

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET OPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Mécanique

Thème :

***Contribution à l'étude d'un chauffage de
bassin d'aquaculture par l'énergie
solaire à Ouargla***

Promoteur :

M. MADANI

Co promotrice :

F. BOUHIRED

Présenté par :

M. BOULIFA

Juin 2011

DEDICACE

À mes chers parents

À mes frères et sœurs et neveux

À la mémoire de me grand-père

À me grand-père et mes grand-mères

À toute la famille BOULIFA et BOUKHALFA sans exception

À tous mes amis de L'ENP et BOURAOUI

À tous ceux qui me connaissent de près ou de loin

Je dédie chaleureusement ce travail

MOHAMED

REMERCIEMENT

Je remercie avant tout ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi, la volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Mes sincères remerciements à mon promoteur Monsieur MADANI Mohammed et ma Co promotrice Madame BOUHIRED Fatiha, pour m'avoir conseillé, dirigé pendant la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont aussi aux messieurs les membres du jury d'avoir pris le temps et le soin de lire ce rapport.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont participé à notre formation et l'aide qu'ils nous ont fourni pendant la période d'étude.

Mes remerciements vont aussi à « عمي صالح » le responsable de la bibliothèque de science fondamentale.

Mes remerciements vont aussi à « بلقاسم بوعائشة » l'étudiant de l'institut national d'informatique.

Je remercie enfin tous mes amis et cousins ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

الملخص:

يتمثل هذا المشروع في قياس مركب تسخين حوض تربية الاسماك "Pescado de la Duna" الواقع بورقلة و ذلك بحساب حاجاته التدفئية و الخسائر , ثم نستعملها في تقييس نظام التدفئة بالمحصلات المستوية بعد ذلك نلحق نظام تحكم من شأنه تسهيل عملية مراقبة النظام.

الكلمات المفتاحية: التدفئة بالطاقة الشمسية, المسطحات المستوية, احتياجات حرارية, نظام تحكم.

Résumé :

Ce projet consiste à dimensionner une installation de chauffage solaire d'un bassin d'aquaculture « Pescado de la Duna » situé à Ouargla en calculant ses besoins énergétiques et les déperditions thermiques, puis les utiliser pour dimensionner le système de chauffage avec des capteurs plan, ensuite nous adaptons un système de régulation pour faciliter le fonctionnement du système.

Mots clés : Chauffage solaire, capteur plan, analyse thermique, régulation.

Abstract:

This project consists in dimensioning a solar heating installation of a basin of aquarium « Pescado de la Duna » located at Ouargla by calculating its energetic needs and thermal losses, and then using them to dimension the heating system, and finally adapting a regulation system to facilitate the operation of the system.

Keywords: Solar heating, plane sensor, thermal analysis, regulation.

TABLE DE MATIERE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : GENERALITES SUR L'AQUACULTURE ET LES INSTALATIONS DE CHAUFFAGE SOLAIRES.....	3
A. Généralités sur l'aquaculture.....	4
1.1 Introduction	4
1.2 La pisciculture	4
1.3 Le tilapia.....	5
1.4 L'Age et la température de tilapia	6
B. Généralités sur les installations de production d'eau chaude solaire.....	7
1.1 Introduction	7
1.2 Le gisement solaire.....	7
1.2.1 Description du soleil.....	7
1.2.2 Données astronomiques.....	8
1.2.3 Le diagramme solaire.....	12
1.2.4 Le rayonnement solaire.....	13
1.3 Description de l'installation solaire.....	21
1.3.1 Introduction.....	21
1.3.2 Capteurs solaires.....	21
1.4 La cuve de stockage.....	32
1.5 La tuyauterie.....	33
1.6 L'échangeur.....	33
1.7 L'appoint.....	34
1.8 Conclusion.....	35
CHAPITRE II : REGULATION DE L'INSTALATION DE PRODUCTION L'EAU CHAUDE.....	36
2.1 Introduction.....	37

2.2	Régulation des pompes.....	37
2.2.1	Régulation de la pompe P1.....	37
2.2.1.1	Régulation différentielle.....	37
2.2.1.2	Régulation différentielle avec vanne de commutation.....	39
2.2.2	Régulation de la pompe P2.....	42
2.3	Régulation de la l'appoint.....	44
	CHAPITRE III : BILAN THERMIQUE.....	48
3.1	Détermination des caractéristiques de transfert de chaleur.....	49
3.1.1	Calcul de h_i	49
3.1.2	Conduction à travers le métal.....	50
3.1.3	Calcul de h_e	50
3.2	Calcul de quantité de chaleur à transmettre du liquide chaud au liquide froid.....	50
3.3	Calcule des Pertes thermique de l'eau de bassin.....	51
3.3.1	Pertes par conduction.....	51
3.3.2	Pertes par convection.....	51
	CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE PRODUCTION	
	D'EAU CHAUDE SOLAIRE	51
4.1	Introduction.....	52
4.2	Les données de base de site.....	52
4.2.1	Paramètres géographiques.....	52
4.2.2	Paramètres climatique.....	53
4.3	Présentation de système.....	54
4.4	Dimensionnement des composants principaux.....	55
4.4.1	Dimensionnement des capteurs solaires.....	55
4.4.2	Dimensionnement du stock.....	55
4.4.3	Dimensionnement de l'appoint électrique.....	56
4.4.4	Dimensionnement de l'échangeur.....	56
4.5	Méthode de calcul des performances thermique des installations de production d'eau chaude solaires	58
4.5.1	Condition d'un bon dimensionnement.....	59
4.5.2	Dimensionnement de système.....	59

4.5.3	Résultats de dimensionnement.....	65
4.6	Interprétation des résultats de dimensionnement.....	66
4.7	Conclusion.....	70
	CONCLUSION GENERALE.....	71
	BIBLIOGRAPHIE.....	72
	ANNEXES.....	74

LISTE DES FIGURES

Figure (1.1) :	Evaluation de la pisciculture.....	5
Figure (1.2) :	Tilapia du Nil.....	6
Figure (1.3) :	position du site P à la surface de la terre.....	8
Figure (1.4) :	Coordonnées équatoriales.....	9
Figure (1.5) :	Cercle horaire.....	10
Figure (1.6) :	coordonnées horizontales.....	11
Figure (1.7) :	Organigramme permettant de construire le diagramme solaire pour une latitude donnée.....	12
Figure (1.8) :	Spectre du rayonnement solaire.....	13
Figure (1.9) :	Bilan énergétique du rayonnement solaire.....	14
Figure (1.10) :	Radiomètre.....	20
Figure (1.11) :	Pyranomètre.....	20
Figure (1.12) :	Pyrhéliomètre.....	20
Figure (1.13) :	héliographe D'après Campb II. Stock.....	20
Figure (1.14) :	Coupe d'un Capteur Solaire Plan.....	22
Figure (1.15) :	Capteur plan vitré.....	23
Figure (1.16) :	Capteur plan vitré à effet de serre.....	23
Figure (1.17) :	Absorbeur et revêtement sélectif.....	25
Figure (1.18) :	capteur sous vide.....	25
Figure (1.19) :	Disposition des Capteurs.....	30
Figure (1.20) :	Montage au sol.....	31
Figure (1.21) :	Montage sur toiture.....	32
Figure (1.22) :	La cuve de stockage avec échangeur.....	33
Figure(1.23) :	Les types d'échangeur.....	34
Figure (2.1) :	Schéma simplifié d'une régulation différentielle de P1.....	38
Figure (2.2) :	Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle de la pompe P1.....	39
Figure (2.3) :	Schéma d'une régulation différentielle avec vanne de commutation de P1.....	40
Figure (2.4) :	Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle avec vanne de commutation.....	41
Figure (2.5) :	Schéma simplifié d'une régulation différentielle de P2.....	42
Figure (2.6) :	Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle de la pompe.....	43
Figure (2.7) :	L'emplacement de l'appoint électrique et régulateur quand les ballons sont confondus et séparés respectivement.....	44
Figure (4.1) :	Façade de la firme.....	52
Figure (4.2) :	Schéma de système.....	54
Figure (4.3) :	Exemple de position de l'appoint électrique dans le ballon.....	56
Figure (4.4) :	Chois de type de lien sur site.....	59
Figure (4.5) :	Chois de type de lien sur site.....	60
Figure (4.6) :	Chois de dimensionnement solo.....	60
Figure (4.7) :	Chois de site.....	61
Figure (4.8) :	La consommation moyenne mensuelle.....	61
Figure (4.9) :	Les paramètres de stockage.....	62
Figure (4.10) :	Le type d'isolant.....	62
Figure (4.11) :	Le type de capteur.....	63

Figure (4.12) :	Les paramètres de capteur.....	64
Figure (4.13) :	Taux de couverture solaire mensuel.....	67
Figure (4.14) :	Température de l'eau froide.....	67
Figure (4.15) :	Apport solaire mensuel.....	68
Figure (4.16) :	Besoins d'eau chaude.....	68
Figure (4.17) :	Irradiation sur le capteur solaire.....	69
Figure(4.18) :	Température d'extérieure.....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 :	Les numéros du jour de l'année.....	10
Tableau 1.2 :	Coefficient de trouble du ciel.....	17
Tableau 4.1 :	Données climatologiques mensuelles de la ville d'Ouargla de 2006 à 2008.....	53
Tableau 4.2 :	Les températures d'eau froide.....	65
Tableau 4.3 :	Caractéristiques d'implantation de l'installation (capteur, stockage).....	65
Tableau 4.4 :	Résultats mensuels de dimensionnement.....	66
Tableau 4.5 :	Résultats annuels de dimensionnement.....	66

NOMENCLATURE

Lettres latines

- A_c : Surface de capteur [m^2].
- e_p : épaisseur de la paroi [m].
- h : Coefficient d'échange [$W/m^2.K$].
- g : gravite [m/s^2].
- K : Conductivité thermique du fluide [$W/m.K$].
- L : Longueur de l'échangeur [m].
- Nu : Nombre de nusselt.
- Pr : Nombre de Prandtl.
- Q_{cvs} : Déperdition par convection [W].
- Q_{cda} : Déperdition par conduction [W].
- Q : Longueur de l'échangeur [W].
- R_0 : Résistance du métal et les dépôts [$m^2.K/W$].
- Re : Nombre de Reynolds.
- Ra_D : Nombre de Rayleigh.
- r_i : Rayon intérieur du tube [mm].
- S_e : Surface d'eau [m^2].
- S_p : Surface de la paroi [m^2].
- T_i : Température du fluide interne [$^{\circ}C$].
- T_e : Température de l'eau du bassin [$^{\circ}C$].
- T_{mi} : Température d'entre échangeur [$^{\circ}C$].
- T_{me} : Température de sortie échangeur [$^{\circ}C$].
- T_i : Température moyenne d'échangeur [$^{\circ}C$].
- T_c : Température à la sortie de capteur [$^{\circ}C$].
- T_b : Température du ballon [$^{\circ}C$].
- T_1 : Température moyenne d'échangeur [$^{\circ}C$].
- T_{se} : Température de surface extérieure d'échangeur [$^{\circ}C$].
- T_{max} : Température mensuelle maximum de l'air extérieur [$^{\circ}C$].
- T_{min} : Température mensuelle minimum de l'air extérieur [$^{\circ}C$].
- T_{se} : Température de la paroi externe du serpentin [$^{\circ}C$].
- U : Coefficient d'échange global [$W/m^2.K$].

- V : Vitesse du fluide [m/s].
 V_{max} : Vitesse maximum du fluide [m/s].
 V_{so} : Volume de ballon de stockage [l].
 $V_{jété}$: Consommé quotidiennement d'été [l].
 V_{jA} : Consommation moyenne journalière sur la période de fonctionnement [l].
 V_{ap} : Volume d'appoint [l].

Lettres grecques

- ΔT_{LM} : Différence de température logarithmique moyenne [°C].
 ΔT_0 : Ecart de la température entre l'entrée et l'eau du bassin [°C].
 ΔT_i : Ecart de la température entre la sortie et l'eau du bassin [°C].
 β : Coefficient de dilatation du liquide en [°C⁻¹].
 C_{pi} : Chaleur massique du fluide à la température T_i [KJ/Kg.K].
 ρ : Masse volumique de fluide [Kg/m³].
 ν : Viscosité cinématique [m²/s].
 α : Diffusivité thermique [m²/s].
 \emptyset_i : Diamètre intérieur du tube [m].
 μ_{pi} : Viscosité dynamique du fluide interne [N.s/m²].
 \emptyset_e : Diamètre extérieur du tube [m].
 λ_p : Coefficient de conductivité de la paroi [W/m².K].

INTRODUCTION

En Algérie, dans le cadre du Plan National de Développement de l'Aquaculture, plusieurs fermes aquacoles pratiquant le système de production intensif de poissons sont en voie de réalisation dont certaines sont en début de production. La chute de température de nuit au sud algérien est l'inconvénient majeur de ces installations de production piscicole.

La nature nous fait don de plusieurs sources d'énergies mais toutes les énergies ne sont cependant pas égales vis à vis de l'impact sur l'environnement et sur l'économie d'énergie et donc le développement durable.

Le monde entier ressent des changements climatiques qui sont dus aux activités humaines quotidiennes par l'utilisation des énergies fossiles qui sont polluantes et épuisables. Choisir d'utiliser préférentiellement les énergies renouvelables c'est assurer un développement économique durable et harmonieux.

Les énergies renouvelables sont définies comme étant essentiellement l'énergie solaire, qui permet de faire de la chaleur ou de l'électricité, ou les autres formes d'énergies : l'énergie du vent (éolienne), l'énergie des cours d'eau (hydraulique), l'énergie du bois et des végétaux (biomasse) etc.....

Ces énergies ont un intérêt particulier par rapport aux autres sources d'énergies d'origines fossiles car :

- ❖ l'utilisation de ces dernières se traduit inévitablement par des rejets gazeux qui contribuent à l'aggravation du phénomène de l'effet de serre et la pollution de l'atmosphère, pollution des sols, ...etc.
- ❖ Ce sont des réserves limitées à l'horizon d'un siècle pour le gaz et le pétrole.
- ❖ Et enfin l'énergie représente un poste de dépenses important, comme on le voit bien aujourd'hui pour les industries, les collectivités et les ménages.

L'Algérie, pays riche en potentiel énergétique solaire a pris conscience de l'enjeu, œuvre par le biais du CDER (centre du développement des énergies renouvelables) et d'autres organismes tels que l'agence APRUE...pour faire avancer la recherche et encourager les investissements dans ce domaine dont l'application est basée essentiellement sur le thermique et le photovoltaïque. Dans notre travail nous nous intéressons au solaire thermique.

L'énergie solaire thermique est une des sources d'énergies renouvelables la plus proche de l'utilisateur, et une des plus faciles à mettre en œuvre et à utiliser. En outre, elle est directement liée aux activités quotidiennes. Elle consiste à utiliser l'énergie du rayonnement solaire qui atteint la surface de la terre pour produire de la chaleur aux usages multiples : D'abord pour la production d'eau chaude sanitaire, pour le chauffage des piscines, le chauffage de locaux, la climatisation, ainsi que les applications agricoles et industrielles.

Le chauffage solaire et la production d'eau chaude se trouvent parmi les applications les plus répandues et les plus performantes de l'énergie solaire thermique, d'où des recherches sérieuses doivent être menées pour contribuer au développement de ce domaine dans notre pays, pour se faire, nous faisons appel, dans notre travail, aux dernières techniques et savoirs afin d'arriver à une meilleure conception du point de vue rentabilité, fiabilité, performance et garantie des résultats solaires.

Le projet est réparti en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présenterons des généralités sur l'aquaculture et les installations de production d'eau chaude solaire.

Le deuxième chapitre sera consacré à la régulation de l'installation de production d'eau chaude par des systèmes de régulation industriel.

Le troisième chapitre présentera bilan thermique de l'installation et la formulation mathématique des apports de chaleur.

Finalement, le quatrième chapitre sera relatif au dimensionnement de l'installation de production l'eau chaude solaire et nous utilisons le logiciel « SOLO 2000».

Chapitre I :
GENERALITES SUR
L'AQUACULTURE ET LES
INSTALATIONS DE
CHAUFFAGE SOLAIRES

A. Généralités sur l'aquaculture

1.1 Introduction

L'aquaculture apparaît en Égypte et en Chine au IV^e millénaire av. J.-C.. Elle pouvait concerner des espèces élevées pour l'alimentation, ou pour d'autres raisons (poissons d'apparat tels que les carpes Koï). Les mandarins élevaient le carassin et ils ont créé de grandes fermes aquacoles. L'élevage et la sélection de carpes Koï a commencé il y a plus de deux mille ans [1].

