sur supports inclinés, en toiture terrasse. Il se prête moins bien à la fixation sur un toit en pente. [14]

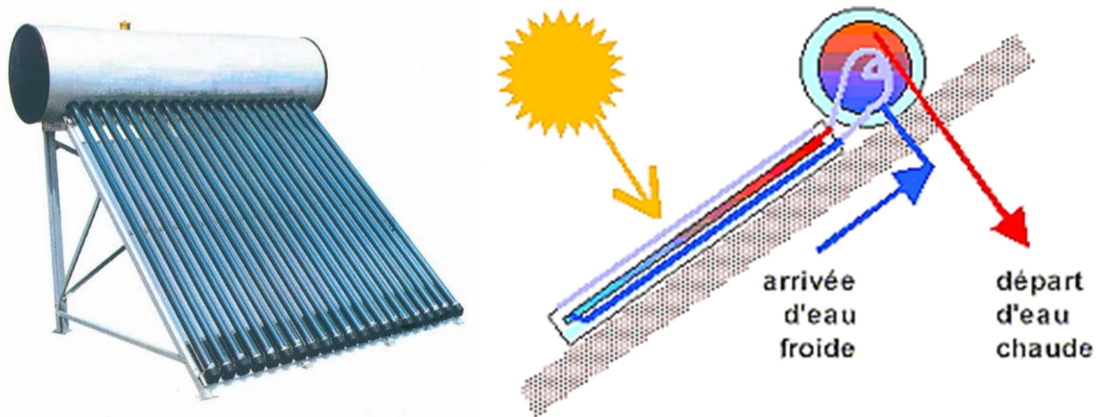


Figure 11 - Chauffe-eau solaire à thermosiphon (monobloc)

2.3.3 Le chauffe-eau solaire à éléments séparés ou à « circulation forcée » :

Ces appareils sont constitués d'un ballon relié à un ou plusieurs capteurs par des tuyauteries de longueur variable. Le ballon non solidaire du capteur peut être installé à l'intérieur du logement. Ils fonctionnent souvent en convection forcée (circulation d'un liquide calorifique assurée par une pompe) ce qui nécessite le raccordement au réseau électrique. D'une plus grande souplesse d'utilisation, leur bon fonctionnement et davantage tributaire du soin apporté à leur installation.

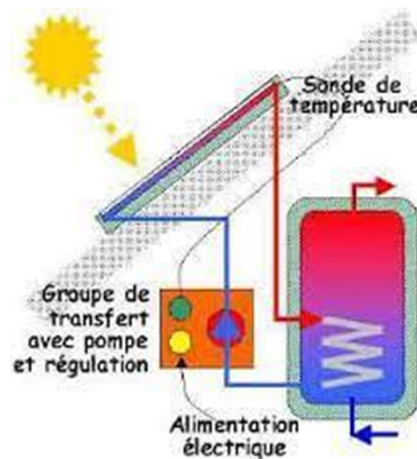


Figure 12 - Chauffe-eau solaire à éléments séparés (circulation forcée)

Ce chauffe-eau est particulièrement bien adapté aux régions où il gèle en hiver. Deux circuits distincts permettent utilisation d'un fluide antigel à l'extérieur.

Ces systèmes possèdent une régulation qui enclenche le calculateur dès que l'énergie solaire est disponible, ce qui permet des performances supérieures aux systèmes en thermosiphon.

Les périodes de faible ensoleillement sont compensées par un système de chauffage d'appoint (gaz, fioul ou électricité). Le dimensionnement de l'installation dépend en grande partie des besoins de l'utilisateur. Il est inutile de sur-dimensionner la surface de capteurs si l'on utilise peu d'eau chaude, il y aura du gaspillage d'énergie pendant l'été.

Ce type de chauffe-eau à circulation forcée est adapté à tous les différentes configurations. Ainsi, le ballon peut être éloigné des capteurs. Il est plus cher que les systèmes précédents à cause des équipements supplémentaires. En effet, il faut une pompe pour transférer la chaleur des capteurs au ballon, ainsi qu'un système de régulation électronique. La plupart des fabricants propose un « groupe de transfert » qui regroupe tous ces équipements annexes.

2.4 Les composants d'un chauffe-eau solaire:

Les chauffe-eaux solaires sont généralement constitués de cinq composants essentiels :

- Un capteur plan solaire.
- Un ballon de stockage d'eau chaude (cuve de stockage).
- Un échangeur thermique.
- Un appoint électrique.
- Un circuit calorifique (Tuyauterie contenant un liquide caloporteur) qui peut être doté d'une pompe de circulation (Circulateur) dans le cas d'un système à circulation forcée.

2.4.1 Capteur plan solaire :

Le capteur solaire est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques: les effets de serre et le corps noir.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 150°C et ne Nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil [17] .

Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la rémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur [17].

Éléments de constitution :

Un capteur plan est : constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un boîtier.



Figure 13 - Composants d'un capteur plan solaire vitré

a. Le boîtier :

Le boîtier constitué l'enveloppe arrière et latérale de l'appareil, il est constitué de Matériau Choisis, tels que les métaux en feuille ou profilé, matériaux en plastique armé et même le contre plaque. Les métaux les plus utilisés sont l'acier galvanisé ou galvanisé pré laqué et les alliages d'aluminium.[17]

On rencontre deux structures de boîtier:

Boîtier simple: Il est constitué d'une seule épaisseur de matériau en forme de bac dans lequel sont montés l'isolation et l'absorbeur.

Boîtier double : Possède une structure en caisson qui lui confère une plus grande rigidité et meilleure intégration de L'isolement.

b. La couverture transparente :

C'est la partie à travers laquelle le rayonnement atteint la surface de l'absorbeur. L'une de ses caractéristiques est de réaliser l'effet de serre.

Les matériaux les plus utilisés sont :

- Le verre.
- Les polycarbonates (Lexan, Makrolon).
- Les polymétacrylates de méthyle (Plexiglas, Altuglas).

En ce qui concerne les verres, on préférera ceux dont le taux d'oxyde de fer est le plus faible (Verre horticole par exemple). On rencontre également des couvertures transparentes multiples (doubles) et des couvertures constituées par un film souple transparent tel que Mylar ou Tedlar. Parmi les fonctions de la couverture transparente on peut citer:

- La protection de l'absorbeur et l'isolation thermique.
- Fait partie de l'isolation thermique.
- Elle réfléchit le rayonnement au minimum et absorbe la lumière aussi peu possible de telle sorte que la totalité du rayonnement atteint la surface de l'absorbeur.

c. L'absorbeur:

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur [17]. Il est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le liquide caloporteur.

Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique laquelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine.

L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparé aux métaux. [17]

Les avantages sont:

- La légèreté.
- La possibilité de teinter le produit dans la masse et donc de ne pas craindre les rayures.
- La faible sensibilité des plastiques à la corrosion.

Les inconvénients sont :

- Une mauvaise conductibilité thermique.
- Un vieillissement dû au rayonnement U.V.
- Une tenue médiocre aux températures élevées.

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont de bonnes conductibilités thermiques.

L'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0.2 mm d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 mm [18].

Les canaux contenant le fluide caloporteur ne doivent pas être trop espacés ; ainsi la transmission de la chaleur de l'absorbeur vers le fluide caloporteur se fait plus efficacement.

Dans la pratique, on choisit généralement un intervalle de 100 à 120 mm entre les tubes. Cela représente un compromis entre une évacuation optimale de la chaleur, une faible inertie thermique et une utilisation réduite des métaux tout en préservant des coûts bas. [18]

Il est fortement nécessaire d'assurer un bon contact entre les feuilles de l'absorbeur et les tubes du fluide caloporteur afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact.[18]

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité. Cependant, les surface métallique tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé et le transforme en I.R par l'effet de décalage de Wien et qui d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du rayonnement I.R. Cette surface est n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir.[17]

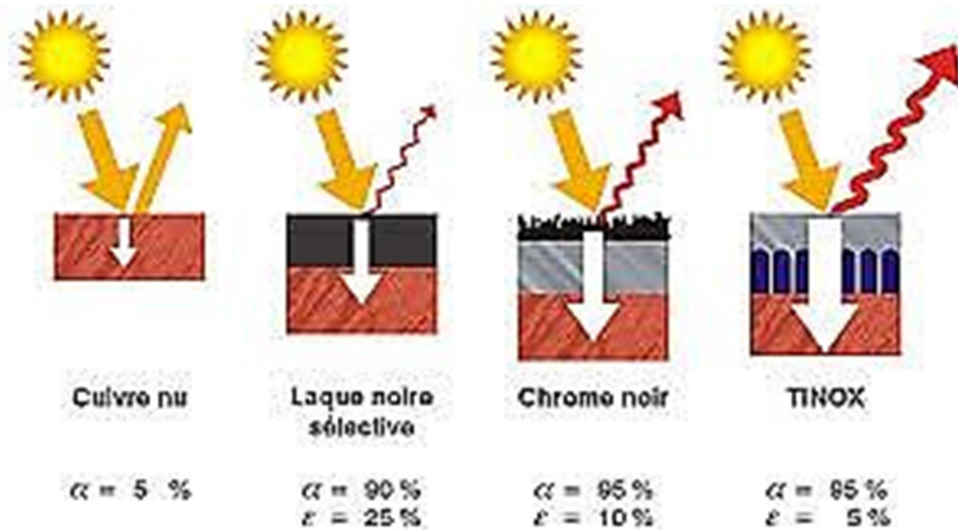


Figure 14 - Absorptivité et émissivité de divers types de revêtements.

Différentes formes d'absorbeurs :

On distingue différents formes d'absorber figure(17) dont :

- Les absorbeurs à plaques ou ailettes de cuivre et tuyauteries de cuivre soudées (les plus courants).
- Les absorbeurs à plaques ou ailettes de cuivre et tuyauteries enchâssées.
- Les absorbeurs à plaques ou ailettes d'aluminium et tuyauteries de cuivre enchâssées (type *sunstripe*).
- Les absorbeurs à plaques d'aluminium profilées soudées.
- Les absorbeurs à plaques d'acier inoxydable profilées soudées (type SA).

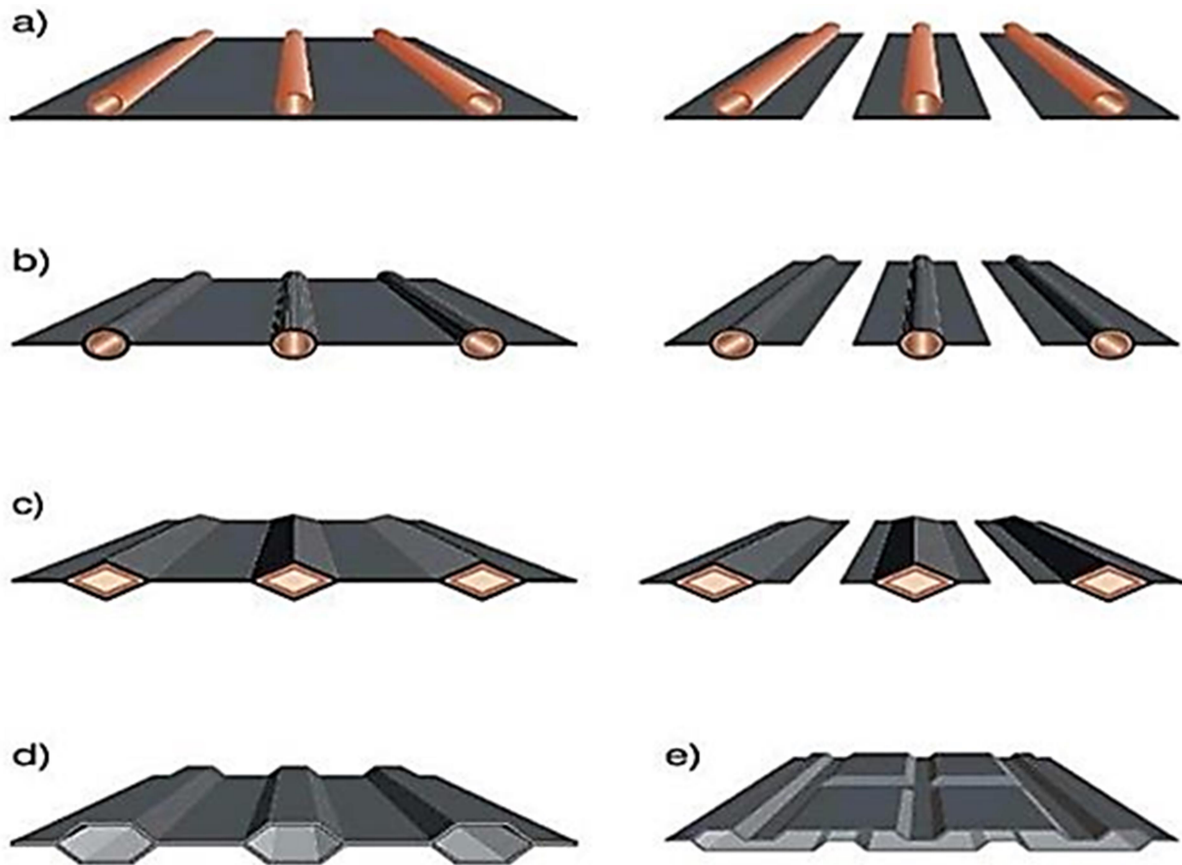


Figure 15 - Diverses formes d'absorbeurs (d'après DGS Solar Anlagen 2001)

e. L'isolation thermique:

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermique par thermiques par conduction, convection et par rayonnement, des différentes parties périphériques vers l'extérieur.

Les solutions adaptées sont les suivantes :

Partie avant de l'absorbeur: La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient. D'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm [17].

En plaçant deux vitres on limite les pertes dues à la rémission ainsi que les pertes par Conduction et par convection [17].

Parties arrière et latérale : Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon ils attendent à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture en plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte Rugosité. Il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction [17],[18].

2.4.2 Le ballon de stockage :

Le ballon ou cuve de stockage est un élément essentiel dans l'installation de chauffage d'eau solaire. Comme son nom l'indique, il permet de stocker l'eau chaude venant des capteurs pour la restituer au moment des besoins, il 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 stockage est caractérisé par [19]:

- 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 longue durée (inter-saisonnier).
- Stockage courte durée (ne dépassant pas quelques journées ou quelques heures).

2.4.3 L'échangeur thermique :

Un échangeur thermique (ou échangeur de chaleur) est un appareil dans lequel circulent deux fluides séparés par une paroi et qui échangent de la chaleur ; l'un se refroidit pendant que l'autre s'échauffe.

Le plus souvent, il est intégré dans le ballon de stockage mais il peut aussi être à l'extérieur.

D'une part sa fonction de transfert thermique, l'échangeur doit offrir une surface de contact la plus grande possible entre fluides, c'est pourquoi la plupart des échangeurs ont l'aspect d'un serpent.

Remarque : les échangeurs externes seront des échangeurs à plaques et les échangeurs internes seront du type à serpent ; dans notre installation l'échangeur utilisé est de type serpent. Voici des photos de ces deux types d'échangeurs :



Figure 16 - Deux types d'échangeurs

2.4.4 L'appoint électrique :

On insère une résistance électrique à mi-hauteur du réservoir (ballon) de stockage de l'eau sanitaire. Quand la température est inférieure à une température de consigne fixée, la résistance se mettra en marche. Il est également possible de définir une plage horaire pour la mise en marche de cette résistance afin de profiter du courant de nuit (en cas de présence d'un compteur bi-horaire au domicile).

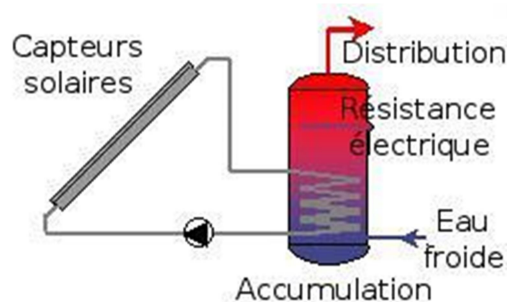


Figure 17 – Emplacement de l'appoint électrique (résistance)

Avantages :

Généralement, l'appoint fait partie d'un ensemble rationnel de chauffage et de fourniture d'eau chaude sanitaire. Le chauffe-eau solaire permettra des économies d'énergie primaire (gaz) importantes, surtout avec une chaudière gaz à condensation.

Inconvénients :

Investissement plus important dû à la nécessité d'un ballon avec deux échangeurs ainsi que la complexité relative des contrôles et de la programmation de la chaudière.

Besoin de maintenir la chaudière allumée pour une utilisation occasionnelle en été.

2.4.5 Le circuit calorifique (tuyauterie) :

La tuyauterie sert au transfert du fluide caloporteur, son étude et son installation doivent être suivies avec soin pour éviter de graves ennuis.

Le circuit de tuyauterie doit être le plus simple possible c'est-à-dire court et éviter les changements de diamètre.