Une aquaculture extensive existait dans toute l'Europe dès le Moyen Âge, exercée dans une multitude de mares et de réseaux d'étangs, dont certains comme dans la Dombes en France étaient périodiquement vidés et mis en culture, fournissant un complément alimentaire important aux paysans et aux moines. Au Moyen âge, le moine Aquarius était chargé des élevages de poissons qui servaient de nourriture, lors du Carême entre autres. Les rivières elles-mêmes étaient localement des lieux de production, par exemple près des moulins à eau, qui nourrissaient et attiraient des poissons avec leurs déchets (riches en vers de farine et autres invertébrés) dont des truites de mer. Des viviers marins, parfois en forme de navire ou de ponton ont existé où l'on pouvait conserver ou engraisser des poissons ou crustacés (langoustes notamment) [1].

À la fin du XX^e siècle et au début du XXI^e siècle, la production aquacole mondiale augmente de façon spectaculaire, notamment pour les saumons et truites, pour les crustacés, les moules, les palourdes et les ormeaux dans les années 2000, non sans impacts environnementaux, directs et indirects. Le développement de vaccins a pu localement fortement réduire les teneurs des effluents en antibiotiques. Une controverse importante persiste sur les poissons OGM inventés en France et développés au Canada, mais non autorisés sur le marché alimentaire[2].

L'aquaculture a contribué au développement ou à la circulation de maladies qui sont redoutées des aquaculteurs en raison des pertes qu'elles peuvent occasionner.

1.2 La pisciculture

La production piscicole mondiale croît régulièrement. En 2005, la pisciculture représente 48,1 % de la production aquacole mondiale (animale et végétale), avec une progression de 5,4 % par rapport aux chiffres de 2004.

L'élevage des poissons permet de fournir plus de 27 % de la consommation mondiale (pêche minotière comprise). Cette pisciculture a lieu principalement en eaux douces (continentales) [2].

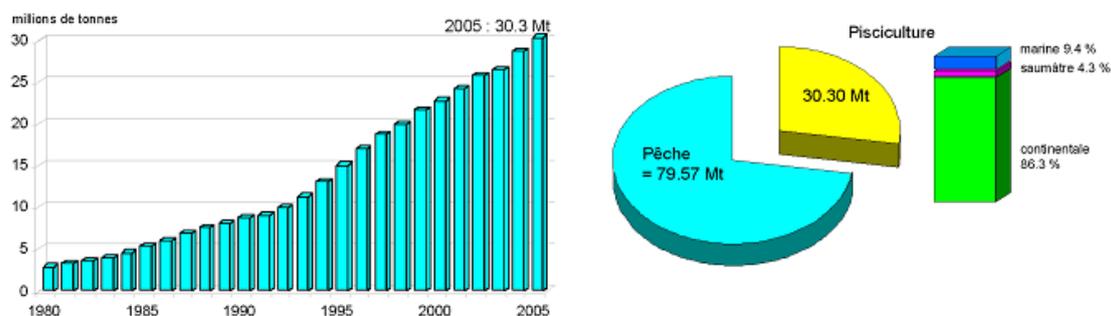


Figure (1.1) : Evaluation de la pisciculture [2]

1.3 Le tilapia

Le tilapia est l'un des poissons le plus largement élevé dans le monde et sa production augmente à un rythme élevé : 400 000 t en 1990, 1 800 000 t en 2004. Comme pour la carpe, le tilapia est l'un des poissons ayant fait l'objet du plus grand nombre d'introductions et de transferts à travers le monde à des fins d'élevage. Il est produit actuellement dans une centaine de pays. La sous-famille des tilapias est constituée d'une centaine d'espèces dont une, *Oreochromis niloticus*, représente 85-90% de la production.

Alors que le tilapia est déjà bien connu en Afrique depuis des siècles (continent d'origine de ce poisson), les pays développés ne l'ont découvert que depuis 2 décennies. La chair blanche du tilapia est « goûteuse » et il compte parmi les 10 poissons les plus appréciés aux USA. Les filets présentent une jolie coloration : blanche ou très légèrement rose avec une chair ferme et qui le reste durant la cuisson. La qualité de la chair est souvent comparée à celle du poisson-chat américain voire à celle de la morue. De nombreuses perspectives positionnent le tilapia comme une des espèces susceptibles de remplacer certaines espèces marines en danger. L'approvisionnement en tilapia du marché international est relativement aisé à programmer du fait que l'essentiel de la production destinée à l'Europe ou aux Etats-Unis d'Amérique provient de l'élevage. On peut estimer, très globalement, que la production de tilapia aujourd'hui répond aux exigences du développement durable.

Le marché international du tilapia doit s'amplifier de façon (très) significative selon les diverses projections élaborées ces dernières années et de très nombreux investissements privés (surtout) et publics sont programmés, au Nord comme au Sud, dans les prochaines années. Le prix du tilapia est amené à décroître dans ce futur contexte. Aux Etats-Unis, le prix du filet frais du tilapia était en 2005 de 7.70 US\$/kg soit 15 % de moins que l'année précédente à comparer avec 6.27 US\$/kg pour le poisson-chat américain (*Ictalurus punctatus*) [3].



Figure (1.2) : Tilapia du Nil [3]

1.4 L'âge et la température de tilapia

Le tilapia est un poisson à croissance relativement rapide qui se nourrit aux niveaux inférieurs de la chaîne alimentaire. Son régime alimentaire est très plastique (de la fertilisation aux aliments composés) principalement basé sur l'utilisation de produits et de sous-produits végétaux ou d'aliments composés à faible teneur en protéines (25 %). En fonction de son régime alimentaire, le tilapia peut atteindre la taille marchande de 400 g en 8 mois.

Le tilapia peut être produit partout où l'eau est disponible, certaines espèces ayant même l'aptitude à s'adapter à des eaux saumâtres/salées. La seule contrainte majeure est d'ordre thermique : 22°C minimum à 38°C maximum (optimum : 28-32°C) [3].

B. Généralités sur les installations solaires de production d'eau chaude

1.1 Introduction

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et propre, elle permet de respecter l'environnement et de préserver la santé et les ressources énergétiques, sans produire de déchets ni d'émissions polluantes, notamment de gaz carbonique.

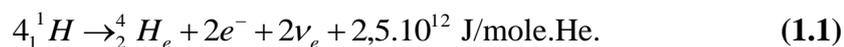
Au-delà des enjeux environnementaux et de l'impact sur la production de gaz à effet de serre, l'eau chaude représente une part non négligeable de la facture énergétique d'un bâtiment ou d'une institution publique qui consomme d'importantes quantités d'eau chaude et qui pourrait réaliser des économies grâce au chauffage solaire de l'eau.

1.2 Le gisement solaire

1.2.1 Description du soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée en grande partie de H₂ (hydrogène) et de He (d'hélium), cette boule de gaz ardente de 1391000Km de diamètre, est à 150 000 000Km de la terre, distance si grande que sa lumière qui se propage à une vitesse de 3.10⁵Km/s ne nous parvient qu'en 8 minutes. Sa masse est de 2.10²⁷ tonnes équivalant à 330 000 fois celle de la terre .Il représente 99,867 % de la masse totale du système solaire. Sa température de radiation si on assimile le soleil à un corps noir, est de 5700K selon la loi de Stephan (Le soleil tourne sur lui-même en 24,64 jours, avec une vitesse de 20Km/s, il semble se diriger vers un point précis de la constellation d'Hercule.)

Toute l'énergie du soleil provient de réaction thermonucléaire qui s'y produit <cycle de Bethe>



1.2.2 Données astronomiques

A. Notion de position

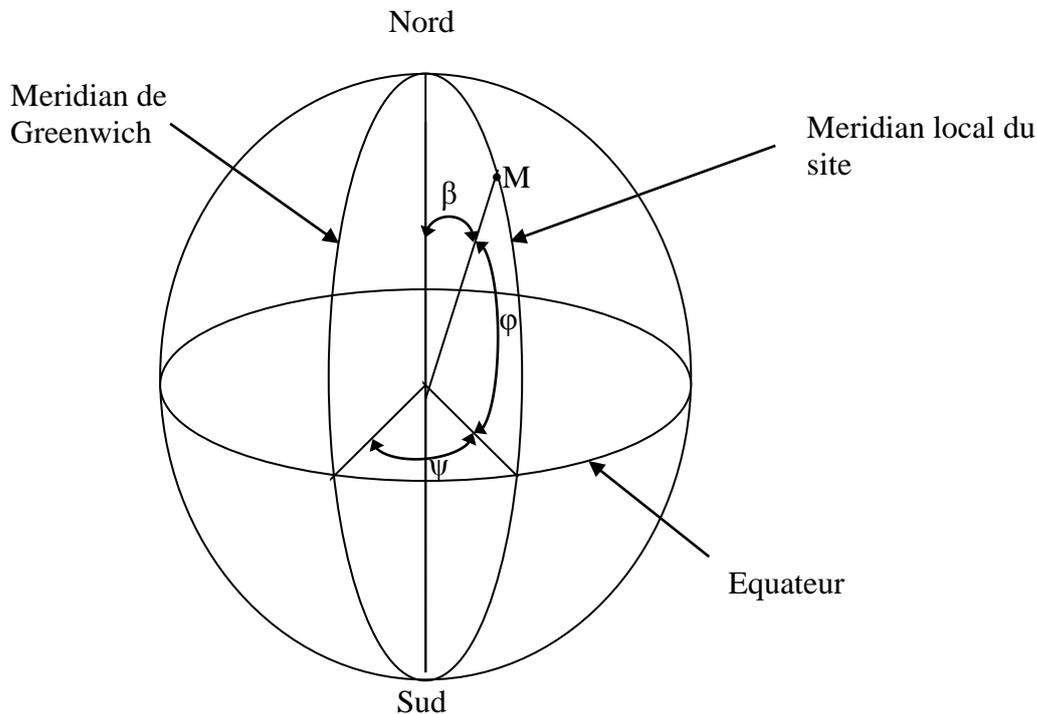


Figure (1.3) : position du site P à la surface de la terre [4]

A.1.Coordonnées terrestres

On repère un site donné à la surface de la terre par deux coordonnées, la latitude φ et la longitude ψ .

a. La latitude φ

C'est l'angle formé par la verticale d'un lieu donné avec le plan équatorial terrestre. Elle est comptée à partir de l'équateur de 0 à $\pm 90^0$, positivement vers le nord et négativement vers le sud.

b. La longitude Ψ

C'est l'angle formé par le méridien local du site avec le Méridien de référence (méridien de Greenwich).

c. L'inclinaison du plan β

c'est l'angle entre le plan lui-même et l'horizontal

$\beta=0$: pour un plan horizontal tourné vers le haut.

$\beta=90^\circ$: pour un plan vertical

$\beta=180^\circ$: pour un plan horizontal tourné vers le bas. [4][5]

d. L'angle d'incidence θ

C'est l'angle formé par la direction des rayons solaire avec la normale du récepteur.

A.2 Coordonnées équatoriales

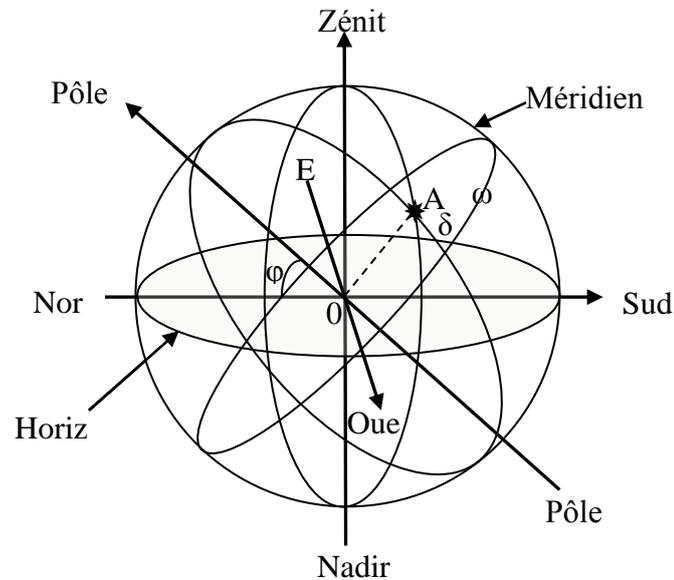


Figure (1.4) : Coordonnées équatoriales [4]

Le plan de référence est l'équateur céleste, les deux coordonnées utilisées sont la déclinaison δ et l'angle horaire ω .

a. La déclinaison δ

l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial cette déclinaison varie entre $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$, la valeur de déclinaison peut être calculée par la relation suivante [4] :

$$\delta = 23.45 \sin[0.980(j + 284)] \quad (1.2)$$

J: Numéro du jour de l'année.

Les numéros du jour de l'année sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 1.1 : les numéros du jour de l'année. [5]

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Numéro du premier jour du mois	0	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334

b.L'angle horaire ω

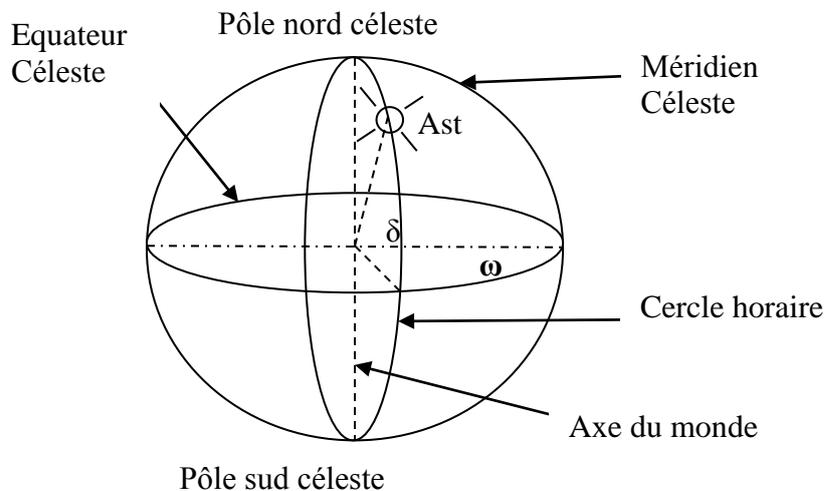


Figure (1.5) : Cercle horaire [4]

On peut, à partir des lois régissant les mouvements apparents du soleil par rapport à un observateur terrestre, calculer les coordonnées du soleil en tout point de la terre et à tout instant, l'angle horaire ω est de 0 à midi qui est donné par la formule suivante :

$$\omega = 15^\circ(T_s - 12) \quad (1.3)$$

$$T_s = 12h$$

A.3 Coordonnées horizontales

C'est le repérage du soleil par la hauteur angulaire h et l'azimut a du soleil.

a .la hauteur du soleil h

C'est l'angle que fait la direction de l'astre avec le plan horizontal, elle varie de 0 à $\pm 90^\circ$, positivement vers le zénith et négativement vers le nadir. Elle est donnée

par la formule :
$$\text{Sin } h = \text{Sin } \varphi \text{Sin } \delta + \text{Cos } \varphi \cdot \text{Cos } \delta \cdot \text{Cos } \omega \quad (1.4)$$

b. l'azimut du soleil a

Correspond à l'angle que fait le plan méridien local avec le plan vertical passant par l'astre. L'azimut est compté inférieur à 0 vers l'est et supérieur à 0 vers l'ouest.

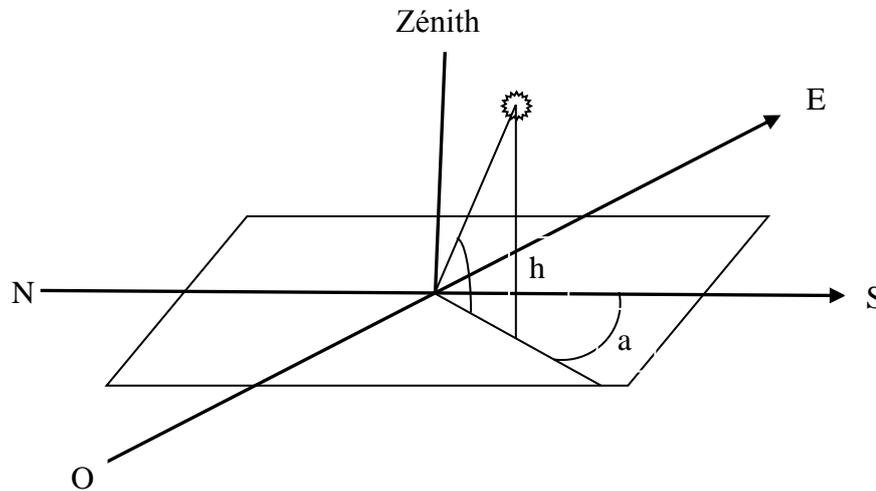


Figure (1.6) : coordonnées horizontales. [4]

L'azimut du soleil a se déduit de la relation suivante :

$$\sin a = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos h} \quad (1.5)$$

Des diagrammes solaires peuvent également permettre une détermination rapide en un lieu d'altitude donné, les valeurs de h et a pour chaque heure de la journée et chaque mois de l'année.

B. Notions de l'heure et du temps

B.1 Relation entre le temps légal et le temps solaire

Les relations se rapportant au mouvement du soleil utilisent le temps solaire qui diffère du temps légal T.L (l'heure sur les montres), la différence entre T.L et l'heure civil du fuseau horaire dans lequel il se trouve, est donnée par :

$$C = TL - TCF \quad (1.6)$$

$$CF = TU$$

TCF : Temps civil du fuseau horaire.