Les tuyaux doivent être soigneusement calorifugés, le circuit de fluide caloporteur comprend plusieurs appareils dont les principaux composants sont:

a. Une soupape de sécurité:

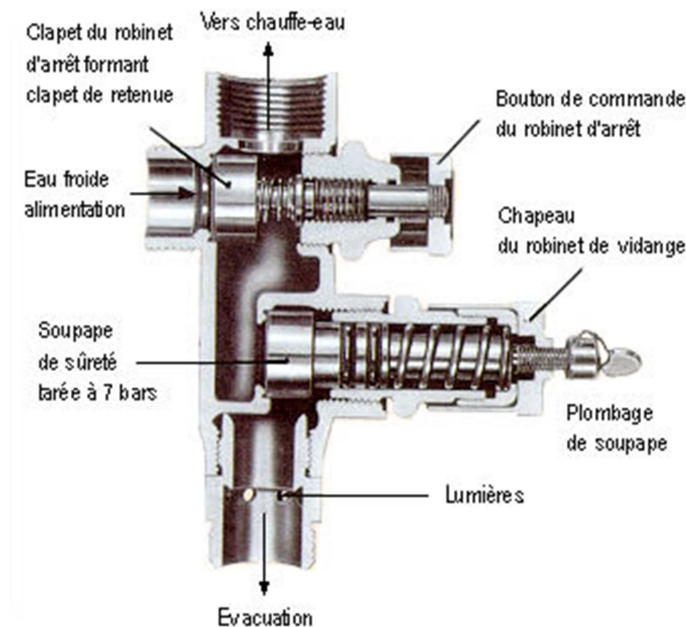


Figure 18 – Une soupape de sécurité

La soupape est obligatoire, elle est chargée d'évacuer d'éventuelles surpressions dans le circuit. Elle doit être raccordée au réceptacle du fluide caloporteur. Elle ne doit jamais pouvoir être isolée du circuit. En général, elle est tarée à 6 bars. Certains systèmes sont tarés 3 bars.

b. Un vase d'expansion :

Il est obligatoire. Il permet le maintien de la pression quelle que soit la température de l'eau dans le circuit. Il est placé entre le ballon et les capteurs (circuit froid). Il ne doit jamais pouvoir être isolé du circuit. Néanmoins, la présence d'une vanne d'isolement ouverte lors de l'utilisation de l'installation est nécessaire pour une bonne maintenance. La pression de gonflage doit être toujours réalisée avant le remplissage du circuit.

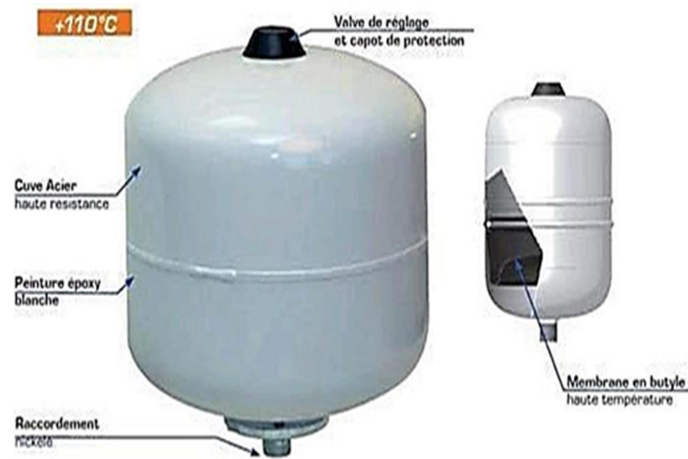


Figure 19 – Un vase d'expansion

c. Un Purgeur:

Chaque point haut de l'installation doit être pourvu d'un purgeur d'air. Les purgeurs placés aux points hauts des capteurs doivent résister aux très hautes températures (200°C). En fonctionnement, les purgeurs automatiques doivent être isolés par une vanne de sectionnement pour éviter la vidange du circuit primaire par dégazage en cas de montée anormale en température du capteur. Dans le cas de capteurs difficiles d'accès (en toiture par exemple), il peut être confectionné une bouteille de purge au point haut de l'installation avec un report capillaire en cuivre muni d'une vanne dans le local technique.



Figure 20 - Un purgeur

d. Un clapet de non-retour :

Dans le cas d'un CESI à circulation forcée, un clapet anti-retour est indispensable lorsque le ballon de stockage est disposé au même niveau ou en dessous des capteurs. Ce clapet évite la formation d'un thermosiphon la nuit et le refroidissement intempestif du ballon de stockage. Les clapets à ressort de bonne qualité sont en règle générale plus fiables. Il est préférable de les installer en position verticale. Il doit permettre une vidange éventuelle du circuit primaire.

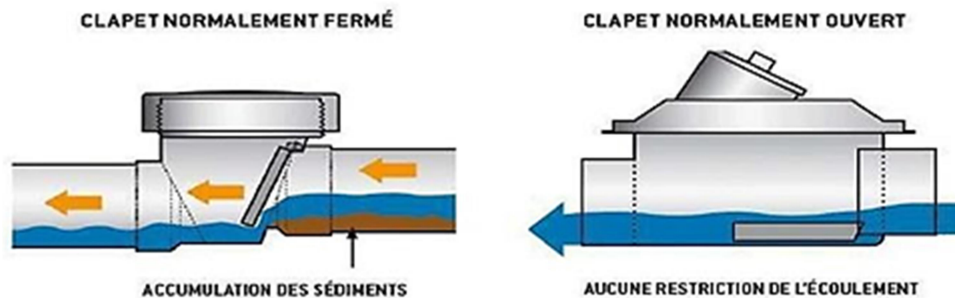


Figure 21 – Un clapet anti-retour

e. Une isolation:

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. Ce système de 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 chaleur entre les collecteurs et le ballon de stockage.

L'isolation de ces systèmes ne peut en aucun cas être réalisée au moyen d'isolant pour les tuyauteries sanitaires habituelles, car il est indispensable de tenir compte des températures, auxquelles celles-ci seront explorées, l'isolant habituellement utilisé peut résister à une température continue de 150° à 180°.

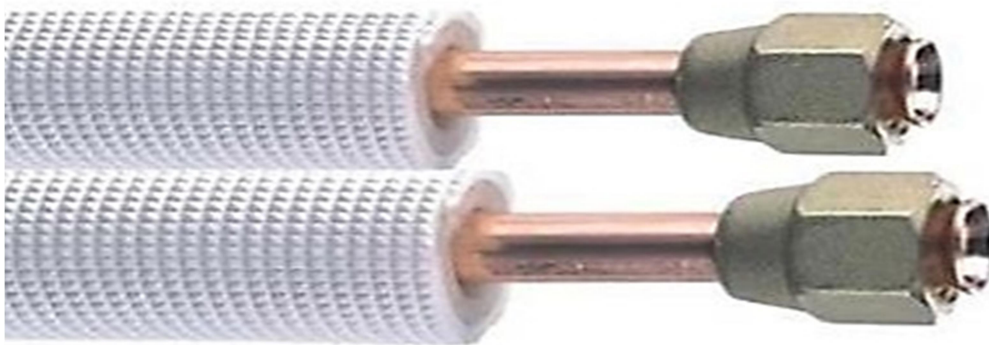


Figure 22 - Conduites de liaison isolées

Le fluide caloporteur:

Le fluide caloporteur (ou liquide calorifique) est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Dans le cas des capteurs plans, on utilise de l'eau à laquelle on ajoute un antigel (éthylèneglycol) ou bien de l'air.

Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants [17]:

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- Pas de problème de corrosion (l'air sec).
- Toute fuite est sans conséquence.
- Il n'est pas nécessaire un échangeur pour le chauffe des locaux.

- Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus fiable.

Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :

- L'air ne peut servir de chauffage des locaux ou pour le séchage solaire.
- Le produit masse volumique capacité calorifique est faible pour l'air contre l'eau.
- Les conduites doivent avoir une forte section pour les laisser passer un débit suffisant.

2.5 Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire :

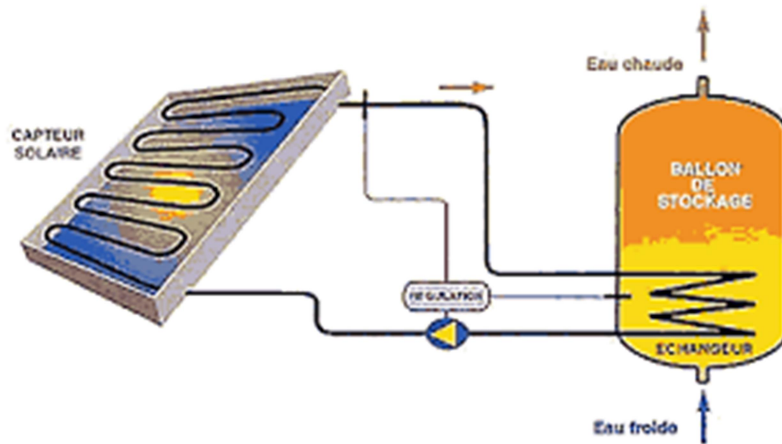


Figure 23 - Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

Le fonctionnement est simple, il consiste un transfert de l'énergie solaire absorbée par les capteurs (chaleur) vers un système de stockage (ballon). Le transfert est exécuté au moyen d'un liquide caloporteur. Le liquide caloporteur doit se déplacer du capteur solaire le ballon (où il échange sa chaleur, pour réchauffer l'eau froide contenue dans celui-ci), l'eau refroidie retournant au capteur ou à nouveau elle sera réchauffée par le rayonnement solaire.

Dans son trajet capteur-ballon-capteur, l'eau pourra circuler d'elle-même (circulation naturelle) où être entraînée par une petite pompe (circulation forcée). Les positions relatives du capteur et du ballon sont essentielles pour décider du fonctionnement de l'ensemble.

Il existe différentes catégories de chauffe-eau solaires individuels, qui dépendent essentiellement des conditions climatiques des régions dans lesquelles ils sont utilisés.

2.6 Conclusion :

On retient de ce chapitre que pour obtenir une meilleure production d'eau chaude sanitaire avec un meilleur rendement d'une installation solaire, il est important de bien choisir les composants (type de ballon de stockage, type de capteurs solaires, qualité du fluide caloporteur, l'isolation thermique, etc....) et faire leur bon dimensionnement comme nous le verrons au niveau du chapitre suivant.

Chapitre 3 :

Proposition d'une
installation de chauffage
d'eau solaire

Chapitre 3 :

Proposition d'une installation de chauffage d'eau solaire

3.1 Introduction:

Le point de départ des installations solaires pour la production d'eau chaude sanitaire est la demande en eau chaude sanitaire (ECS). Il est donc essentiel d'estimer précisément ces besoins. D'autres facteurs tels que l'emplacement géographique, la surface disponible pour l'installation solaire, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires jouent également un rôle important. Ce chapitre est consacré aux étapes de la conception de notre installation de chauffage d'eau sanitaire pour une famille de 6 personnes habitant une maison individuelle dans la région d'Oran (Es-Sénia). Commençons par la détermination des dimensions des composants principaux de cette installation.

3.2 Dimensionnement des composants principaux :

La connaissance des besoins en eau chaude sanitaire est une étape importante pour bien dimensionner un chauffe-eau solaire. Elle devrait être basée sur la consommation réelle d'eau chaude. Deux facteurs doivent être évalués pour concevoir un chauffe-eau solaire qui répond à nos besoins : le volume du ballon d'eau chaude et la surface du panneau solaire.

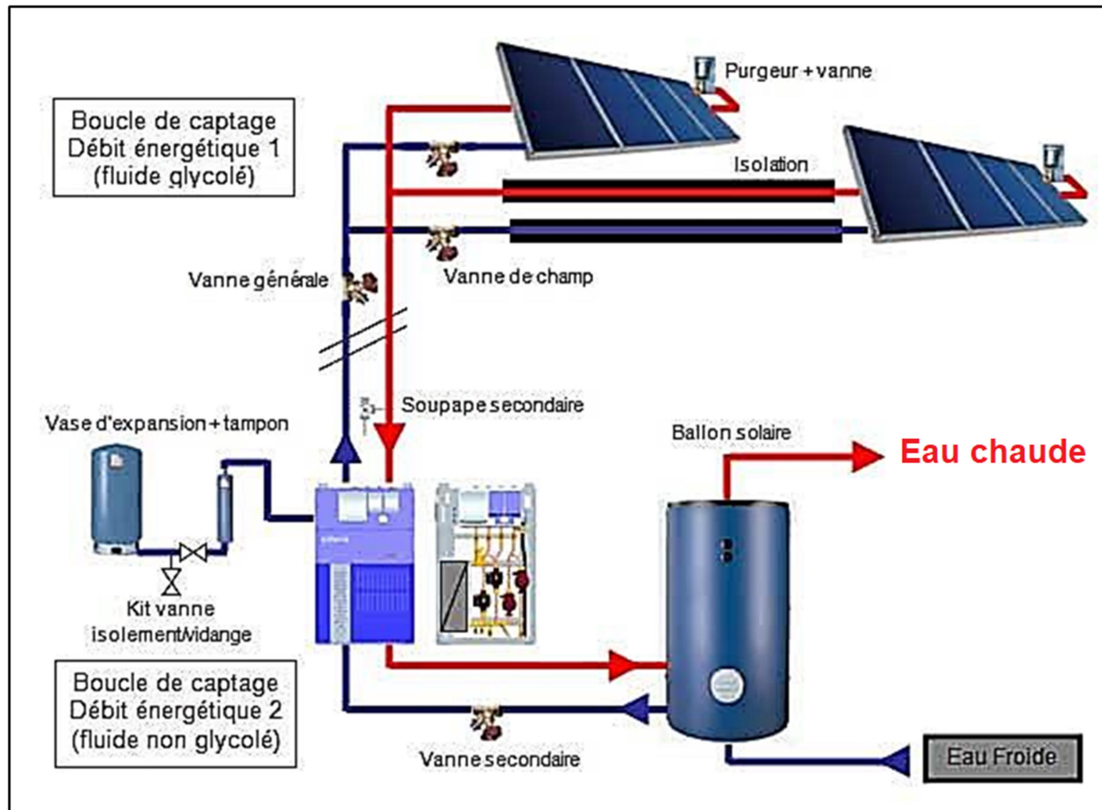


Figure 24 - Installation d'un chauffe-eau solaire

3.2.1 Dimensionnement du ballon de stockage :

Pour déterminer le volume du ballon de stockage nécessaire pour chauffer l'eau à la température T_{ec} (appelée température de stockage), il faut commencer par choisir cette température de consigne.

a. Choix de la température de stockage d'eau chaude :

La taille d'un ballon d'eau chaude est principalement basée sur une température de consigne présélectionnée, ci-après notée T_{ec} . Le choix de cette température se fait en fonction de la température souhaitée aux points de soutirage.

Dans des conditions normales d'utilisation d'eau chaude sanitaire, il convient de sélectionner une température de stockage comprise entre 55 et 60° C.

Les températures supérieures à 60° C présentent les inconvénients suivants [20]:

- Forte augmentation de l'entartrage.
- Usure rapide de la robinetterie.
- Risque de brûlures.

- Augmentation des pertes par stockage.

b. Calcul du volume de ballon :

Il est important de déterminer la demande journalière en eau chaude, cela nous permet de calculer le volume minimum du ballon d'eau chaude.

En général, une personne consomme environ 70 litres d'eau chaude (à 55°) par jour. En fait, on peut estimer que les chiffres varient de 50 à 80 litres selon l'utilisation prévue. 50 litres pour économiser, 70 litres en moyenne.

Le volume minimal de stockage d'eau chaude est calculé comme suit :

$$V_{ST,min} = \frac{2 \times VP \times P \times (T_{EC} - T_{EF})}{(T_{ST} - T_{EF})}$$

Avec :

$V_{ST,min}$: Volume minimal du ballon de stockage en Litres.

2 : Coefficient de sécurité pour garantir la couverture des besoins.

V_p : Volume de consommation personne/jour en Litres.

P : Nombre de personnes.

T_{EC} : Température souhaitée de l'eau chaude sanitaire en °C.

T_{EF} : Température de l'eau froide en °C.

T_{ST} : Température de stockage de l'eau dans le ballon en °C.

Le calcul du volume du ballon pour une maison individuelle de 6 personnes donne :

$$V_{ST,min} = \frac{2 \times 35 \times 6 \times (55 - 7)}{(60 - 7)} = \mathbf{380,37 \text{ Litres}}$$

Ce premier calcul nous permet de voir que le volume du ballon doit être d'au moins 380 litres pour qu'une famille de 6 personnes puisse avoir suffisamment d'eau chaude pour les plus froids jours de l'année dans la région d'Oran. Tous les volumes de ballons ne sont pas commercialisés, mais un ballon double échange standard de **400 L** peut être préconisé.

3.2.2 Dimensionnement du capteur solaire :

a. Calcul de l'énergie calorifique journalière :

Elle correspond à la chaleur journalière nécessaire pour chauffer l'eau du ballon à une certaine température T_{ST} dite température de consigne à partir d'une température d'eau froide.

Elle est calculée selon la formule suivante :

$$E_j = V \times C_p \times (T_{ST} - T_{EF})$$

Avec :

E_j : Energie calorifique journalière nécessaire en KWh/j.

V : Volume du ballon de stockage.

C_p : Capacité thermique de l'eau.

T_{ST} et T_{EF} : sont respectivement les températures de stockage (de consigne) et de l'eau froide.

Le calcul de l'énergie calorifique journalière nécessaire donne :

$$E_j = 400 \times 1,163 \times (60 - 7) = \mathbf{24655,6 \text{ Wh/jour}} = \mathbf{24,6556 \text{ KWh/jour}}$$

b. Calcul de la surface totale du panneau de captage :

La surface totale de capteurs solaires nécessaire à notre installation est définie comme le rapport entre l'énergie utile pour chauffer l'eau à la température souhaitée (E_j) et l'énergie effectivement dégagée par les rayons du soleil dans la localisation d'Oran (G_s).

La formule de son calcul est la suivante :

$$S_{tot} = \frac{E_j}{G_s}$$

Avec :

S_{tot} : Surface totale du panneau solaire en m^2 .

E_j : Energie calorifique journalière nécessaire en KWh/j.

G_s : Énergie du rayonnement solaire en kWh/m^2 .

Le calcul de la surface totale de captage donne :

$$S_{tot} = \frac{24,6556}{2,3} = \mathbf{10,719 \text{ m}^2} \xrightarrow{\text{Surface totale du panneau solaire préconisée}} \mathbf{S_{tot} = 11 \text{ m}^2}$$

c. Calcul de nombre de capteurs nécessaires :

Le nombre de capteurs solaires formant notre panneau de captage solaire se déduit facilement selon la formule suivante :

$$N_c = \left[\frac{S_{tot}}{S_u} \right]$$

Avec :

N_c : Nombre de capteurs du panneau solaire.

S_{tot} : Surface totale du panneau en m^2 .

S_u : Surface unitaire du capteur solaire en m^2 .