TU : Temps universel augmenté de la valeur du décalage horaire la variation de la vitesse de la terre sur sa trajectoire autour du soleil introduit un terme correctif appelé Equation du Temps.

$$E.T = [0,0002 - 0,4797 \cos(\omega J) + 3,2265 \cos(2\omega j) + 0,0903 \cos(3\omega j) + 7,3509 \sin(\omega J) + 9,391 \sin(2\omega j) + 0,3361 \sin(3\omega j)] \quad (1.7)$$

j = nombre du jour

$\omega = 0,984$.

E.T = terme correctif en mn ;

Cette équation du temps (E.T) indique la correction qui permet de passer du temps solaire vrai au temps solaire moyen, cette correction varie de -14 à +16 minutes au cours de l'année.

Cela veut dire que le soleil peut passer au méridien de 16 minutes d'avance ou 14 minutes de retard par rapport au temps moyen [4].

1.2.3 Le diagramme solaire

Pour évaluer les paramètres solaires rapidement et sans calculs fastidieux, on utilise des diagrammes ou des abaques qui fournissent des valeurs approchées.

Le diagramme circulaire ou solaire est le plus utilisé, représente l'azimut a par des rayons issus de centre de diagramme et la hauteur h par des cercles concentriques.

Le diagramme solaire est très utilisé pour l'évaluation des effets de masque. [4]

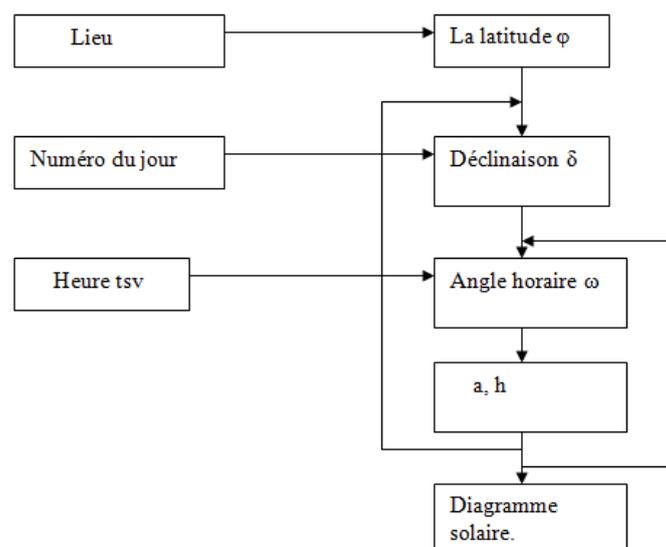


Figure (1.7) : Organigramme permettant de construire le diagramme solaire pour une latitude donnée.

1.2.4 Le rayonnement solaire

Il doit être connu par ses différents aspects, il faut d'abord déterminer l'énergie totale que le soleil envoie à la limite de l'atmosphère terrestre qui est la constante solaire, ensuite connaître la répartition spectrale en fonction de la longueur d'onde.

Enfin on doit tenir compte de l'absorption atmosphérique.

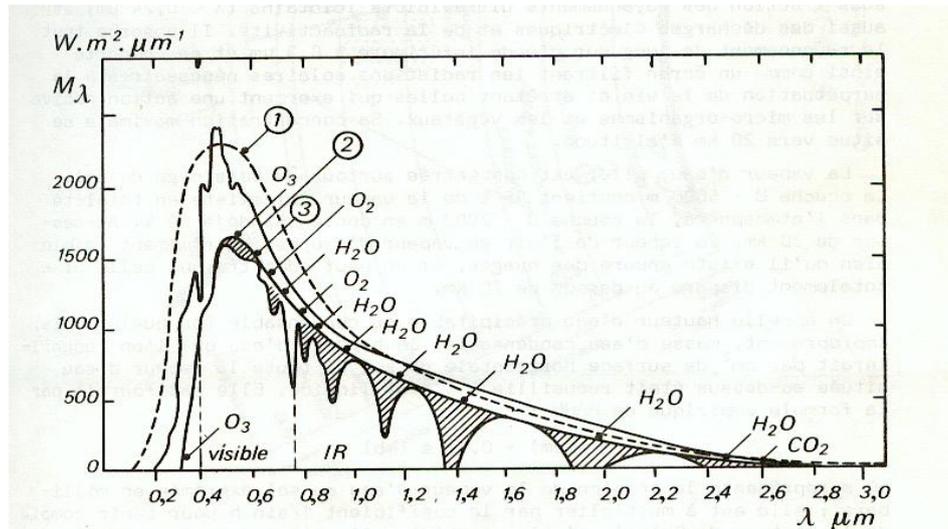


Figure (1.8) : Spectre du rayonnement solaire. [4]

1–Corps noir à 5800K

2– courbe de l'énergie rayonnée à la limite de l'atmosphère.

3– courbe de l'énergie au niveau de la mer.

Les zones hachurées représentent les bandes d'absorption.

1.2.4.1 Le bilan radiatif terrestre

Admettons qu'à la limite de l'atmosphère la terre reçoit du soleil $8,6 \text{ kWh} / \text{m}^2$ qui correspond à 100% où le sol reçoit 4,7%, dont 31% traverse directement l'atmosphère et 16% diffusé par cette dernière vers le bas. [4]

Ce bilan radiatif est excédentaire pendant la journée et déficitaire pendant la nuit, sa valeur est liée aux propriétés physiques de la surface terrestre et enfin soumise aux variations saisonnières.

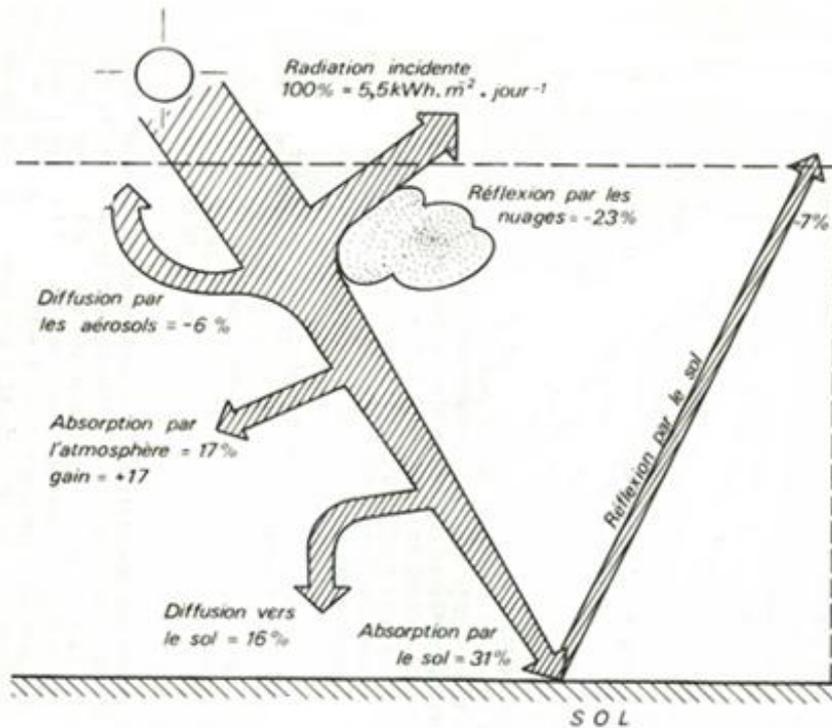


Figure (1.9) : Bilan énergétique du rayonnement solaire. [4]

1.2.4.2 Interaction du rayonnement solaire avec l'environnement

L'atténuation que subit le rayonnement solaire lors de son passage dans l'atmosphère est caractérisée par deux phénomènes ; l'absorption et la diffusion.

a. L'absorption

Les rayons X et UV où $\lambda > 0,18\mu\text{m}$ sont absorbés au-dessus de 60Km, l'UV moyen ($0,18 < \lambda < 0,29\mu\text{m}$) est absorbé entièrement par O₂ et O₃ et l'UV où ($\lambda < 0,4$) est partiellement absorbé entre 10 et 50Km L'absorption décroît lorsque λ augmente.

b. La diffusion

b.1 Diffusion atmosphérique

Le rayonnement solaire lors de son passage dans l'atmosphère subit une diffusion qui est la redistribution spectrale du rayonnement par des particules matérielles.

On distingue trois types de diffusion :

- ✓ Si $\lambda \gg r$ diffusions moléculaire (diffusion de REYLEIGH).
- ✓ Si $\lambda = r$ diffusion par les aérosols (diffusion MIE).

- ✓ Si $\lambda \ll r$ diffusions par gouttelettes d'eau et cristaux de nuage.
Avec r : le rayon de la particule diffusante.

b.2 Energie reçue par le sol

• Notion d'Albédo

On appelle albédo a^* la fraction de l'énergie incidente diffusée par un corps lumineux, sachant que l'albédo d'un corps noir parfait est nul. [4]

1.2.4.3 Caractéristiques du rayonnement solaire

➤ le rayonnement solaire à la limite de l'atmosphère.

a) Constante solaire

Se dit de l'éclairement énergétique d'une surface au rayon solaire, située à la limite de l'atmosphère, cette valeur est fixée à 1353 w/m^2 . Elle est évaluée par l'expression suivante [4] :

$$E_0 = 1367[1 + 0,034 \cos(0,986n - 2)] \quad (1.8)$$

Avec n : le numéro du jour

b) Insolation

• Insolation partielle (ss_0)

Est la valeur d'insolation pour un jour considéré en l'absence de l'atmosphère, elle dépend de la position géographique du lieu.

$$SS_{o(n)} = \frac{2}{15} \arccos((-tg \varphi)(tg \delta)) \quad (1.9)$$

Avec : n : nombre du jour.

φ : la latitude du lieu.

δ : la déclinaison solaire.

• Durée d'insolation (ss)

Selon les normes internationales, elle est exprimée en heure ou dixième d'heure. Pour évaluer (SS) on adopte le seuil minimum $I^* = 120 \text{ w/m}^2$, elle est mesurée à l'héliographe de Campbell-stokes.

- **Facteur d'insolation σ**

C'est le rapport entre la durée effective d'insolation SS et la durée partielle SS_0 , elle est significative des conditions de nébulosité

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad (1.10)$$

- **Le rayonnement solaire au voisinage du sol**

- ❖ **Influence de l'atmosphère sur le rayonnement**

L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure la sphère terrestre, elle est constituée de 78% d'azote et 21% d'oxygène et les gaz contenus le 1% restant sont : l'argon 0,9%, le dioxyde de carbone 0,03%, la vapeur d'eau et des traces d'hydrogène, d'ozone O_3 , de méthane, de carbone, d'hélium, de néon, de krypton et de xénon.

De plus on peut distinguer différentes couches atmosphériques du sol jusqu'à la limite de l'atmosphère

- **Troposphère**

C'est la couche la plus basse de l'atmosphère, la température diminue de $5,5^\circ\text{C}$ chaque 10m ; dans cette couche se forment les nuages, elle s'étend sur environ 16Km dans la région tropicales jusqu'à une température -80°C et sur environ 9,7Km sous les latitudes tempérées jusqu'à -50°C .

- **Stratosphère**

Se trouve juste après la troposphère, elle s'étend jusqu'à 40Km, la température varie très peu jusqu'à une hauteur de 40Km environ au-dessus de la mer. A l'intérieur de la troposphère se trouve la couche d'ozone (O_3) d'environ 23Km d'épaisseur qui protège la terre du rayonnement UV provenant du soleil.

- **Inosphère**

Cette couche s'étend jusqu'à une altitude de 640Km la température dans cette couche est très élevée arrive jusqu'à 1200°C environ à 400Km d'altitude.

➤ **Exosphère**

Elle se trouve jusqu'à 9600Km, c'est la limite de l'atmosphère, elle contient des gaz qui s'échappent dans l'espace.

1.2.4.4 Irradiation Solaire

Le rayonnement solaire qui atteint le sol se compose de trois composantes :

- Le rayonnement direct qui provient directement du disque solaire.
- Le rayonnement diffus qui provient de la voûte céleste et du sol.
- Le rayonnement global.

1.2.4.4.1 Le rayonnement direct E

C'est le rayonnement émis par le soleil incident sur un plan donné et provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire. Il est établi par la relation suivante :

$$E_1 = E_0 C e \exp\left(\frac{-F}{\sinh}\right) \quad (1.11)$$

Avec :

E_0 = constante solaire.

C = Correction de la distance terre-soleil

$$e = 1 + 0,0034 \cos [(n-3) (360)/365]. \quad (1.12)$$

h = hauteur du soleil.

e et **F** : coefficient de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Tableau 1.2 : Coefficient de trouble du ciel

	Ceil dégagé très pur	Condition normales	Zone industrielle
e	0,87	0,88	0,91
F	0,17	0,26	0,43

- ❖ **Dans le cas horizontal :** le rayonnement mesuré sur un plan horizontal est donné par la relation suivante :

$$E_2 = E_1 \sin h \quad (1.13)$$

- ❖ **Dans le cas d'un plan quelconque :** dans ce cas le rayonnement direct est donné par la formule suivante :

$$E = E_1 \cos \theta \quad (1.14)$$

Avec

θ : angle d'incidence des rayons solaires.

$$\cos \theta = \cos \beta_1 \sin h + \sin \beta_1 \cos h \cos (a - \beta_2). \quad (1.15)$$

β_1 : l'inclinaison du capteur plan par rapport à l'horizon.

a : azimut du soleil

β_2 : angle formé par la projection de la normal au plan du capteur et la direction sud.

1.2.4.4.2 Le rayonnement diffus D

C'est le rayonnement global à l'exception du rayonnement direct, il comprend la plus grande partie du rayonnement réfléchi par le sol suivant l'inclinaison de la surface réceptrice, il se compose en deux composantes [5] [6].

- **Le rayonnement diffus provenant de la voûte céleste**

L'irradiation diffuse provenant de la voûte céleste reçue sur un plan horizontal s'écrit suivant la formule suivante :

$$D_{1H} = E_0 C \sinh \left[0.271 - 0.2939 \cdot e \cdot \exp \left(\frac{-F}{\sin h} \right) \right] \quad (1.16)$$

Dans le cas d'un plan quelconque [2].

$$D_1 = D_{1H} \cdot \left[\frac{1 + \cos \beta_1}{2} \right] \quad (1.17)$$

Avec :

β_1 : inclinaison du plan.

$$\left[\frac{1 + \cos \beta_1}{2} \right] : \text{Le facteur de forme entre le plan et la voûte céleste.}$$

- **Le rayonnement diffusé par le sol**

Cas d'un plan horizontal :

$$D_{2H} = a^* (E_2 + D_{1H}) \quad (1.18)$$

Avec :

a^* : albédo du sol.

Cas d'un plan quelconque

$$D_2 = D_{2H} \left[\frac{1 - \cos \beta_1}{2} \right] \quad (1.19)$$

Avec :

$\left[\frac{1 - \cos \beta_1}{2} \right]$: Facteur de forme entre le plan et le sol.

1.2.4.4.3 Le rayonnement global G_T

C'est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus, donc on peut l'exprimer par :

$$G_T = E + D \quad (1.20)$$

Avec :

E : rayonnement direct

D : rayonnement diffus.

et $D = D_1 + D_2$.

1.2.4.5 Instrument de mesure de rayonnement

Les premières mesures Solari métriques on été entreprises par POUILLET en 1837, entre 1893 et 1939 des progrès considérables sont dus aux travaux de K. ANGSTROM et d'ABBOT. [5]

a- Radiomètre

Appareil destiné à la mesure du rayonnement, le radiomètre de Crookes est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Voir fig (1.9)

b- Le pyranomètre

Instrument destiné pour mesurer le rayonnement global G_T parvenant sur une surface plane à partir d'un angle solide 2π stéradians.

Si cet appareil est muni d'un pare-soleil il peut mesurer le rayonnement diffus D

Voir Figure I.8 l'un des appareils les plus répandus dans le monde est le pyranomètre KIPP. Voir Fig. (1.10)

c- Le pyréliomètre

Appareil mesurant le rayonnement solaire direct E , il est orientable de façon à ce que sa surface réceptrice soit normale aux rayons solaires. Voir Fig. (1.11)

Il se présente sous trois types selon sa constitution:

- Le pyréliomètre à disque d'argent d'Abbott.
- Le pyréliomètre à circulation d'eau d'Abbott.
- Le pyréliomètre d'angström (1893).[5]



Figure(1.10) : Radiomètre [7]



Figure(1.11) : Pyranomètre [7]



Figure(1.12) : Pyréliomètre [7]



Figure(1.13) : héliographe D'après Campb II. Stock [7]

1.3 Description de l'installation solaire

1.3.1 Introduction

L'utilisation de l'énergie solaire thermique redevient d'actualité grâce à son formidable impact sur la réduction des émissions de CO₂ et à des installations performantes.