Le calcul du nombre de capteurs donne :

$$N_c = \left[\frac{11}{1} \right] = 11 \text{ Capteurs solaires (de } 1 \text{ m}^2 \text{ chacun)}$$

d. Choix du degré d'orientation des capteurs :

En général, on oriente les capteurs en plein sud (pour l'hémisphère nord) ce qui correspond à un degré d'orientation de 180° pour notre application.

e. Choix du degré d'inclinaison des capteurs :

Elle dépend essentiellement de deux paramètres :

- La latitude,
- La saisonnalité des besoins.

Pour notre application nous l'avons fixé à 30° d'inclinaison, valeur estimée moyenne donnant un maximum de rayonnement solaire par année.

3.2.3 Dimensionnement de la tuyauterie :

Le raccordement des capteurs sera relativement simple du fait de la distance qui les sépare du ballon. Les canalisations seront donc courtes et donc la déperdition de chaleur sera moindre à condition que les canalisations soient correctement isolées.

Longueur totale entre capteur solaire et ballon [m] = Longueur X Nombre.

Tableau 1 - Résultats du dimensionnement de la tuyauterie.

Emplacement	Longueur (m)	Nombre
Entre le capteur solaire et le ballon de stockage	8	2
Longueur totale	16	

3.2.4 Dimensionnement de l'échangeur thermique :



Figure 25 – Exemple d'un échangeur thermique dans un ballon de 1000L

La puissance de l'échangeur de chaleur dans un ballon dépend du volume de celui-ci et du temps nécessaire pour augmenter la température. En effet, dans notre installation, la fonction de l'échangeur est d'élever la température de l'eau froide dans le ballon de 7°C à 60°C.

Sa puissance **P**, en **Watts**, s'exprime selon la formule suivante :

$$P = \frac{m \times C_p \times \Delta T}{\Delta t}$$

Où :

m: La masse d'eau contenue dans le ballon (en kg).

Elle se calcule grâce au volume du ballon. En notant V_{Ballon} ce volume (en m^3).

On a : $m = \rho \times V_{\text{Ballon}}$, où ρ est la masse volumique de l'eau ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$).

C_p: La capacité calorifique de l'eau (en J/kg/°C). $C_p=4186 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$.

ΔT : L'élévation de température de 7 °C à 60 °C, soit $\Delta T=53 \text{ }^\circ\text{C}$.

Δt: Le temps de montée en température (en s). En général, il est souhaitable que la montée en température de l'eau dans le réservoir ait lieu en quelques heures.

Le calcul de la puissance de l'échangeur pour une montée en température de l'eau du ballon de 7°C à 60°C en une durée de temps de 6 heures donne :

$$P = \frac{400 \times 4186 \times 53}{6 \times 3600} = 4108,4814 \text{ W} = 4,1 \text{ kW}$$

La conduction thermique :

$$uA = \frac{P}{\Delta T} = \frac{4108}{53} = 77.5 \text{ W/cal}$$

Remarque importante : La présence d'un échangeur thermique entraîne une diminution du rendement global du système car il provoque, toutes choses égales par ailleurs, une augmentation de la température de l'eau dans le ballon et donc une augmentation des déperditions thermiques du ballon. Il faut donc veiller à ce que cette baisse de rendement ne dépasse pas 5 %, c'est-à-dire que le coefficient de transfert thermique de l'échangeur soit d'au moins 100 W/°C (par m² de capteur).

3.2.5 Dimensionnement de l'appoint électrique :

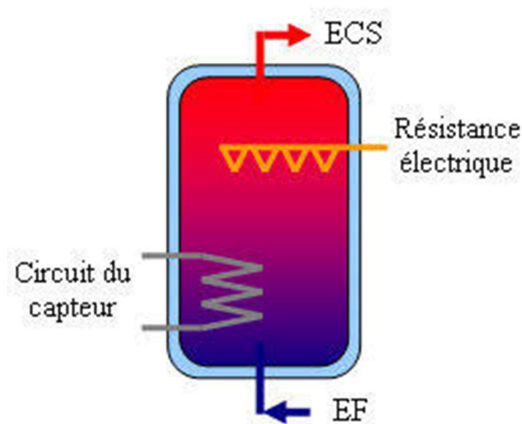


Figure 26 - Appoint électrique (Résistance)

Le dimensionnement de l'appoint sert à garantir que l'eau est à la température souhaitée. Dans tous les cas la capacité de la résistance doit être comprise entre 10 et 15 W/litre du volume d'appoint (V_{ap}) chauffé par l'électricité. La valeur nominale est de 12W/ litre. Le volume V_{ap} est délimité par le haut du ballon et le bas de la résistance électrique. Si la résistance électrique est placée au centre du ballon, le volume V_{ap} correspondra à la moitié du volume

nominal du ballon. Une autre méthode pour le calcul de cette puissance d'appoint est donnée par la relation suivante : Puissance d'appoint = Besoin journalier - Apport solaire.

Le calcul de la puissance de notre résistance d'appoint (par estimation) donne :

$$P_A = 12 \times \frac{400}{2} = 2400 \text{ W} = 2,4 \text{ kW}$$

3.3 Conclusion :

Les résultats des différents dimensionnements effectués sont satisfaisants. Nous avons sélectionné les paramètres nécessaires pour mesurer les tailles des différentes composantes de notre installation solaire de chauffage d'eau sanitaire pour une maison individuelle. Ces résultats devront être confirmés par une analyse expérimentale effectuée au niveau du prochain chapitre comme nous le verrons dans la partie simulation.

Chapitre 4 :

Analyse et Simulation
du Chauffe-eau solaire
proposé

Chapitre 4 :

Analyse et Simulation du Chauffe-eau solaire proposé

4.1 Introduction :

La simulation thermodynamique est un moyen efficace pour mettre en place et étudier les performances thermiques d'une installation solaire dans des conditions proches aux conditions réelles de son exploitation en raison du coût et du temps minimisés pour cette tâche grâce aux ordinateurs qui offrent la possibilité d'effectuer des calculs fastidieux et répétitifs. Ceci permet à l'installation de « vivre » pendant de longues périodes pour étudier le comportement prévu, ce qui donne des résultats presque réalistes.

Dans ce chapitre, nous allons exploiter cet outil dans le but de valider notre installation de chauffage d'eau sanitaire dimensionnée au long du chapitre précédent. Nous avons choisi pour cette partie expérimentale le logiciel de conception et de simulation solaire T*SOL en raison de sa richesse, facilité d'emploi et bien d'autres avantages.

4.2 Présentation du logiciel T*SOL :

T*SOL est un logiciel de conception et de simulation solaire thermique pour l'approvisionnement en eau chaude, le chauffage central, les piscines, la chaleur industrielle et les grands systèmes thermiques. Le logiciel T*SOL simule les installations solaires des maisons unifamiliales ou bi-familiales. Il permet une présentation rapide d'une installation solaire qui comprend des estimations de production et les bénéfices correspondants.

En plus des systèmes standards, T*SOL Pro propose des solutions adaptées aux entreprises, piscines intérieures, traitement thermique dans les grandes installations, plusieurs variantes pour un même projet, l'arborescence de projet, étude et suivi, support de dimensionnement, histogramme des résultats, profils modifiables et composants de chargement, ...etc.

T*SOL Expert est adapté à la simulation de réseaux solaires. Ce programme permet aux concepteurs d'étudier l'effet des différences d'installation sur les performances des installations solaires thermiques.

Tous les paramètres du système peuvent être rapidement modifiés à l'aide de l'interface utilisateur. On peut analyser les résultats de la simulation sous forme de tableaux ou de graphiques. Les capacités de calcul avancées de T*SOL en font un véritable outil professionnel de conception des installations solaires.

On comprend vite que le logiciel T*SOL offre de nombreux avantages. En plus, il devient de plus en plus simple d'utilisation et permet de modifier très facilement différents paramètres. D'autre part, par rapport à d'autres logiciels, la simulation T*SOL est plus rapide.

4.3 Sélection de notre modèle d'installation ECS solaire :

Lors de notre première étape de travail sur la plateforme T*SOL (version 2021 R4 de Valentin Software), nous avons opté pour une installation de type ECS (eau chaude sanitaire) avec résistance, comme le montre le schéma obtenu suivant :

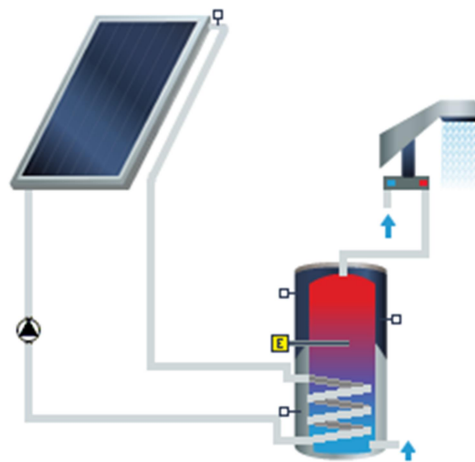


Figure 27 - Installation ECS avec résistance.