Ainsi pour les installations collectives, la mise en œuvre de la garantie de résultats solaires est une donnée incontournable.

Pour exploiter ou stocker cette énergie solaire il faut la convertir en une autre forme d'énergie, pour cela on utilise les capteurs solaires.

1.3.2 Capteurs solaires

Selon la conversion d'énergie on distingue deux catégories de capteurs solaires :

- Capteurs solaires photovoltaïques.
- Capteurs solaires thermiques.

Dans notre travail on s'intéressera uniquement au capteur solaire thermique.

1.3.2.1 Capteurs solaires thermiques

Ce sont des capteurs qui transforment l'énergie solaire en énergie thermique, utilisés pour le chauffage des locaux, la production d'eau chaude sanitaire à basse température, on distingue deux catégories de capteurs solaires thermiques :

- Capteurs à circulation de liquide.
- Capteurs à air.

1.3.2.1.1 Capteurs à circulation de liquide

Ce sont des capteurs où le fluide caloporteur qui circule à travers un circuit solaire c'est un liquide (eau, huile, un fluide thermique, antigel)

Les capteurs solaires à circulation de liquide les plus répandus sont :

- les capteurs plans.
- les capteurs à concentration.

a. Capteur plan (ou insolateur)

C'est un élément très simple, comportant un absorbeur métallique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur, cet absorbeur est monté dans un boîtier isolé recouvert d'un verre ou d'une feuille en matière synthétique hautement transparente. L'absorbeur comporte une couche noire souvent sélective qui absorbe efficacement le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement. Le schéma suivant présente la structure d'un capteur plan

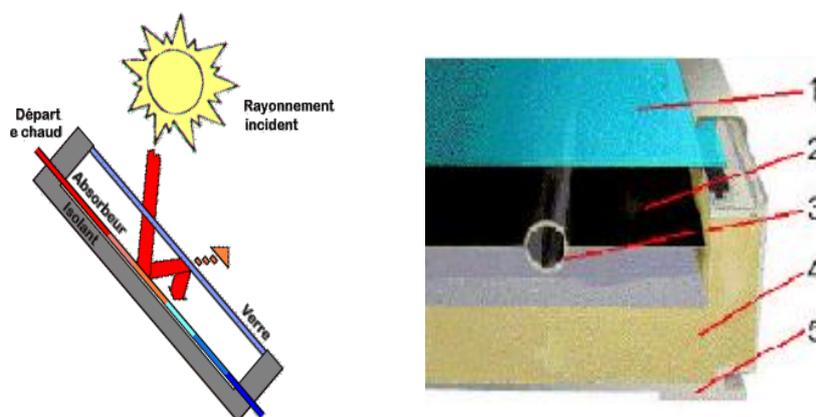


Figure (1.14) : Coupe d'un Capteur Solaire Plan.

1. Un ou plusieurs couverts transparents.
2. Une plaque absorbante.
3. Un circuit hydraulique pour l'évacuation du fluide.
4. Une isolation thermique.
5. Un bac portant le tout.

Il existe trois types de capteurs solaires plans :

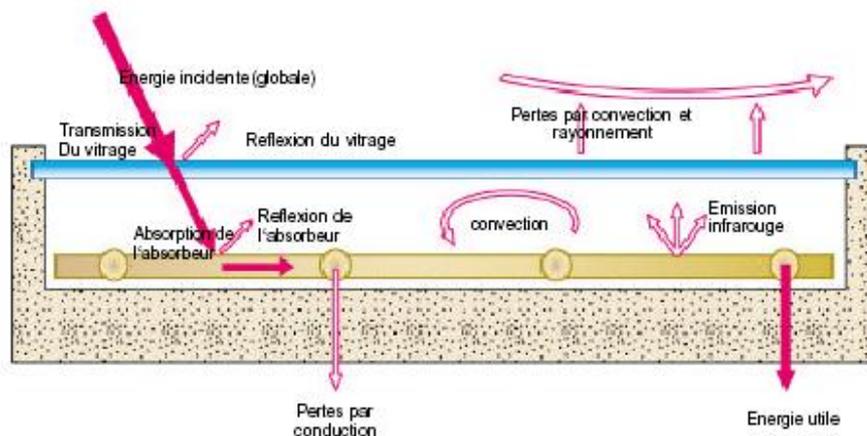
- 1) Capteurs plans vitre.
- 2) Capteurs plans non vitre.
- 3) Capteurs plans à haute performance.

a.1. Capteurs plan vitrés

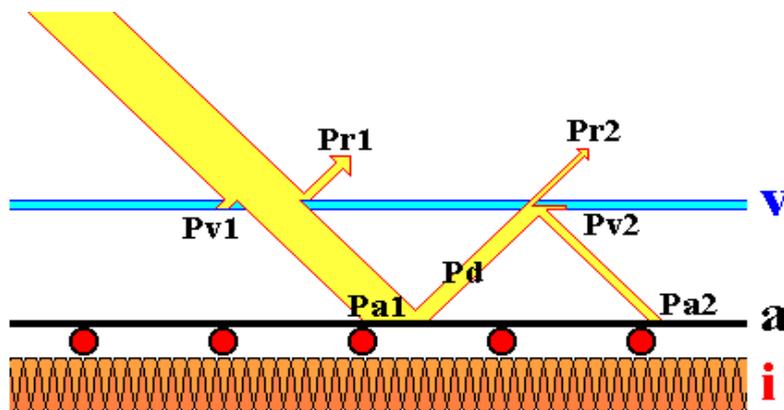
Pour des niveaux de températures de 35° a 90°c, il est nécessaire d'utiliser des capteurs avec vitrage. L'absorbeur est dans ce cas, métallique (en cuivre ou en aluminium, dans un caisson isolé en face arrière, et vitré en face avant.

La fonction du vitrage est de piéger le rayonnement en créant un effet de serre.

Ce type de capteur est utilisé généralement pour la production d'ECS voir figure 1.14 et figure 1.15 :



Figure(1.15) : Capteur plan vitré.



Figure(1.16) : Capteur plan vitré à effet de serre

- **Principe de l'effet de serre**

Le fonctionnement de tout capteur à basse température se fait par effet de serre, cet effet s'explique que par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire, alors il est presque opaque au rayonnement infrarouge.

Le rayonnement solaire ne traverse pas entièrement la vitre V du capteur car une petite partie Pr_1 est réfléchiée par la vitre, surtout, si l'angle d'incidence est fort, malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie Pv_1 de l'énergie reçue sera absorbée par le verre. Du rayonnement reçu par l'absorbeur à Pa_1 , une partie Pd sera ré-rayonnée ou communiquée à l'air ambiant par convection.

Une partie Pr_2 de Pd va traverser la vitre et le reste sera perdu définitivement ; une autre partie Pv_2 sera absorbée par la vitre et le reste retournera vers l'absorbeur Pa_2 , on négligera les pertes au travers de l'isolant (1.15).

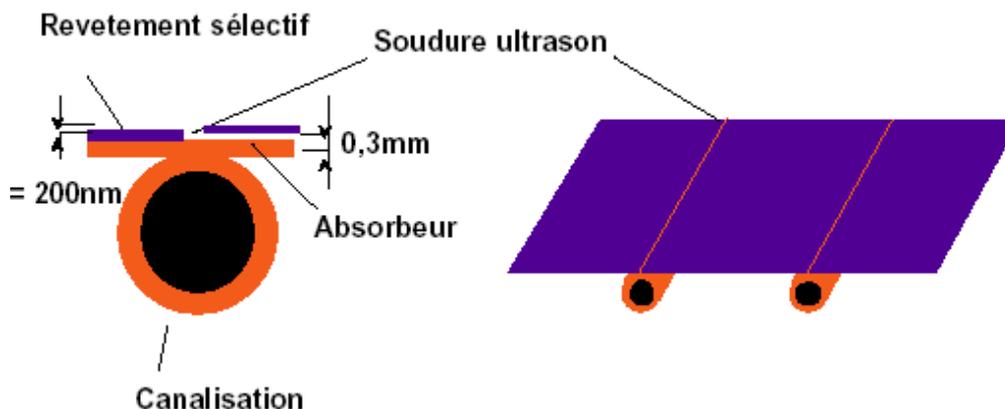
a.2. Capteurs plans non vitrés

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer, son application usuelle est le chauffage de piscine en plein air, il ne permet pas la production d'ECS sauf dans les pays chauds. Il s'agit d'un seul absorbeur en matière synthétique pour les applications à basse températures en métal revêtu d'une couche sélective, se compose d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres.

a. 3. Capteurs plan à haute performance

- **Capteurs plans sélectifs**

Certains absorbeurs ont un revêtement sélectif dont la propriété est d'émettre qu'une faible portion de l'énergie absorbée (7 à 20%). Pour la plupart des capteurs ce type de revêtement est à base de nickel et de chrome. L'absorbeur sélectif améliore le rendement du capteur. Cette particularité est d'autant plus intéressante pour des climats froids et pour des applications nécessitant des températures importantes (eau chaude par exemple).



Figure(1.17) : Absorbeur et revêtement sélectif.

- **Capteurs plans sous vide**

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevée (jusqu'à 120°C). Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif. Le vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur .l'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration.

Ces capteurs conviennent bien à la production d'EC en montagne ou dans les pays du nord compte tenu de leur bon rendement pour des températures extérieures basses. On distingue trois types de tubes sous vides :

- ✓ Tubes sous vides à flux direct.
- ✓ Tubes sous vides à caloduc.
- ✓ Tubes sous vides type « Sydney ».



Figure(1.18) : capteur sous vide.

b. Capteurs à concentration [5]

Ce sont des capteurs qui concentrent le rayonnement solaire sur un tuyau où circule le fluide caloporteur. Une orientation permanente est nécessaire pour obtenir un bon rendement, ce type de capteur est destiné à produire de hautes températures (arrivant jusqu'à 4000°C).

- **Types de concentrateurs**

Selon la géométrie on distingue trois formes de concentrateurs ;

b-1) Concentrateurs sphérique ;

b-2) Concentrateurs parabolique ;

b-3) concentrateurs cylindro-parabolique.

1.3.2.1.2 Capteurs à air

Comme leur nom l'indique produisant de l'air chaud, ces capteurs sont indiqués dans certaines installations de ventilation, d'aération douce, de chauffage des locaux et dans le cas du chauffage à air : on peut directement faire passer l'air à réchauffer à travers le capteur. Une application particulière de ces capteurs est le séchage du foin, ils sont légers et n'ont pas de problème de refroidissement ni d'ébullition c'est l'avantage par rapport aux capteurs à liquide.

1.3.2.2 Éléments de construction d'un capteur plan**1. Le boîtier**

Le boîtier constitue 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 contreplaqué ; les métaux les plus utilisés sont l'acier galvanisé ou galvanisé pré laqué et les alliages d'aluminium.

On rencontre deux structures de boîtier :

- ✓ **Le boîtier simple**

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

- ✓ **Le boîtier double**

Possède une structure en caisson qui lui confère une plus grande rigidité et permet une meilleure intégration de l'isolation. [8]

2. 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 polyméthacrylates 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 sorte que la totalité du rayonnement atteint la surface de l'absorbeur.

Le tableau (1.4) présente quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge pouvant servir à réaliser l'effet de serre (Voir annexe-2) [8]

3. L'absorbeur

C'est dans l'absorbeur, organe central du capteur que l'eau du circuit de stockage vient prélever la chaleur du soleil, les fonctions de cette partie de capteur sont à la fois thermiques et hydrauliques, on distingue deux catégories d'absorbeurs :

➤ Absorbeur a film d'eau

Où le liquide caloporteur vient en contact de la majeure partie de la surface absorbante.

➤ Absorbeur a tubes

Où le liquide circule dans les tuyauteries vers lesquelles la chaleur solaire est drainée par un système d'ailettes conductrices de la chaleur.

L'utilisation de tubes permet une meilleure résistance à la pression.

L'absorbeur doit être fait d'un matériau ayant une bonne conductibilité thermique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0,2 mm d'épaisseur avec des variantes de 0,15 → 0,3mm.

Dans ces deux types d'absorbeurs, on rencontre une grande variété de matériaux tels que l'acier galvanisé, l'acier noir et l'inoxydable, le cuivre et même les matières plastiques telles que le polyéthylène teinté en noir dans la masse.

Le tableau (1.5) présente les caractéristiques radiatives de quelques surfaces absorbantes (voir annexe 1)

4. L'isolation thermique

Pour constituer l'isolation arrière et latérale on utilise plusieurs sortes d'isolants dans l'ordre de leur fréquence d'utilisation, on trouve :

- ✓ La mousse de polyuréthane.
 - ✓ Les fibres minérales ou laine de verre ou de roche.
 - ✓ Polystyrène.
 - ✓ Résine de mélamine.
- ❖ La mousse de polyuréthane est utilisée en panneaux, par injection, en particulier dans les boîtiers doubles, auxquels elle confère une bonne rigidité, sa tenue en température est correcte.
 - ❖ Les fibres minérales ou laine de roche ou de verre sont beaucoup moins sensibles à la température par contre leur sensibilité à l'humidité est très marquée et se manifeste par la perte de leur pouvoir isolant si le matelas vient à être mouillé par infiltration ou condensation.

On rencontre aussi des isolations à deux matériaux par exemple laine de verre et polyuréthane ou même laine de verre et polystyrène

Le matériau synthétique est placé en fond de boîtier étant alors protégé par la laine de verre, résiste beaucoup mieux que s'il est en contact direct avec l'absorbeur.

5. Fluide caloporteur

Ces fluides ont pour rôle de véhiculer la chaleur entre l'absorbeur et l'utilisation ou le stockage.

On utilise principalement quatre sortes de fluide

- a- **L'eau** : soit naturelle ou additionné d'antigel.
- b- **Les gilothermes** : sont des biomides organiques a base polyphémiles hydrogénés ou d'hydrocarbure linéaires, dont il existe une dizaine de variété. trois d'entre eux semble particulier adaptés au cas de l'énergie solaire :

HVS13 pour $-25\text{C}^0 < T < 180\text{C}^0$

ADX10 pour $50\text{C}^0 < T < 260\text{C}^0$

TH pour $0\text{C}^0 < T < 340\text{C}^0$

- c- **L'air** :

- d- **Huiles silicones** : leur prix actuel ne permet pratiquement pas de les utiliser, mais elles présentent deux avantages importants :

✚ Non toxiques.

✚ Non inflammables

Dans notre cas le fluide caloporteur c'est l'eau naturelle (eau de forage).

1.3.2.3 Orientation et inclinaison d'un capteur plan

- **Orientation**

A cause de répartition intégrale de l'ensoleillement pendant toute la journée, il est nécessaire d'orienter le capteur de telle façon que l'énergie recueilli soit maximale, généralement on oriente les capteurs en plein sud (Pour l'hémisphère nord)

- **L'inclinaison**

Le problème de l'inclinaison est le plus délicat et nécessite une étude chiffrée, mais nous constatons néanmoins que la position verticale du capteur favorise la période hivernal, alors que la position horizontale conduit à des meilleurs rendements pendant l'été, la solution idéale serait d'incliner différemment les capteurs suivant la période de l'année. Comme les capteurs seront nécessairement fixes on les inclinera sur l'horizontale d'un angle égale à latitude du lieu. [9]

1.3.2.4 Raccordement des capteurs [10]

- **Raccordement des capteurs en série**

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

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

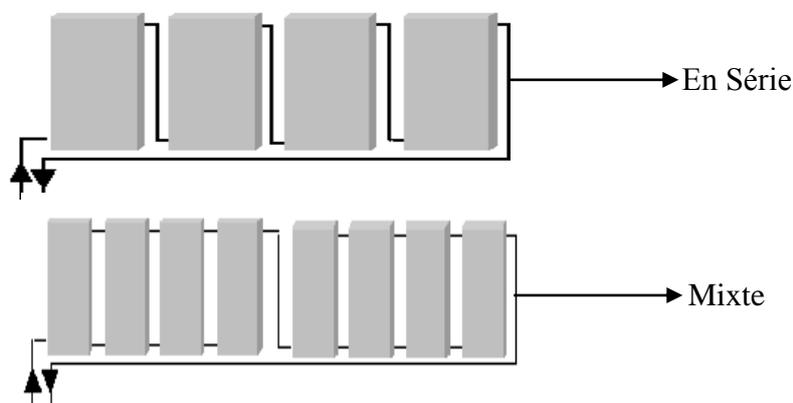
- **Raccordement des capteurs en parallèle**

Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs. Voir figure (I.17)

- **Raccordement mixte**

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

- ✓ Le raccordement série parallèle.
- ✓ Le raccordement parallèle série.



Figure(1.19) : Disposition des Capteurs [10].

1.3.2.5 Implantation des capteurs [11]

Indépendamment des considérations sur l'orientation du capteur azimut et angle d'inclinaison, les éléments architecturaux et visuels jouent un rôle important dans le positionnement d'un champ de capteurs.