Dans l'étape suivante, nous avons sélectionné la localisation géographique de notre installation. Dans notre cas c'est : **Oran (Es-Sénia)**. Cette information permettra à T*SOL d'utiliser les données météo (Températures min, max et moyennes, vitesse du vent, taux d'ensoleillement, énergie solaire journalière captable,...etc.) dans ses différents calculs.

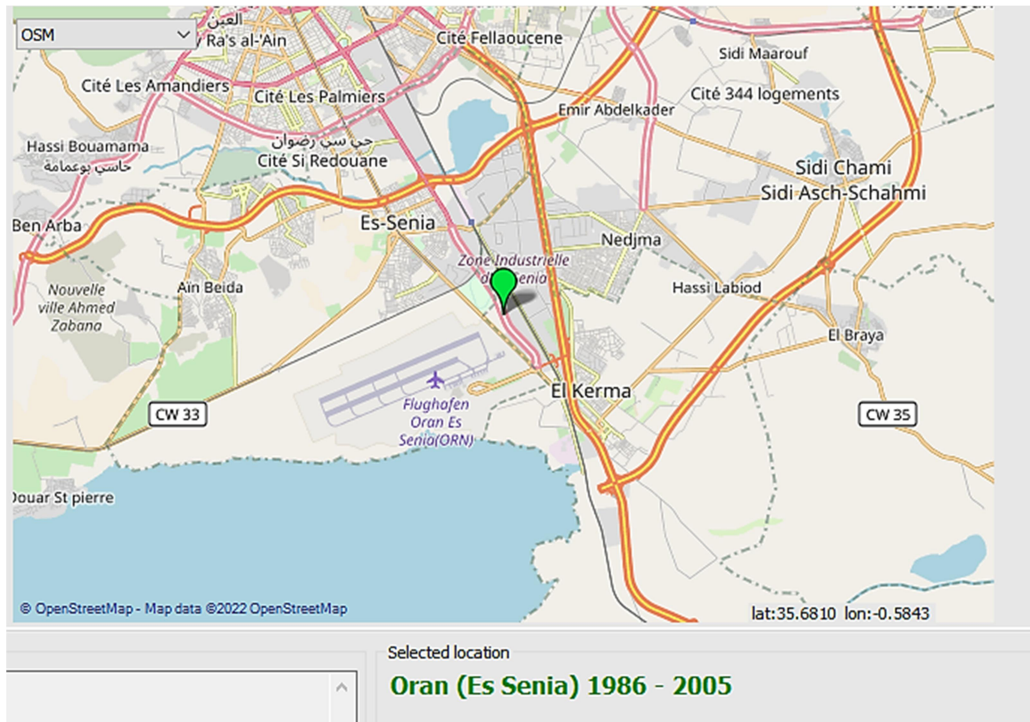


Figure 28 – Météo Map de T*SOL (Sélection de localisation)

4.4 Paramétrage des composants de notre installation :

4.4.1 Capteur solaire :

La fonction du capteur est de convertir l'énergie solaire en énergie thermique. Les caractéristiques techniques du capteur solaire sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 - Caractéristiques techniques de notre capteur solaire.

Type de capteur	Capteur plan
Produit	Capteur plan avec revêtement sélectif
Surface brute de capteur	1 m ²

Longueur	1 m
Largeur	1 m
Facteur de conversion	80%
Nombre de capteurs	11
Inclinaison d'installation	30°

4.4.2 Ballon d'eau chaude :

Dans le tableau 3, nous décrivons les différents paramètres utilisés en ce qui concerne le ballon d'eau chaude.

Tableau 3 - Les différents paramètres utilisés dans le ballon d'eau chaude.

Type	Ballon ECS bivalent
Volume	400L
Hauteur	1,8 X Diamètre
Epaisseur de l'isolation	100mm
Conduction thermique	0,065W/K

4.4.3 Circuit solaire :

Dans le tableau 4, nous montrerons les différents paramètres utilisés dans les circuits solaires.

Tableau 4 - Les différents paramètres utilisés dans le circuit solaire.

Débit volumique	40 L/h (par m ² de capteur)
Milieu	Eau
Capacité thermique spécifique résultante	4186 j/Kg.K

4.5 Résultats expérimentaux et discussion :

Après la simulation nous avons obtenu plusieurs graphiques et courbes qui seront expliqués et commentés ci-dessous.

4.5.1 Résultats « Météo » :

◆ Température extérieure :

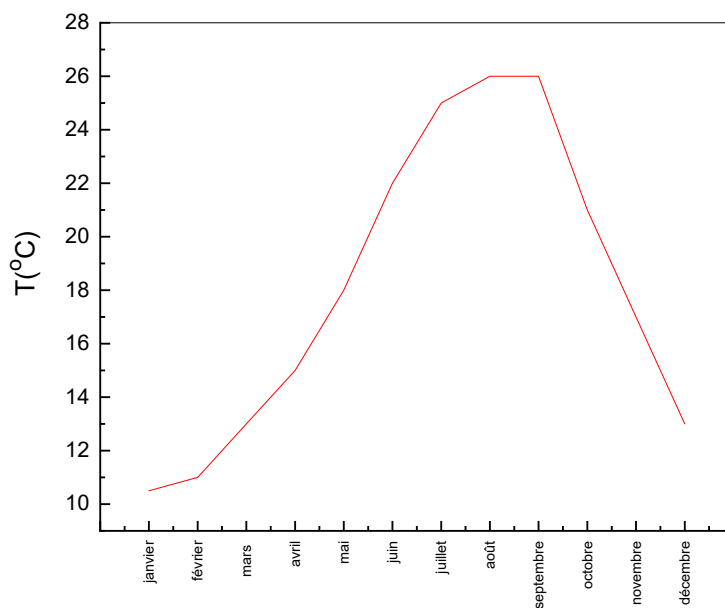


Figure 29 - L'évolution de la température extérieure en fonction du mois.

Sur cette courbe on constate que l'évolution de la température ambiante en hiver est au minimum de 10°C, par contre elle atteint un maximum de 26°C en été.

◆ Rayonnement solaire global horizontal :

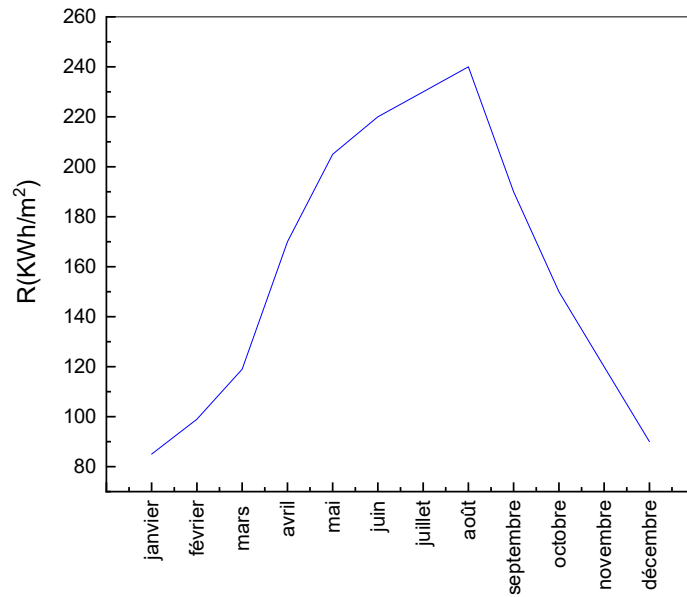


Figure 30 - La variation du rayonnement solaire global horizontal.

Sur cette courbe on peut voir la forme sinusoïdale de l'évolution du rayonnement solaire global, avec un maximum en été et un minimum en hiver. Le rayonnement horizontal total est de 1908 kWh/année.

4.5.2 Résultats « Consommation ECS » :

◆ Températures eau chaude sanitaire et eau froide :

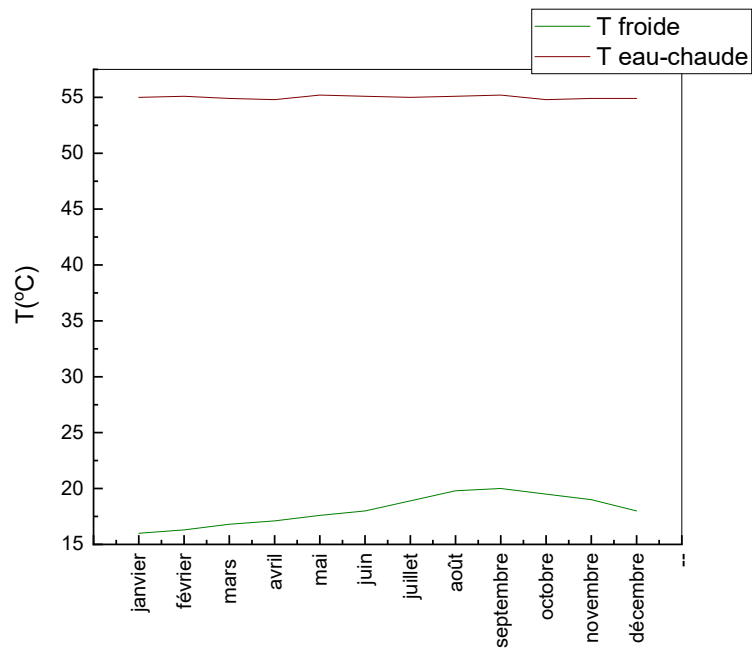


Figure 31 - Températures eau chaude sanitaire et températures eau froide.