➤ Types d'implantation du capteur solaire [11]

Quel que soit le type d'implantation, on doit porter une attention particulière aux matériaux utilisés, ainsi qu'à la mise en œuvre. Comme les composants sont exposés aux intempéries pendant une très longue période (20 à 30 ans environ) ils doivent résister :

- ✓ À la variation de température dans les limites prévues.
- ✓ A la pluie, la grêle et la neige.
- ✓ Au rayonnement U.V.
- ✓ Aux matières polluantes et corrosives (telles que le sel dans la région côtière).

Dans la pratique on trouve plusieurs types d'implantation.

- ❖ Montage au sol.
- ❖ Montage sur toiture inclinée
 - Posés sur toiture.
 - Intégration à une toiture inclinée.
- ❖ Montage en toiture-terrasse.



Figure(1.20) : Montage au sol. [11]



Figure(1.21) : Montage sur toiture. [11]

1.4 La cuve de stockage

La cuve de stockage est un élément essentiel dans l'installation de chauffage d'eau solaire.

Comme son nom l'indique, elle permet de stocker l'eau chaude venant des capteurs pour la restituer au moment des besoins d'utilisation, elle peut contenir ou non un échangeur de chaleur.

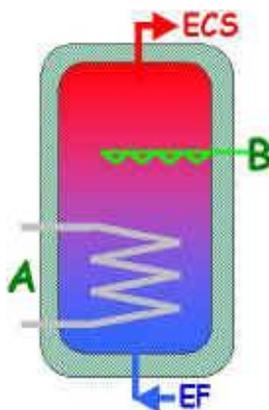
Aussi pour éviter les pertes thermiques vers le milieu extérieur, la cuve de stockage doit être bien isolée en choisissant une épaisseur de l'isolant thermique et économique adéquate.

Le stockage est caractérisé par :

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

Suivant la capacité de stockage on distingue deux types :

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



Figure(1.22) : La cuve de stockage avec échangeur.

1.5 La 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 ;

- Une Soupape de sécurité.
- Un vase d'expansion.
- Un Purgeur.
- Un clapet de non-retour.
- Une isolation.

1.6 L'échangeur

Un 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 la cuve de stockage mais il peut aussi être à l'extérieur.

Départ sa fonction de transfert thermique, l'échangeur doit offrir une surface de contact la plus grande possible entre fluides, c'est pourquoi la plus part 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 serpentín ; dans notre installation l'échangeur utilisé est de type serpentín. La figure (1.22) montre les deux types des échangeurs.



Echangeur à plaque



Echangeur intégré

Figure(1.23) : Les types d'échangeur

1.7 L'appoint

Une installation de chauffage d'eau solaire est toujours accompagnée d'un chauffage d'appoint lorsque la température désirée de l'eau dans la partie supérieure du ballon de stockage n'est pas atteinte, un dispositif d'appoint pour fournir de l'eau chaude supplémentaire doit être prévu.

Ce chauffage ne peut se faire que dans une autre cuve qu'on appelle cuve d'appoint[12]. Ainsi, en tout temps, l'appoint permet de garantir une eau à la température voulue, quel que soit l'ensoleillement et la quantité d'eau chaude consommée.

La source d'énergie d'appoint peut être le gaz, l'électricité, le fuel, selon le besoin et la disponibilité. [12]

1.8 Conclusion

Les installations solaires peuvent être utilisées dans tous les climats pour produire de l'eau chaude, mais leurs performances annuelles sont proportionnelles à l'ensoleillement du lieu où sont installés les capteurs solaires.

Le choix entre les types de capteurs solaires est déterminé par le type d'application recherchée, la fiabilité, le prix et les températures souhaitées.

Pour la production d'eau chaude sanitaire on choisit généralement les capteurs plans avec vitrage.

**Chapitre II Régulation de
l'installation de production l'eau
chaude**

2.1 Introduction

La recherche du confort, de la maîtrise de la température et donc les économies d'énergies possibles conduit à se doter de systèmes de régulation. En effet dans les installations de production d'eau chaude solaires deux éléments nécessitent un système de régulation qui sont les pompes et l'appoint électrique.

2.2 Régulation des pompes [13]

2.2.1 Régulation de la pompe P1

Le rôle de la pompe de circulation est de permettre un transfert plus rapide des calories captées par l'absorbeur vers le réservoir de stockage.

C'est le rôle de la régulation de comparer les deux températures (à la sortie du capteur solaire et dans le réservoir de stockage) et de commander la pompe de circulation uniquement lorsque la première température est supérieure à la deuxième. En pratique, on fixe indépendamment la différence de température à l'enclenchement (entre 5 et 10°C) et au déclenchement du circulateur (entre 2 et 5°C). Un régulateur différentiel suffit pour ces opérations.

2.2.1.1 Régulation différentielle

Le rôle du dispositif de régulation est de commander le transfert de l'énergie captée, seulement si la température du fluide caloporteur dans les capteurs est supérieure à celle de l'eau contenue dans le ballon de stockage.

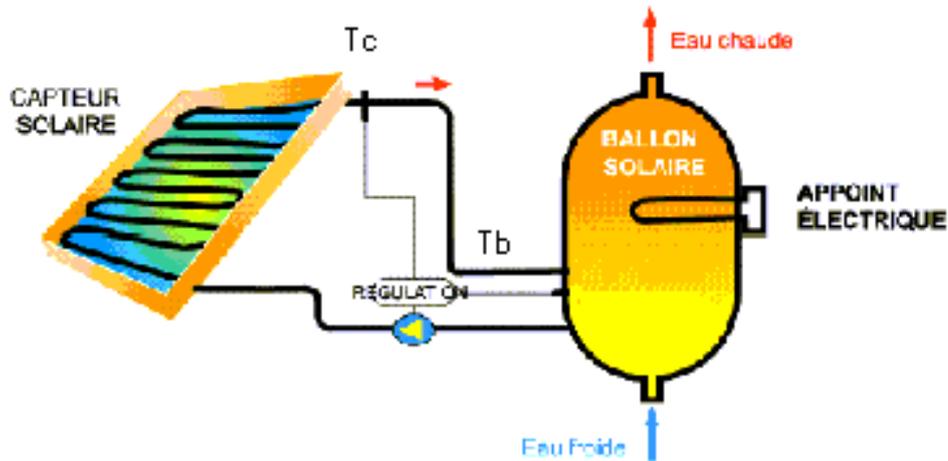


Figure (2.1) : Schéma simplifié d'une régulation différentielle de P1 [13]

Le principe de la commande du circulateur dépend de deux valeurs ajustables du différentiel :

- ✓ $\Delta T1$ = valeur ajustable du différentiel d'enclenchement du circulateur.
- ✓ $\Delta T2$ = valeur ajustable du différentiel d'arrêt du circulateur.

Avec : $\Delta T2 < \Delta T1$

La pompe est enclenchée lorsque $Tc > Tb + \Delta T1$.

Et La circulation du fluide caloporteur s'établit dans les capteurs.

Par contre lorsque $Tc < Tb + \Delta T2$ la pompe s'arrête et la circulation du fluide caloporteur est arrêtée.

Pour assurer de bonnes conditions de fonctionnement des installations, on retient en général les valeurs suivantes :

- ✓ $\Delta T1$: Compris entre 5 K et 10 K.
- ✓ $\Delta T2$: Compris entre 2 K et 5 K.

Les différentiels pourront être d'autant plus petits que le circuit primaire sera court et bien isolé. Voir l'organigramme suivant :

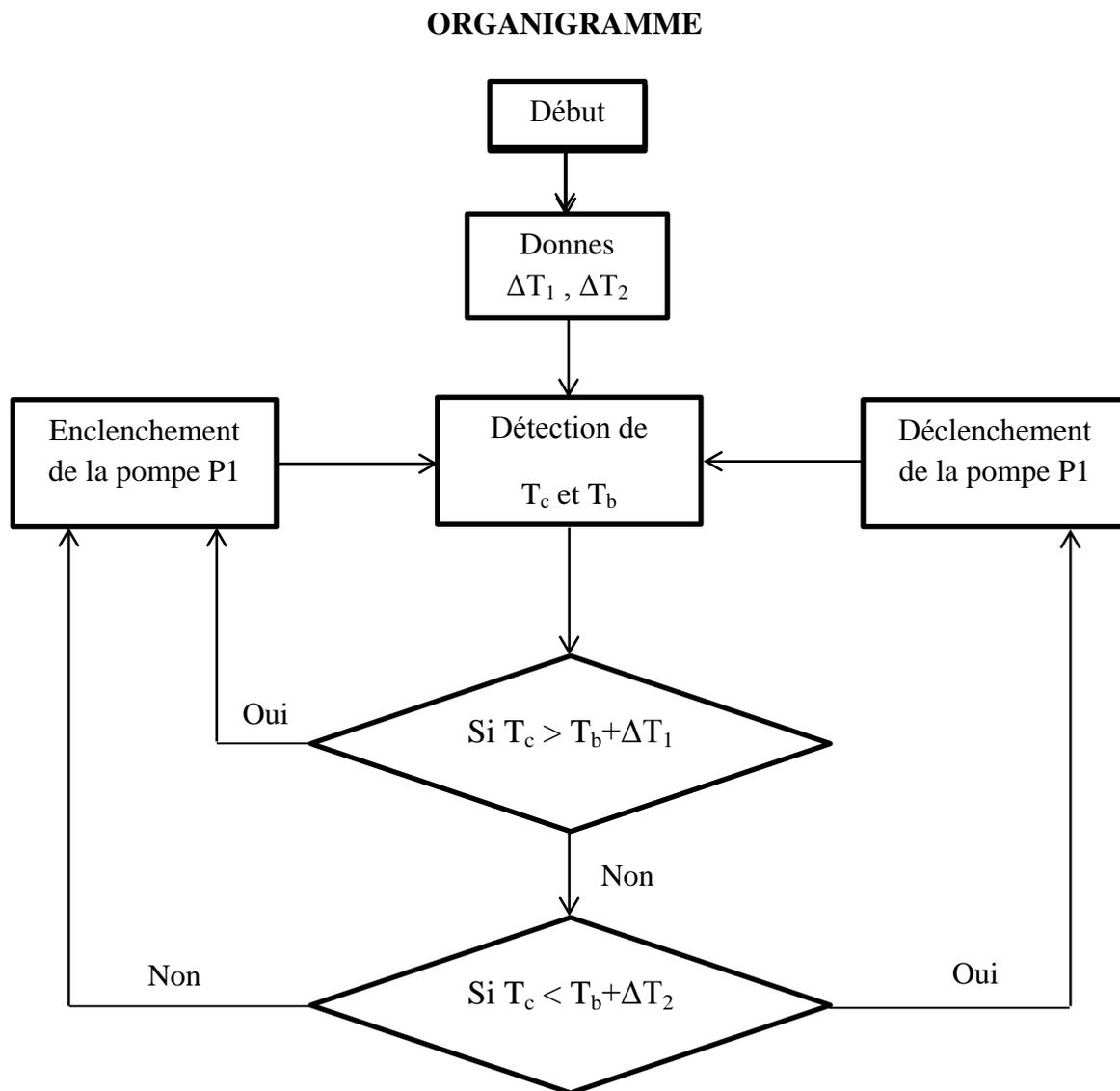


Figure (2.2) : Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle de la pompe P1 [13].

2.2.1.2 Régulation différentielle avec vanne de commutation

Quand la surface de captation est importante et lorsque l'inertie de la boucle primaire est plus importante (longueur des tuyauteries supérieure à 50m) la régulation du circuit primaire est complétée par l'action du régulateur sur une vanne de commutation.

Lorsque la température T_c à la sortie des capteurs devient supérieure à la valeur $T_b + \Delta T_1$ de l'eau dans le ballon de stockage, le régulateur commande la mise en marche du circulateur P1.

La vanne V1 est ouverte en position de recyclage du fluide caloporteur sur les capteurs (stabilisation de la température du circuit primaire).

Si la température T_1 devient supérieure à la température T_b de l'eau dans le ballon de stockage $T_1 > T_b + \Delta T_1$, le régulateur commande l'ouverture de la vanne V1 de commutation vers le stockage, et il y'a échange de chaleur dans le ballon.

Si $T_1 < T_b + \Delta T_2$, la vanne V1 de commutation ferme le circuit de stockage. Le fluide caloporteur est recyclé dans la boucle des capteurs.

Enfin si $T_c < T_b$, le régulateur commande l'arrêt du circulateur P1.

La régulation est basée sur le principe du « tout ou rien » de la vanne V1 de commutation cela permet de réduire le risque de pompage du circulateur (mise en service et arrêt du circulateur intempestifs). De plus, les performances thermiques de l'installation s'en trouvent améliorées du fait d'une mise en température plus rapide de la boucle primaire, le matin.

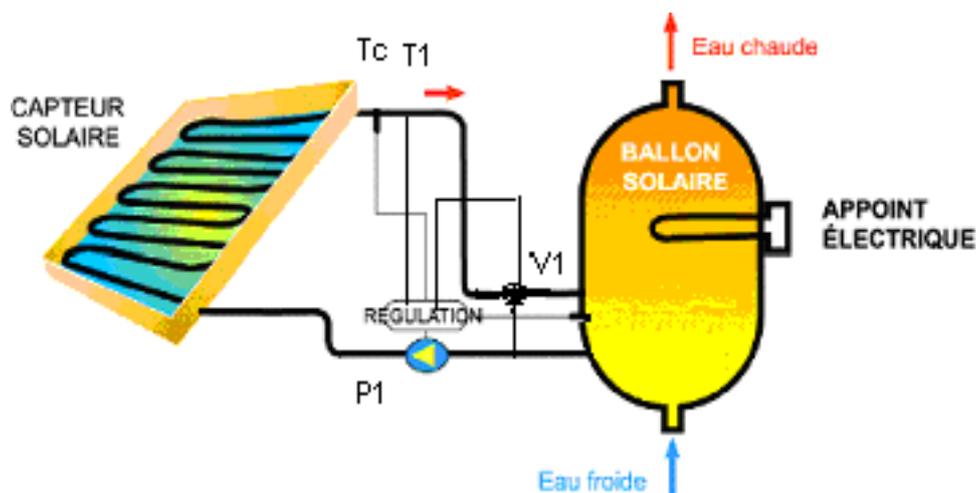


Figure (2.3) : Schéma d'une régulation différentielle avec vanne de commutation de P1 [13].

ORGANIGRAMME

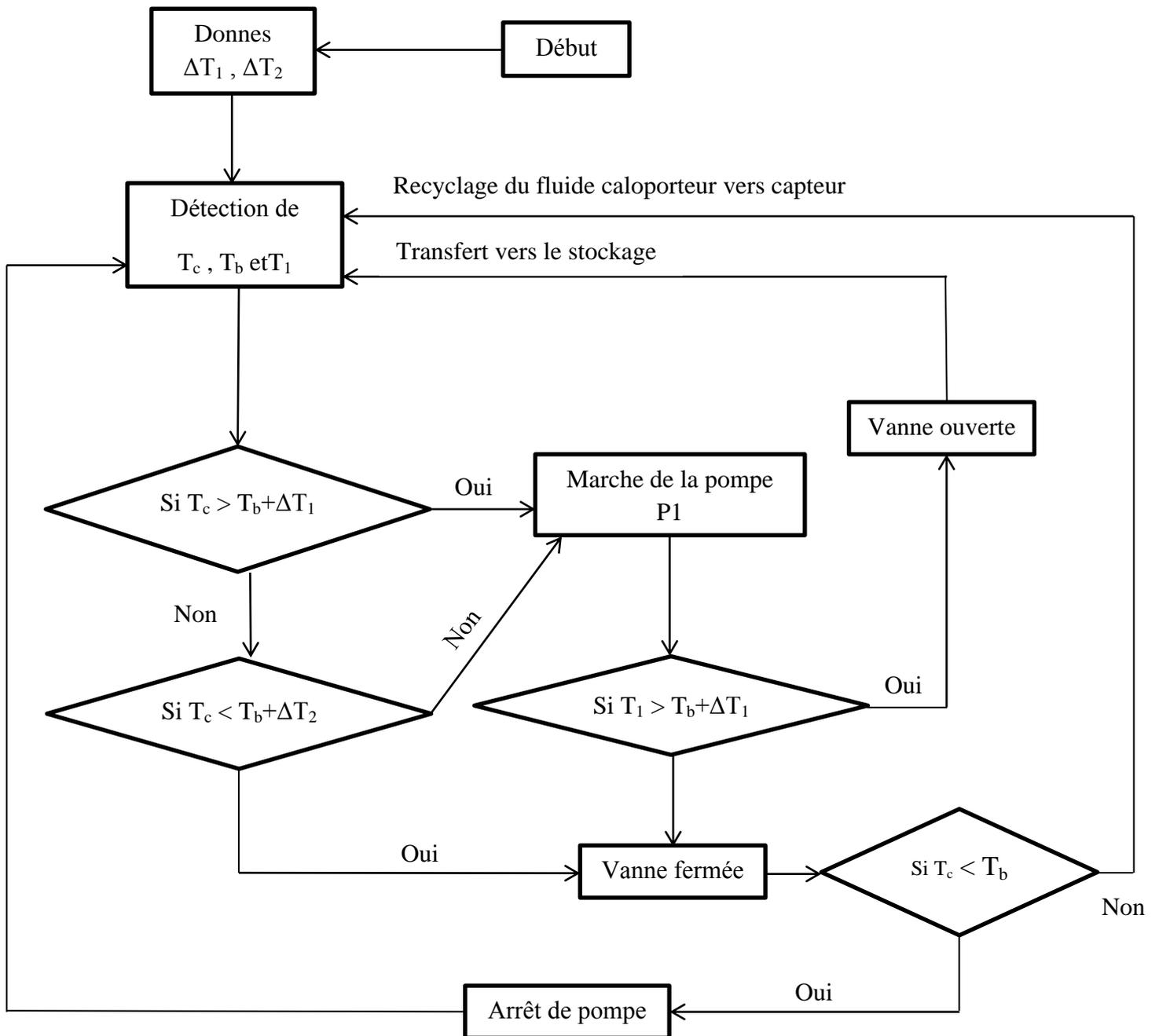


Figure (2.4) : Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle avec vanne de commutation [13].

2.2.2 Régulation de la pompe P2

Le rôle de la pompe de circulation est de permettre un transfert d'énergie plus rapide dans l'échangeur de bassin.

Le principe de la commande du circulateur dépend de la valeur ajustable du différentiel :

- ✓ ΔT = valeur ajustable du différentiel.
- ✓ T valeur fixe.

La pompe est enclenchée lorsque $T_e < T + \Delta T$.

Par contre lorsque $T_e > T + \Delta T$ la pompe s'arrête et la circulation du fluide caloporteur est arrêtée.

La valeur de T_e est captée par le capteur au niveau du bassin et transmise au régulateur

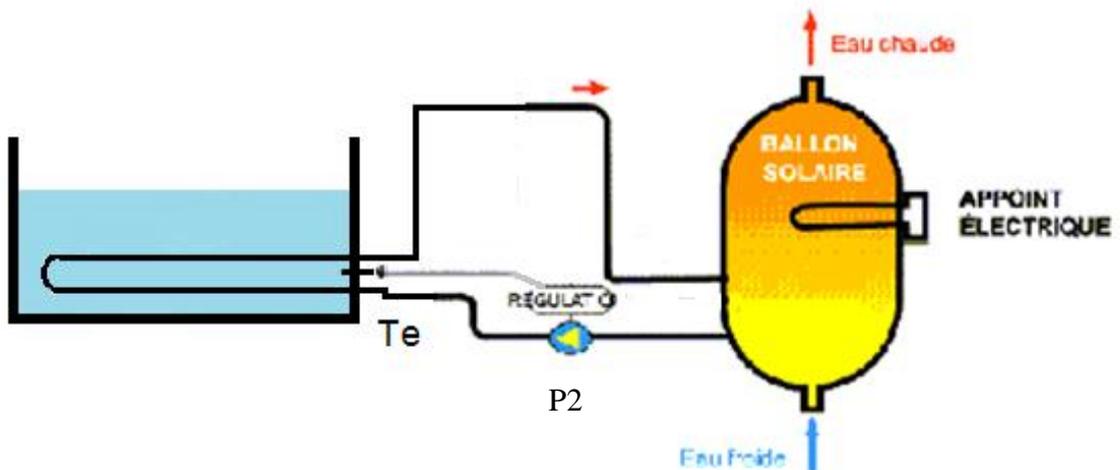


Figure (2.5) : Schéma simplifié d'une régulation différentielle de P2.

ORGANIGRAMME

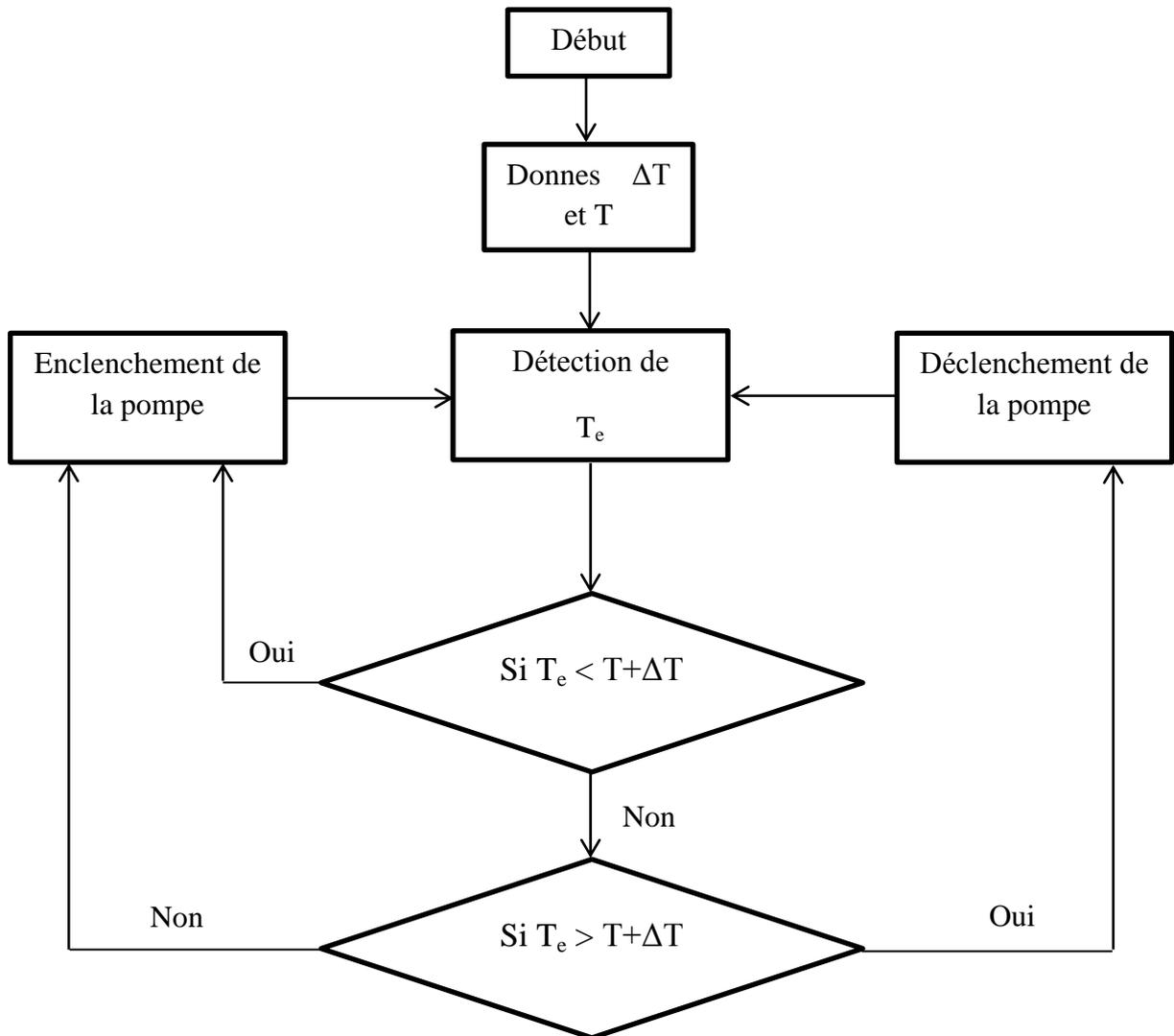


Figure (2.6) : Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle de la pompe [13].

2.3 Régulation de l'appoint [14]

Il arrive fréquemment que le soleil soit absent ou ne puisse fournir qu'une partie de la chaleur représentée par le besoin d'eau chaude. Il y'a donc lieu de faire appel à une énergie d'appoint pour compléter l'apport solaire jusqu'à une température suffisante, parmi les énergies d'appoint les plus utilisés on cite l'énergie électrique.

Un système de régulation de température est nécessaire afin de profiter de l'énergie solaire qui est gratuite au maximum, a cet effet nous avons choisi deux types de régulation :

- ❖ Un système de régulation qui s'adapte à tous les systèmes de chauffages. Ce dispositif fonctionne avec le mode tout ou rien c'est à dire en enclenchant ou en déclenchant l'appoint électrique.
- ❖ Un système de régulation qui utilise la logique floue.

Nous avons choisis le modèle tout ou rien :

La figure II.4 montre l'emplacement du régulateur de température et l'appoint électrique dans la cuve de stockage du chauffe-eau solaire dans deux cas :

- + Le ballon de stockage et le ballon solaire sont confondus.
- + Le ballon de stockage et le ballon solaire sont séparés.

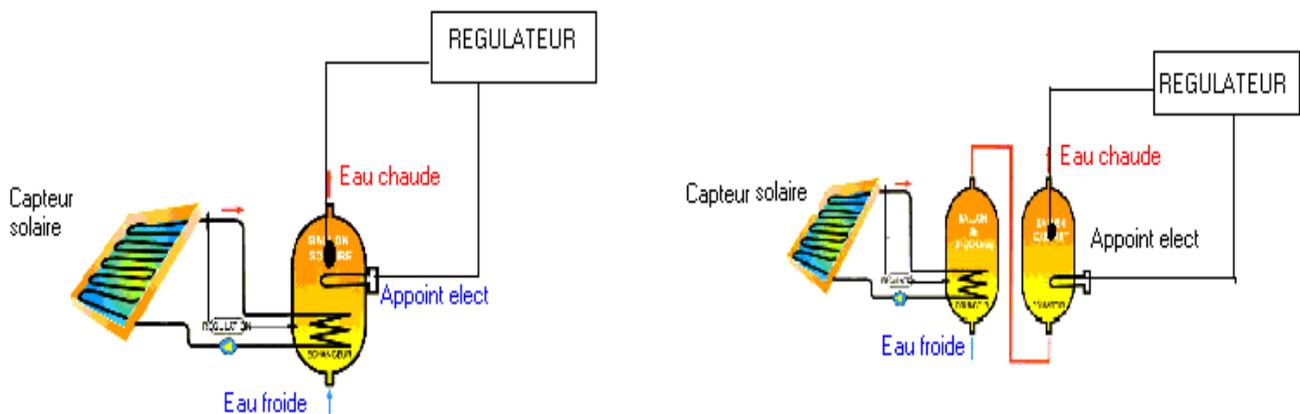


Figure (2.7) : L'emplacement de l'appoint électrique et régulateur quand les ballons sont confondus et séparés respectivement [14].

Le régulateur comporte :

- ✓ Un capteur de température

- ✓ Un dispositif qui permet de traduire les variations de la sonde en un signal électrique afin d'obtenir une information analogique directement exploitable.

- ✓ Un comparateur de tension qui permet de comparer la tension de sortie de dispositif à une tension de référence prédéterminée qui représente la température de consigne (50°C dans notre cas).

- ✓ Comparateur à deux seuils, pour introduire la notion d'hystérésis ou retard de basculement.

- ✓ Un dispositif de commande : la sortie du comparateur commande via une interface de puissance un relais électromécanique qui permet l'enclenchement ou le déclenchement de l'appoint électrique.

- ✓ Partie alimentation : l'énergie nécessaire au fonctionnement du circuit est prélevée du réseau.

Le fonctionnement de ce système est tracé dans un graphe sur lequel on distingue trois phases :

- ❖ La première phase concerne le début de la journée ou les apports solaires sont insuffisants pour réchauffer l'eau à une température qui satisfait le besoin réel en eau chaude donc la résistance est enclenchée.

- ❖ La deuxième phase commence au moment où la température de l'eau dans la cuve de stockage croissant avec les apports solaires, le régulateur intervient pour déclencher la résistance électrique, en respectant la température de consigne qui est de 50°C dans notre cas.

- ❖ La dernière partie de la journée, la température de l'eau diminue avec la fin de l'ensoleillement et le régulateur intervient pour enclencher la résistance électrique (thermoplongeur).

Chapitre III :
BILAN THERMIQUE

Les besoins modernes des collectivités (résidences, hôtels, hôpitaux..) conduisent à utiliser l'eau chaude en quantité toujours croissante, non seulement pour les usages sanitaires mais aussi pour des travaux et des tâches domestiques.

3.1 Détermination des caractéristiques de transfert de chaleur [15]

Le transfert de chaleur entre le fluide chaud à la température T_{mi} dans l'élément conduit considéré et l'eau continue dans le bassin à la température T_e s'effectue :

- Par convection forcée à l'intérieur du serpentin.
- Par conduction à travers le métal éventuellement présent sur les parois interne et externe.
- Par convection naturelle à l'extérieur du serpentin.

Le coefficient d'échange global est donné par la formule suivante :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_0 + \frac{1}{h_e} \quad (3.1)$$

Pour déterminer la valeur de U , il faut calculer successivement h_i , R_0 , h_e .

3.1.1 Calcul de h_i

Si on se réfère à l'étude du Pr. Zaheer-Uddin, avec le système muni d'une chaudière, l'écoulement du fluide est toujours turbulent dans une chaudière avec un Reynolds $Re \geq 4000$ et une vitesse d'écoulement $V_{max} = 0.26$ m/s. Donc le coefficient de transfert de chaleur h_i est calculé à partir des nombres adimensionnels avec une vitesse d'écoulement de $V_{max} = 0.26$ m/s [16].

Le nombre de Reynold et Nusselt sont données par les relations suivantes :

$$Re = \frac{\rho_i V \phi_i}{\mu_i} \quad (3.2)$$

$$Nu = \frac{h_i \phi_i}{K_i} \quad (3.4)$$

$$Nu = 0.023. (Re)^{0.8}. (Pr)^{0.33} \quad (3.5)$$

(ρ_i, μ_i, K_i) étant à la température T_i ($T_i = \frac{T_{mi} + T_{me}}{2}$) du fluide chaud dans l'élément du serpentin considéré.

D'où le calcul de h_i .

3.1.2 Conduction à travers le métal

La résistance R_0 du métal donnée par la formule :

$$R_0 = \frac{r_i}{K_m} \ln \frac{\varnothing_e}{\varnothing_i} \quad (3.6)$$

D'où le calcul de R_0 .

3.1.3 Calcul de h_e

Convection naturelle à l'extérieur.

Le nombre de Nusselt est donné par les relations suivantes :

$$Nu = \frac{h_e \varnothing_e}{k_e} \quad (3.7)$$

$$Nu = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0,559/Pr_e)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (3.8)$$

Avec $Ra_D = \frac{g\beta(T_{se}-T_e)}{\nu\alpha}$ (3.9)

Et :

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

D'où le calcul de h_e .

3.2 Calcul de quantité de chaleur à transmettre du liquide chaud au liquide froid [15]

Cette quantité est donnée par la formule suivante :

$$Q = U A_e \Delta TLM \quad (3.10)$$

Où la formule de ΔTLM est donnée comme suit:

$$\Delta TLM = (\Delta T_o - \Delta T_i) / \ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} \quad (3.11)$$

Et :

$$A_e = \pi D_e L \quad (3.12)$$

3.3 Calcule des Pertes thermique de l'eau de bassin [17]

Les calculs des pertes thermiques dans notre bassin se faire pendant la nuit, donc on a seulement pris en compte les pertes par conduction et par convection.

$$Q = Q_{cdp} + Q_{cvs}$$

3.3.1 Pertes par conduction

L'eau se refroidit par conduction à travers les parois de la piscine.

$$h_{cd} = \frac{\lambda_p}{e_p} \quad (3.13)$$

$$Q_{cdp} = h_{cd}(T_i - T_o)S_p \quad (3.14)$$

3.3.2 Pertes par convection

Elles se produisent avec l'air ambiant à T_a On a:

$$Q_{cvs} = h_{cv}(T_e - T_a)S_e \quad (3.15)$$

Si un souffle sur la surface de la piscine un refroidissement se produira. Une approximation permettant d'en avoir une idée lors d'un avant-projet est de considérer la formule simple suivant qui donne le coefficient de convection forcée h_{cv} [5]:

$$h_{cv} = 5.7 + 3.8 w \quad (3.16)$$

Où w est la composante du vent parallèle au capteur (en m/s).

Chapitre IV :
DIMENSIONNEMENT DE
L'INSTALLATION DE
PRODUCTION D'EAU CHAUDE
SOLAIRE

4.1 Introduction

Le point de départ pour le dimensionnement d'une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire est le besoin en eau chaude solaire (ECS). Il est donc primordial d'estimer correctement ces besoins.

Autres facteurs tels que la situation géographique, la surface disponible pour l'installation solaire ; l'orientation et l'inclinaison des capteurs,...etc. joueront également un rôle important.

4.2 Les données de base de site

4.2.1 Paramètres géographiques

Le bassin « Pescado de la Duna » est situé à 800 km au sud d'Alger, exactement dans la commune de Hassi ben Abdallah à 25 km de Ouargla avec les Paramètres géographiques suivants [18] :

- ✓ Latitude : 31°7' Nord.
- ✓ Longitude : 5°4' Est.
- ✓ Altitude : 141 m.