Cette courbe compare la température de l'eau froide (entrée) avec la température de l'eau domestique (l'eau chaude cible) pendant un an. Remarquons une légère montée en température de l'eau froide de Juillet à Septembre due à l'augmentation de la température extérieure pendant ces mois, tandis que l'eau chaude garde son allure de température à 55° environ sur tous les mois de l'année, ce qui est une bonne constatation.

◆ **Besoins énergétiques pour le réchauffement d'eau sanitaire :**

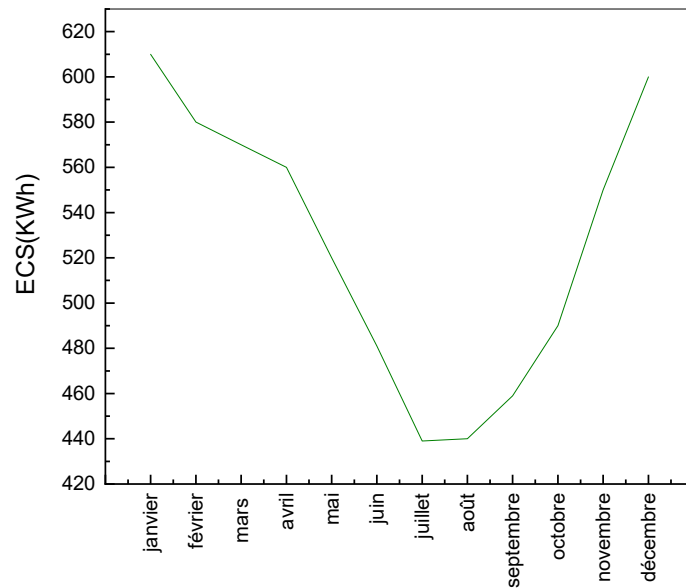


Figure 32 - Besoins énergétiques pour le réchauffement d'eau sanitaire.

Bien sûr, la demande d'énergie est beaucoup plus élevée pendant les mois les plus froids, en particulier en décembre et Janvier, lorsque la demande est plus basse en mois de Juillet et d'Aout (voir la figure).

◆ Taux de couverture en eau chaude sanitaire :

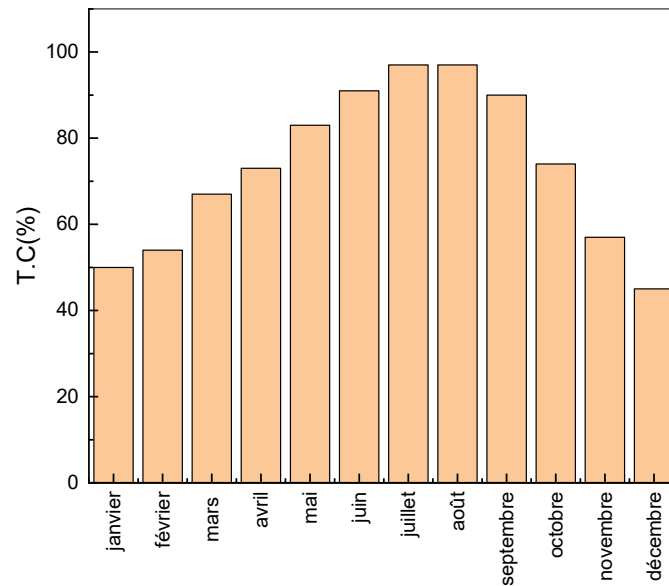


Figure 33 - Taux de couverture en eau chaude sanitaire

Pour cette figure, on remarque que le taux de couverture atteint son maximum au mois de juillet et août avec un taux de 97% et le plus bas est de 45% et la moyenne de taux est de 66.5%.

4.5.3 Résultats « Circuit capteurs » :

◆ Température en sortie du circuit capteurs :

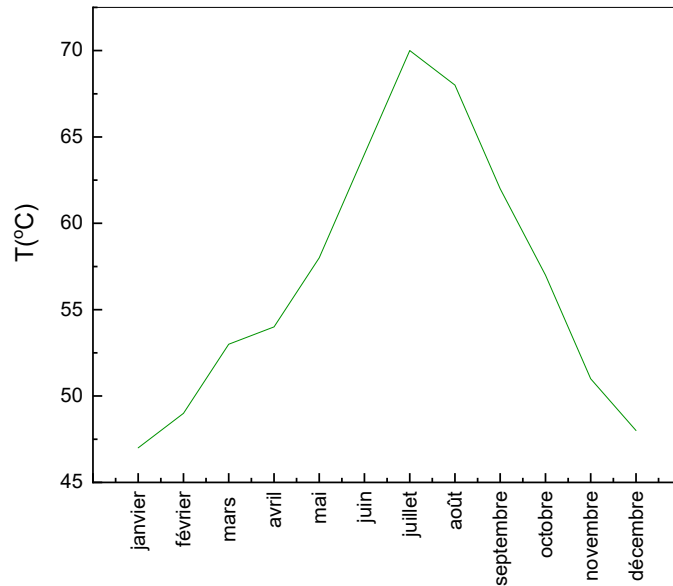


Figure 34 - Température en sortie du circuit capteurs.

L'analyse de cette courbe montre que la température de la sortie du circuit capteurs monte à 70°C en juillet et descend jusqu'à un minimum de 46°C en janvier et décembre. La température de sortie du circuit capteurs est de 57 °C en moyenne.

◆ Pertes thermiques (Circuit capteurs et Tuyauterie) :

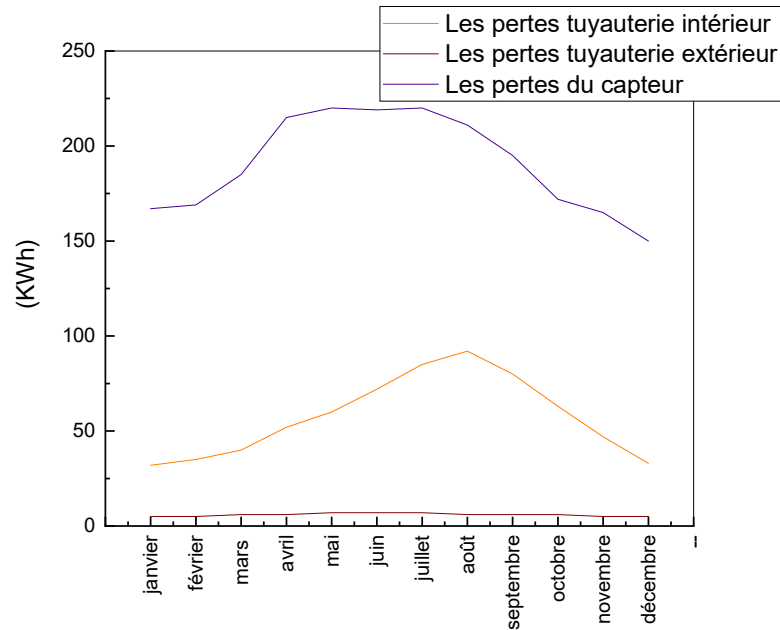


Figure 35 - Pertes thermiques (Capteurs et Tuyauterie extérieur et intérieur).

L'analyse de cette courbe montre que la perte de chaleur du capteur est supérieure à la perte à l'extérieur et à l'intérieur de la conduite.

- Les pertes thermiques de capture = 2287kWh/année
- Les pertes thermiques tuyauterie extérieur = 59kWh/année
- Les pertes thermiques tuyauterie intérieur = 681Kw/année

◆ Rendement du circuit capteurs :

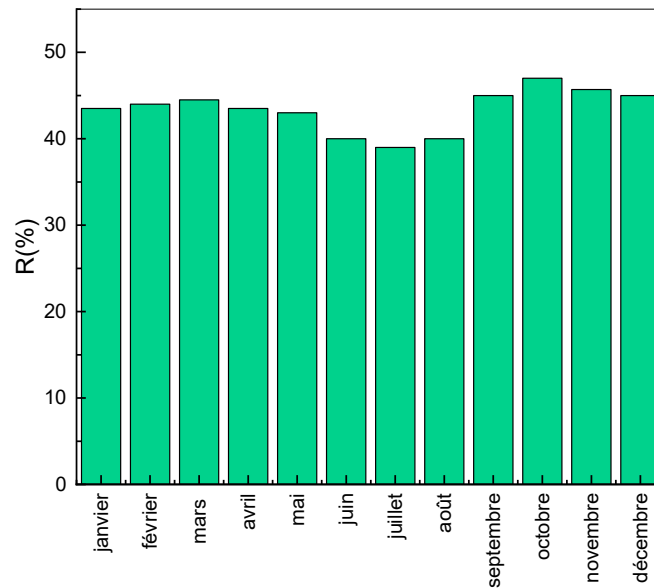


Figure 36 - Le rendement moyen du circuit capteurs.

Cette courbe montre l'évolution de l'efficacité du capteur en fonction du temps. Ce chiffre montre une légère augmentation du rendement de Janvier à Mars. Le capteur affiche le rendement le plus élevé en Octobre. Cela s'explique par la température prédominante durant cette période. Cette température est un intervalle approprié pour le bon fonctionnement du capteur. Au début de l'été, les rendements commencent à baisser et atteignent un creux en juillet. Cette baisse est due à la température élevée. Le rendement moyen de capture = **43,6%**.

4.5.4 Résultats « Usage de l'appoint électrique » :

♦ Energie solaire et énergie d'appoint nécessaires pour l'ECS :

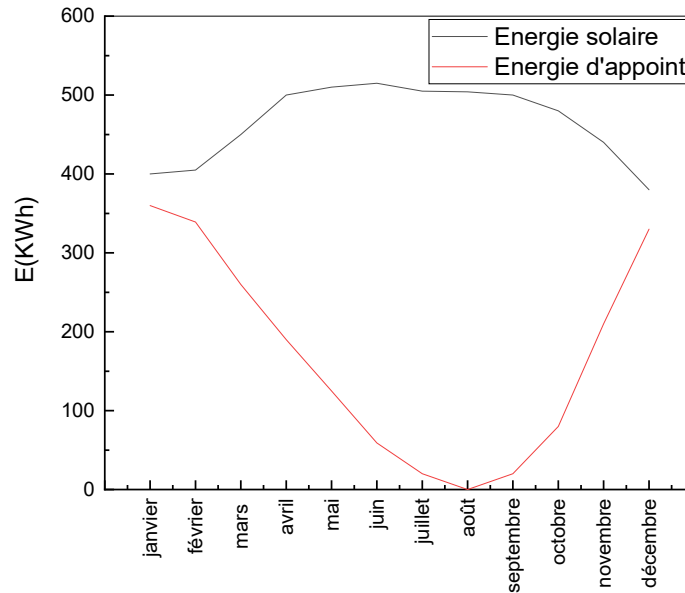


Figure 37 – Energie solaire et énergie d'appoint nécessaires.

Cette courbe représente les deux énergies : l'énergie solaire requise pour chauffer l'ECS et l'énergie électrique pour le chauffage électrique auxiliaire.

Pour l'énergie solaire, il est augmenté surtout pendant l'été d'un maximum de 515 KWh. Au contraire, l'énergie électrique est à zéro pour le mois d'août et à un sommet pour les mois de décembre, janvier et février.

4.6 Résultats de la simulation annuelle :

Cette section présente les résultats de la simulation annuelle résumés dans le tableau suivant :

Tableau 5 - Résultats de la simulation annuelle.

Puissance installée	2.53 KW
Surface de capteur installée (brute)	11 m ²
Energie délivrée par les capteurs	1.8762228e+10 J
Energie délivrée par le circuit de capteurs	1.6096896e+10 J
Energie fournie pour le chauffage eau chaude sanitaire	2.215728e+10 J

Énergie système solaire pour l'ECS	1.57734e+10 J
Apport d'énergie pour l'appoint	7.95996e+9 J
Economie de gaz naturel	539,1 m ³
Emission de CO2 évitée	1139,98 Kg
Taux de couverture eau chaude	66,5%
Energie économisée (relative énergie supplémentaire)	67,9%
Rendement du système	43,6%

Le tableau 5 montre que l'efficacité globale, autrement dit, le rendement énergétique global du système était de 43,6 % en moyenne ce qui est très acceptable. En contrepartie, nous avons un taux moyen de couverture en eau chaude de 66,5%.

4.7 Synthèse des résultats :

On retiendra dans cette section les résultats pertinents de la simulation effectuée :

- L'énergie du rayonnement solaire global est à son maximum en saison d'été.
- L'énergie nécessaire au chauffage d'eau sanitaire est à son maximum en hiver parce que la demande en eau chaude s'y ajoute en cette saison froide.
- L'eau chaude sanitaire garde son allure de température à 55° environ sur tous les mois de l'année, ce qui est une bonne constatation.
- Le taux de couverture en eau chaude sanitaire de notre installation est autour de 66,5% en moyenne, ce qui peut faire l'objet d'une amélioration future.
- Les performances thermiques du système pendant l'été sont moins bonnes par rapport aux autres saisons, du fait que notre installation ne requiert pas d'appoint électrique en cette saison chaude et donc plus de pertes thermiques du côté circuit capteurs.
- Le rendement global du système affiche une bonne moyenne annuelle de 43,6% ce qui est très acceptable pour notre installation.

4.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploité l'outil de conception et de simulation solaire T*SOL dans le but de valider notre installation de chauffage d'eau sanitaire proposée au long du

chapitre précédent et dimensionnée pour un habitat individuel de 6 personnes. Nous avons choisi ce logiciel en raison de sa performance connue dans le domaine, sa facilité d'emploi et bien d'autres avantages.

Les résultats obtenus montrent que les paramètres climatiques de la région dans laquelle une installation solaire va être exploitée, comme la température extérieure par exemple ou le taux de rayonnement solaire, ont un impact considérable sur le rendement de l'installation. Cette constatation doit inciter à prendre tout son temps dans la conception et le choix des matériaux isolants des installations destinées aux régions froides ou à faible taux d'ensoleillement sans pour autant les sur-dimensionner ce qui pourra avoir un effet inverse.

Conclusion générale

En Algérie, les chauffe-eaux solaires sont encore peu utilisés même si la demande en eau chaude dans les industries du pays est importante, c'est pour ça que nous nous sommes intéressés à ce projet de fin d'études très motivant en raison des avantages d'économie, de l'environnement ainsi que du confort de personnes.

Nous nous sommes donc lancés dans l'étude, la conception et le dimensionnement d'une installation solaire de chauffage d'eau sanitaire pour une habitation de 6 personnes dans la région d'Oran. L'objectif étant, comme dans tout autre projet similaire, de mesurer les facteurs influençant le rendement de notre installation. Pour ceci, nous avons axé notre travail sur quatre phases principales :

- La première porte sur l'étude théorique du champ solaire et de l'énergie solaire.
- La seconde couvre les concepts technologiques des chauffe-eaux solaires, leurs composantes principales, leurs types ainsi que leurs principes de fonctionnement.
- Dans la troisième étape de notre travail, nous avons proposé notre installation de chauffage d'eau sanitaire tout en montrant les différents choix de composants effectués ainsi que les calculs relatifs à leur dimensionnement.
- Enfin, nous sommes parvenus à maîtriser l'outil de conception et de simulation solaire très connu dans le domaine T*SOL dans le but d'évaluer les performances de notre installation proposée et valider les résultats obtenus.

Au final, il faut dire que nous avons bien compris que les installations solaires peuvent être utilisées sous n'importe quel climat pour produire de l'eau chaude, mais leur rendement énergétique est directement proportionnel au taux d'ensoleillement à l'endroit où le capteur solaire est installé. En plus, le choix entre les types de capteurs solaires et même entre types de tout autre composant de l'installation n'est pas simple car il est déterminé à la fois par le type d'application recherchée, la fiabilité, le coût et la température souhaitée.

Bibliographie

- [1] www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energiesolaire
- [2] www.futura-sciences.com/sciences/definitions/univers-systeme-solaire-3728/
- [3] www.larousse.fr/encyclopedie/divers/Système_solaire/185915
- [4] www.futura-sciences.com/sciences/definitions/univers-soleil-3727/
- [5] lenergie-solaire.net/qu-est-ce-que-energie-solaire/rayonnement-solaire
- [6] www.arrow.com/fr-fr/research-and-events/articles/5-methods-of-harvesting-solar-energy
- [7] mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/rendement-panneau-solaire.html
- [8] fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_solaire_thermique
- [9] senegrid.com/le-blog/applications-de-l-energie-solaire
- [10] energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/
- [11] www.calculeo.fr/eco-travaux/les-travaux-d-economies-d-energie/energie-solaire-avantages-inconvenients
- [12] www.conservation-nature.fr/ecologie/la-production-denergie/energie-solaire
- [13] J. Bonal; P. Rosseti. Les énergies alternatives, Om, iscience(2007).
- [14] D. K. Edwards. Capteur solaires. Edition SCM, Paris(1979).
- [15] A. Mefti; M. Y. Bouroubi; H. Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des énergies renouvelables N°2, p12, décembre(2002).
- [16] Pierre Bessemoulin et Jean Olivier, le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette-La Météorologie 8ème série n°31-Septembre(2000).
- [17] J. Bernard. Energie solaire, Calculs et optimisation (2004).
- [18] A Sfeir; G. Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires: Technique et documentation. Paris 1981
- [19] ROUDJ Maya Zehira, Master en Energies renouvelables ; conversion thermique, Le stockage thermique par chaleur latente, Université Saad Dahlab –Blida-1 (2020).
- [20] M. D. SIMONET, 'guide au dimensionnement des appareils de production d'eau chaude sanitaire', Institut de Conseils et d'Études en Développement Durable Wallon A.S.B.L, 2015.