Figure (4.1) : Façade de la firme

4.2.2 Paramètres climatiques

Les paramètres climatiques de la firme sont résumés dans le tableau (3.1):

Tableau 4.1 : Données climatologiques mensuelles de la ville d'Ouargla de 2006 à 2008 [18].

Paramètres	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
T_{\max} [°c]	17,8	20,3	24,7	27,5	34,4	40,9	44,9	43,0	36,1	30,8	25,5	22,9
T_{\min} [°c]	06,0	07,2	10,1	12,0	18,5	25,4	28,7	27,2	22,0	15,7	09,4	07,7
Evap	081	115	152	173	153	333	417	384	222	167	110	111
Insol	196	254	267	321	338	271	337	344	257	312	275	255
V [m/s]	4,1	3,0	3,6	2,7	2,6	3,8	2,2	3,1	3,7	2,4	2,1	1,4

4.3 Présentation de système

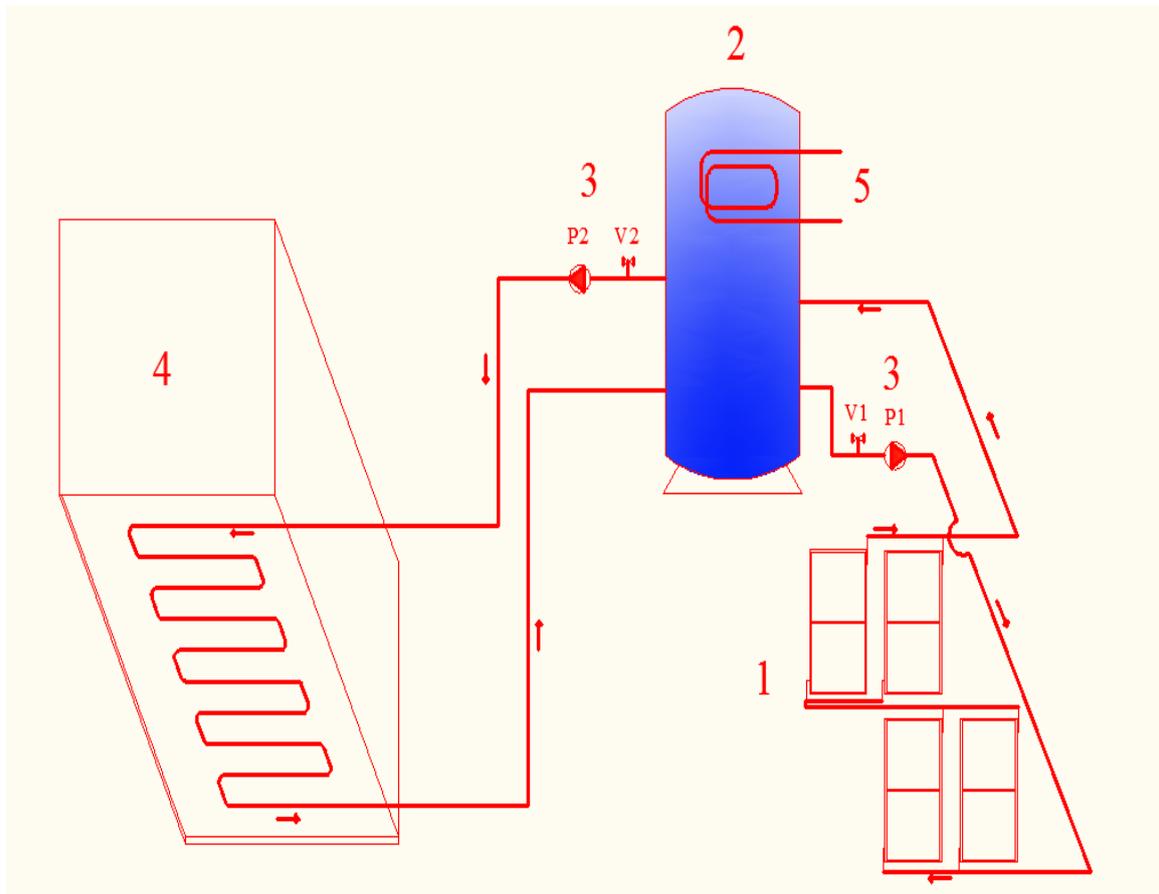


Figure (4.2) : Schéma de système.

1. Champs des capteurs.
2. Réservoir calorifuge de stockage.
3. Les pompes et les vannes.
4. Le bassin.
5. Appoint électrique.

4.4 Dimensionnement des composants principaux

Un bon dimensionnement doit produire un maximum d'énergie d'origine solaire située entre 50 et 80% des besoins d'eau chaude sanitaire, entraînant une économie financière, et évitant le rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Nous avons pris notre dimensionnement pendant une journée ou on a une charge maximale.

On choisit une journée de janvier au la température minimum $T_a=6^\circ\text{C}$ (pendant la nuit) et la température de l'eau froide $T_e=27,99^\circ\text{C}$.

4.4.1 Dimensionnement des capteurs solaires

- **La surface des capteurs A_C**

C'est la variable essentielle car elle conditionne le coût et la production utile de l'installation.

Le dimensionnement de A_C est fait sur la base du volume d'eau chaude consommé quotidiennement V_j . on définit A_0 de façon à avoir un ratio V_j/A_0 égale à 60litre/m². [19]

Exemple : pour une consommation de 270litre /jour

Définir la plage de variation autorise ($A_0\pm 50\%$)

$$\frac{V_j}{A_0} = 60 \Rightarrow A_0 = \frac{V_j}{60} = \frac{270}{60} = 4,5\text{m}^2$$

$$\Rightarrow A_0 = 4,5\text{m}^2$$

- **Choix de l'inclinaison**

Il dépend essentiellement de deux paramètres : la latitude et la saisonnalité des besoins. Notre cas à Ouargla l'inclinaison des capteurs solaire pour une utilisation annuelle est égale à 41°.

4.4.2 Dimensionnement du stock

Le volume des ballons de stockage est déterminé en fonction de la consommation journalière :

$$V_{s0} = \max(V_{jA}, V_{j\acute{e}t\acute{e}}) \quad (4.1)$$

On veillera à tenir compte, prioritairement de la consommation d'été, car le stockage à entre autre fonction, de limiter les surplus temporaires de production qui sont plus probable en été.

La plage autorisée est définie de manière similaire à la plage autorisée pour le dimensionnement de la surface de capteur : [19]

$$[V_{sMin}, V_{sMax}] = [V_{s0} - 50\%, V_{s0} + 50\%] \quad (4.2)$$

4.4.3 Dimensionnement de l'appoint électrique

Le dimensionnement de l'appoint vise à assurer :

- Le service en eau chaude en toutes circonstances.

La puissance de la résistance électrique doit être comprise entre 10 et 15w/litre du volume d'appoint (V_{ap}) chauffé par l'électricité, la valeur nominale étant de 12w/litre. Le volume d'appoint 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 [12].

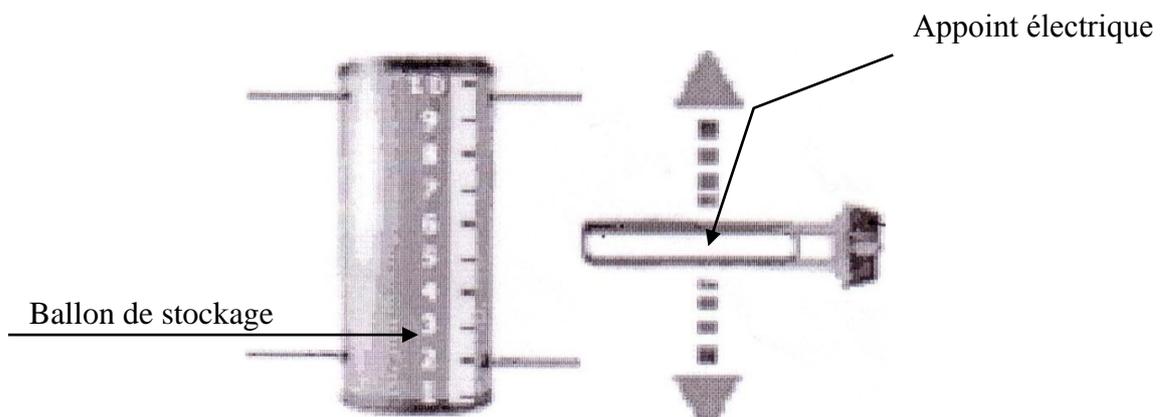


Figure (4.3) : Exemple de position de l'appoint électrique dans le ballon [12].

4.4.4 Dimensionnement de l'échangeur

La dimension de l'échangeur sera déterminée par sa surface de contact avec l'eau à chauffer, elle dépend de :

- ✓ Du volume d'eau à chauffer c'est-à-dire du volume du bassin.

- ✓ De la surface du capteur.
- ✓ De la différence entre la température moyenne de l'eau dans l'échangeur et celle de l'eau dans le bassin au niveau de l'échangeur.

Les derniers paramètres sont variables dans le temps donc on peut dire :

- Si l'échangeur est trop petit, l'eau chaude venant du capteur circulera peu de temps dans l'échangeur et cédera peu de calories dans le réservoir, elle reviendra encore chaude vers le capteur et celui-ci travaillera avec un mauvais rendement.
- Si l'échangeur est trop grand, elle finira par ne céder presque plus de chaleur à la fin, et cette dernière partie de l'échangeur sera inutile, c'est l'échangeur qui travaillera avec un mauvais rendement.

Donc la dimension de cet échangeur est très importante.

Dans ce cas on fait le calcul avec les paramètres suivants :

- ❖ $T_{mi} = 60^{\circ}\text{C}$.
- ❖ $T_{me} = 30^{\circ}\text{C}$.
- ❖ $T_i = 45^{\circ}\text{C}$.
- ❖ On suppose que la température de la surface extérieure de l'échangeur égale à la température de l'eau de bassin : $T_{se} = T_e$.
- ❖ On suppose que : $T_0 = T_a$ et $T_i = T_0$.
- ❖ On suppose que toute l'énergie cède par l'eau chaude de serpentin perdu à l'atmosphère.
- ❖ Le serpentin est un tube de cuivre 14/12
- ❖ Les murs du bassin en béton :
 - ✓ $e_p = 10 \text{ cm}$.
 - ✓ $\lambda_p = 1,75 \text{ W/m.K}$.

Admettant que T_e soit à peu près constante au voisinage de l'échangeur on a alors :

$$h_i = 1797,12 \text{ W/m}^2.\text{K} \quad (\text{Annexe A})$$

$$R_0 = 2,44.10^{-6} \text{ K/W} \quad (\text{Annexe B})$$

$$U = 1789,27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

$$\Delta T_{LM} = 10,84 \text{ K}.$$

La perte thermique de l'eau de bassin à l'atmosphère par convection est:

$$h_{cv} = 21,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}. \quad (\text{Annexe C})$$

$$S_e = 10 \text{ m}^2. \quad (\text{Annexe C})$$

$$Q_{cvs} = 4679,50 \text{ W}.$$

La perte thermique de l'eau de bassin à l'atmosphère par conduction est:

$$h_{cd} = 17,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

$$S_p = 14 \text{ m}^2. \quad (\text{Annexe C})$$

$$Q_{cdp} = 5387,55 \text{ W}.$$

Donc la perte thermique totale est : $Q = 10067,05 \text{ W}$.

On a la quantité de chaleur cède par l'échangeur égale a la quantité de chaleur perdu à l'atmosphère.

$$A_e = 0,52 \text{ m}^2.$$

Et:

$$L = 11,80 \text{ m}.$$

Un capteur de $1,6 \text{ m}^2$ donne un débit de 120 l/h [14].

Notre cas le capteur de 2 m^2 donc le débit est 150 l/h.

4.5 Méthode de calcul des performances thermique des installations de production d'eau chaude solaires

Pour le dimensionnement nous utilisons le Logiciel SOLO qui utilise une méthode de calcul développée par le CSTB, France, La démarche adoptée est la suivante :

- a) On calcul les besoins énergétiques journaliers en moyenne mensuelle :
 - ✓ consommation journalière et température d'eau froide en moyenne mensuelle.
 - ✓ Température de consigne de l'eau chaude supposée constante sur toute l'année.
- b) On calcul le rayonnement globale journalier en moyenne mensuelle sur le plan des capteurs,
 - ✓ Rayonnement global horizontal journalier en moyenne mensuelle.

- ✓ Inclinaison et orientation des capteurs.
- c) On calcul le taux de couverture solaire en moyenne mensuelle par une équation utilisant les résultats (a) et (b)
- ✓ Types de schéma à choisir parmi 5 schémas-types, exemple, schéma d'une installation à circulation forcée avec échangeur.
 - ✓ Capteurs : surface totale S , paramètres B et K .
 - ✓ Stock : volume V , constante de refroidissement CR [8].

4.5.1 Condition d'un bon dimensionnement

Une bonne connaissance des besoins en eau chaude sanitaire est indispensable car un surdimensionnement provoque la diminution du rendement de l'installation.

4.5.2 Dimensionnement de système

- 1) Dans la fenêtre principale du site, nous choisissons le lien « solaire thermique » (Figure 4.4) ;



Figure (4.4) : Choix de type de lien sur site [10].

2) Dans la deuxième nous choisissons le lien « calculs eau chaude » (Figure 4.5) ;



Figure (4.5) : Choix de type de lien sur site [10].

3) Dans la troisième fenêtre du site, nous choisissons le lien « dimensionnement solo » (Figure 4.6) ;

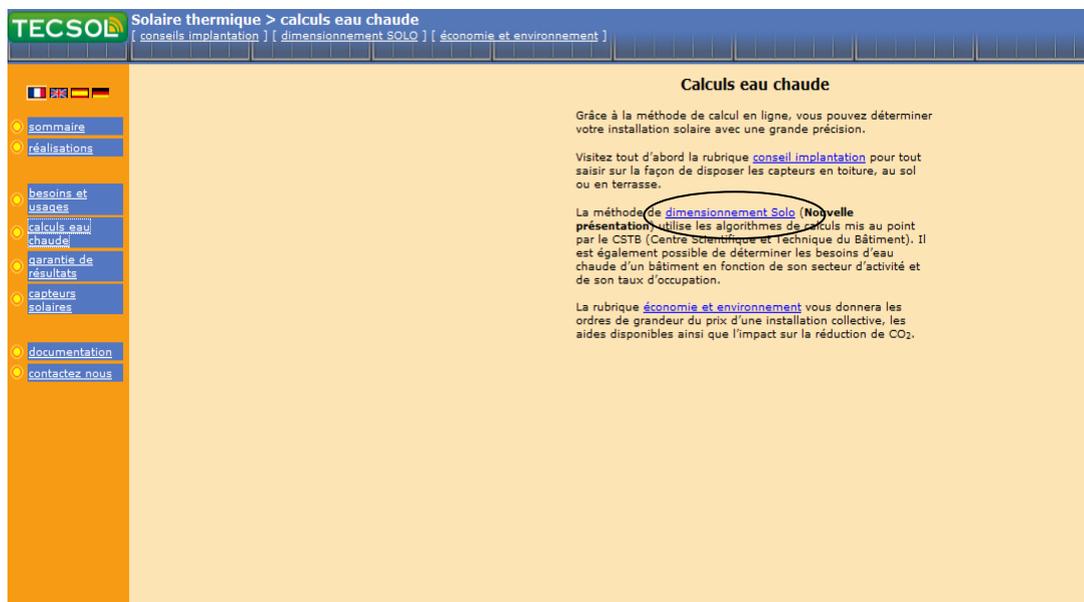


Figure (4.6) : Choix de dimensionnement solo [10].

- 4) Dans la quatrième fenêtre du site, nous choisissons le lieu de station (Figure 4.7).
Notre lieu est Ouargla mais sur la fenêtre n'existe pas nous avant choisissons Biskra parce que même condition climatique (a peut pris la même température minimum dans la journée) et nous avant changer latitude ;

TECSOL Solaire thermique > calculs eau chaude > dimensionnement
SOLO
[conseils implantation] [dimensionnement SOLO] [économie et environnement]

Energie solaire
Le stage de formation incontournable
2 ou 4 jours : [inscrivez-vous !](http://www.tecsol.fr)
www.tecsol.fr

Top 50 Solar

Projet

Choix de la station

Pays	Station
Algérie	Adrar
Allemagne	Alger
Autriche	Biskra
Belgique	Sidi Bel Abes
Benin	
Brésil	
Bulgarie	
Burkina Faso	
Cameroun	
Chypre	

Station sélectionnée : OUargla Latitude : 31°7

Les températures d'eau froide sont calculées suivant la méthode ESM2, les valeurs obtenues sont éloignées des valeurs mesurées sur nos installations télécontrôlées

Appliquer la méthode ESM2 +3.0°C

Figure (4.7) : Choix de site [10].

- 5) Dans la cinquième fenêtre, nous introduisant la consommation moyenne mensuelle (Figure 4.8) ;

TECSOL Solaire thermique > calculs eau chaude > dimensionnement
SOLO
[conseils implantation] [dimensionnement SOLO] [économie et environnement]

Calcul de la consommation annuelle
 Vous connaissez la consommation annuelle

Consommation annuelle L/jour
 Consommation moyenne mensuelle :

Janvier	<input type="text" value="10000"/> L/jour	Juillet	<input type="text" value="5000"/> L/jour
Fevrier	<input type="text" value="10000"/> L/jour	Aout	<input type="text" value="5000"/> L/jour
Mars	<input type="text" value="10000"/> L/jour	Septembre	<input type="text" value="10000"/> L/jour
Avril	<input type="text" value="10000"/> L/jour	Octobre	<input type="text" value="10000"/> L/jour
Mai	<input type="text" value="10000"/> L/jour	Novembre	<input type="text" value="10000"/> L/jour
Juin	<input type="text" value="5000"/> L/jour	Decembre	<input type="text" value="10000"/> L/jour

Figure (4.8) : La consommation moyenne mensuelle [10].

6) Dans la seizième fenêtre, nous introduisant les paramètres de stockage (Figure 4.9) ;

The screenshot shows the 'Stockage' window in the TECSOL software. The window title is 'Solaire thermique > calculs eau chaude > dimensionnement SOLO'. The left sidebar contains navigation links: 'sommaire', 'réalisations', 'besoins et usages', 'calculs eau chaude', 'garantie de résultats', 'capteurs solaires', 'documentation', and 'contactez nous'. The main content area is titled 'Stockage' and contains the following parameters:

- Situation par rapport au bâtiment:
 - Extérieur
 - Intérieur
- Type installation: Circulation forcée sans échangeur
- Température de l'eau: 60 °C
- Volume de stockage total: 10000 Litres
- Nombre de ballons: 1

Figure (4.9) : Les paramètres de stockage [10].

7) Dans la septième fenêtre, nous choisissons le type d'isolant (Figure 4.10) ;

The screenshot shows the 'Constante de refroidissement' window in the TECSOL software. The window title is 'Solaire thermique > calculs eau chaude > dimensionnement SOLO'. The left sidebar is identical to the previous screenshot. The main content area is titled 'Constante de refroidissement' and contains the following parameters:

- Vous connaissez sa valeur : non, oui
- Type d'isolant: Laine de verre
- Epaisseur de l'isolant: 5 cm
- Constante de refroidissement: Wh/jour.l.°C

Figure (4.10) : Le type d'isolant [10].

8) Dans la septième fenêtre, nous choisissons le type de capteur (Figure 4.11) ;

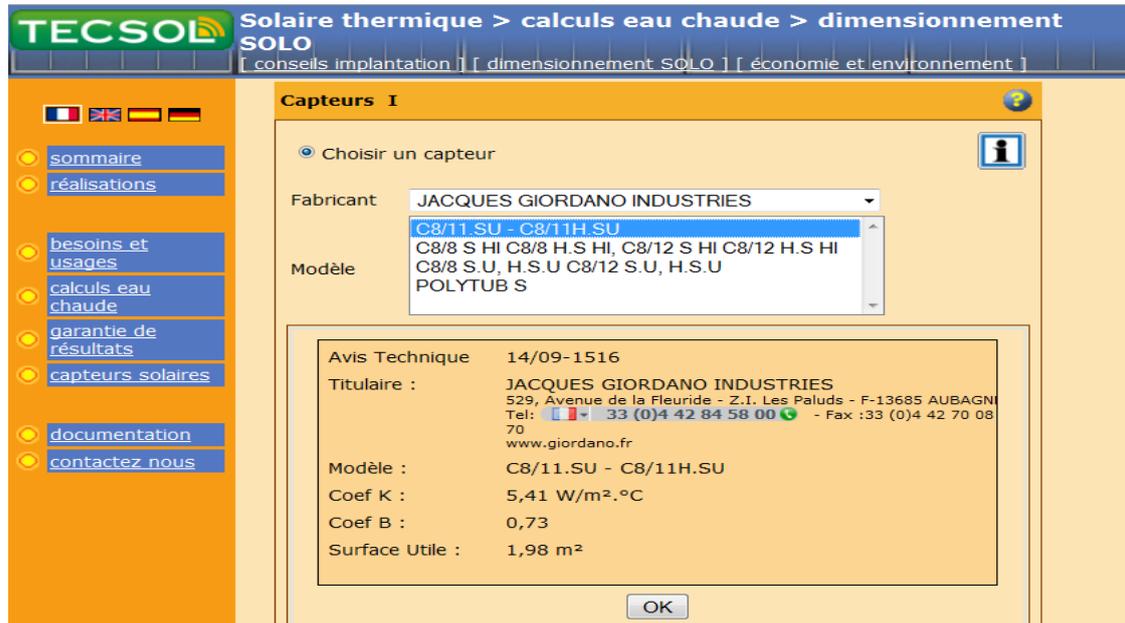


Figure (4.11) : Le type de capteur [10].

9) Dans la septième fenêtre, nous introduisant les paramètres de capteur (Figure 4.12) ;

The screenshot shows the TECSOL software interface for solar collector dimensioning. The title bar reads "Solaires thermiques > calculs eau chaude > dimensionnement SOLO". Below the title bar, there are three tabs: "[conseils implantation]", "[dimensionnement SOLO]", and "[économie et environnement]".

On the left side, there is a navigation menu with the following items:

- sommaire
- réalisations
- besoins et usages
- calculs eau chaude
- garantie de résultats
- capteurs solaires
- documentation
- contactez nous

The main content area is divided into several sections:

- Modèle:** A dropdown menu showing the selected model "C8/11.SU - C8/11H.SU" and other options: "C8/8 S HI C8/8 H.S HI, C8/12 S HI C8/12 H.S HI", "C8/8 S.U, H.S.U C8/12 S.U, H.S.U", and "POLYTUB S".
- Coefficients:** Two radio buttons allow switching between "ou Entrer coefs Solo (CSTB)" and "ou Entrer coefs internationaux". The Solo coefficients are B 0.73 and K 5.41 W/m².°C. The international coefficients are Frta and FrUL W/m².°C.
- Capteurs II:** A section for collector parameters with the following fields:
 - Inclinaison Capteur: 41 °/Horiz.
 - Orientation: 0 °/ Sud.
 - Surface Utile: 1,98 m²
 - Nbre de capteurs: 2
 - Surface Entrée Totale: 150 m²

A "Valider" button is located at the bottom of the form.

Figure (4.12) : Les paramètres de capteur [10].

4.5.3 Résultats de dimensionnement

Les résultats de dimensionnement sont montrés sur les tableaux (4.2) (4.3) (4.4) (4.5) suivants :

Tableau 4.2 : Les températures d'eau froide.

Mois	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Des
T° _{exterieur}	6	6	8	12	16	22	25	24	20	14	9	6
T° _{eau froide}	10	10	11	13	15	18	19.5	19	17	14	11.5	10

Tableau 4.3 : Caractéristiques d'implantation de l'installation (capteur, stockage).

capteurs		stockage	
surface	150 m ²	Situation	Extérieur
Inclinaison	41°/Horiz	Température ECS	60 °c
Orientation	0 °/sud	Volume de stockage	10000 Litres
Coefficient B	0,73	Cste de refroidissement	0,0613 Wh/jour.l.°c
Coefficient K	5,41 W/m ² . °c	Type d'installation	Circulation forcée sans échangeur

Tableau 4.4 : Résultats mensuels de dimensionnement.

	Irradiation Capteurs (Wh/m ² .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	5359	18021	8898	287,0	49,4	10000
Février	6295	16277	9544	340,9	58,6	10000
Mars	6712	17661	11759	379,3	66,6	10000
Avril	6486	16393	11623	387,4	70,9	10000
Mai	6250	16219	11909	384,2	73,4	10000
Juin	6117	7325	7073	235,8	96,6	5000
Juillet	6419	7298	7124	229,8	97,6	5000
Aout	6601	7389	7201	232,3	97,5	5000
Septembre	6673	14998	11616	387,2	77,4	10000
Octobre	5782	16579	10592	341,7	63,9	10000
Novembre	4853	16916	8419	280,6	49,8	10000
Décembre	4896	18021	8199	264,5	45,5	10000

Tableau 4.5 : Résultats annuels de dimensionnement.

Taux couverture solaire	65,8	%	Apport solaire annuel	113957	kWh/an
Besoins annuelle	173097	kWh/an	Productivité annuelle	760	kWh/m ² .an

4.6 Interprétation des résultats de dimensionnement

Les résultats mensuels représentés sont l'irradiation capteur, les besoins, et l'apport solaire. Les résultats annuels sont la productivité, les besoins, apport solaire, et le taux de couverture. Ces derniers montrent que les résultats de dimensionnement sont très satisfaisants avec un taux de couverture solaire de 65,8% et la productivité de 760 kWh/m².an.

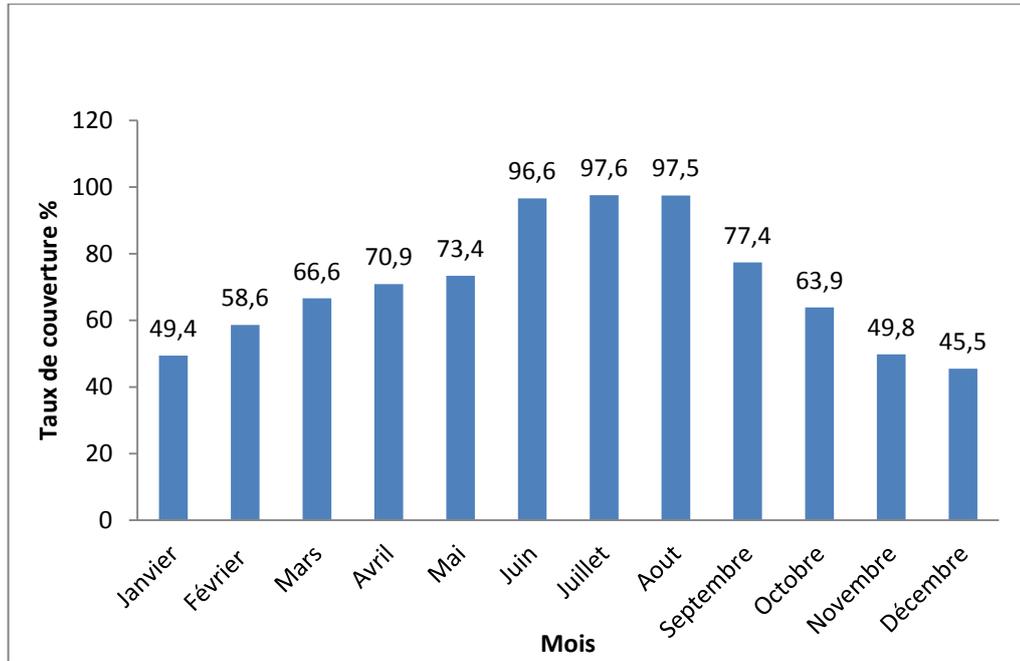


Figure (4.13) : Taux de couverture solaire mensuel.

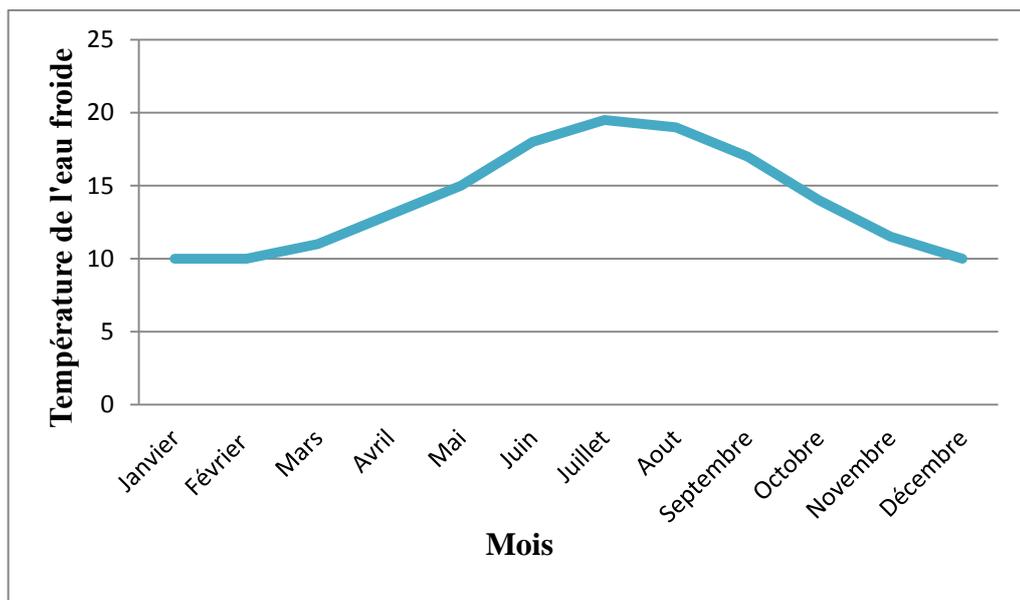


Figure (4.14) : Température de l'eau froide.

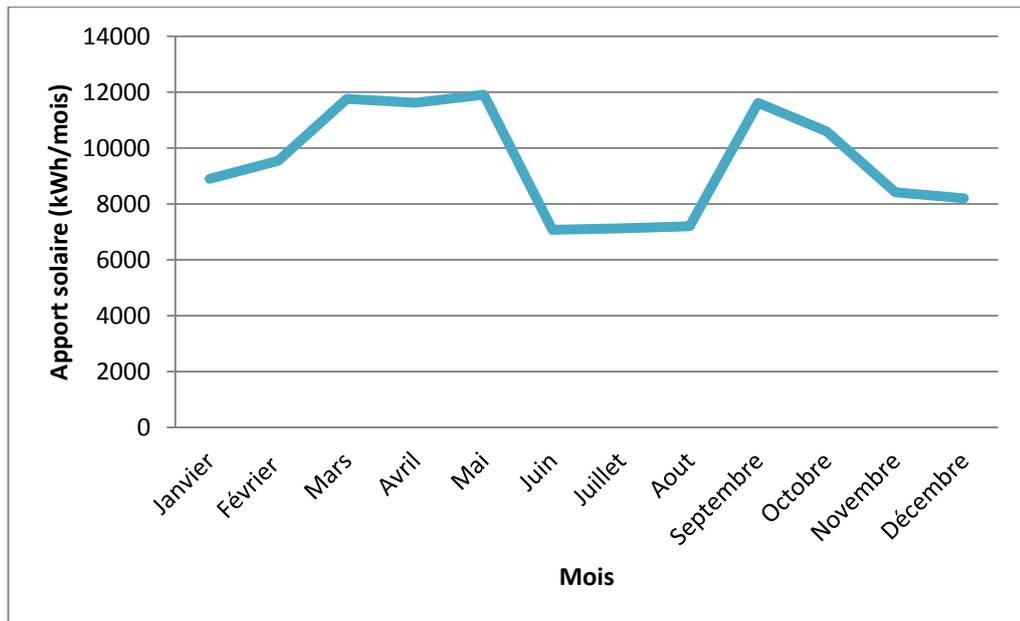


Figure (4.15) : Apport solaire mensuel.

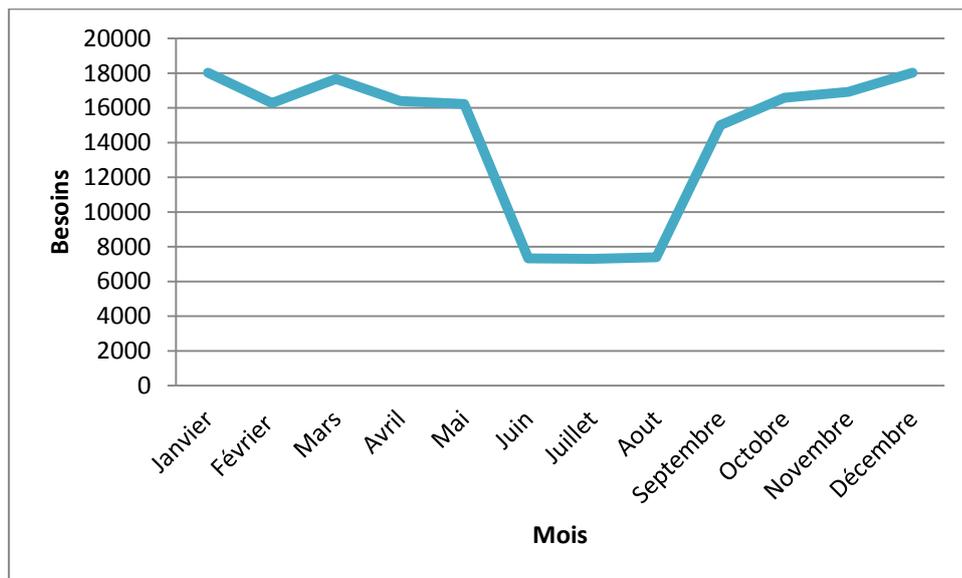


Figure (4.16) : Besoins d'eau chaude.

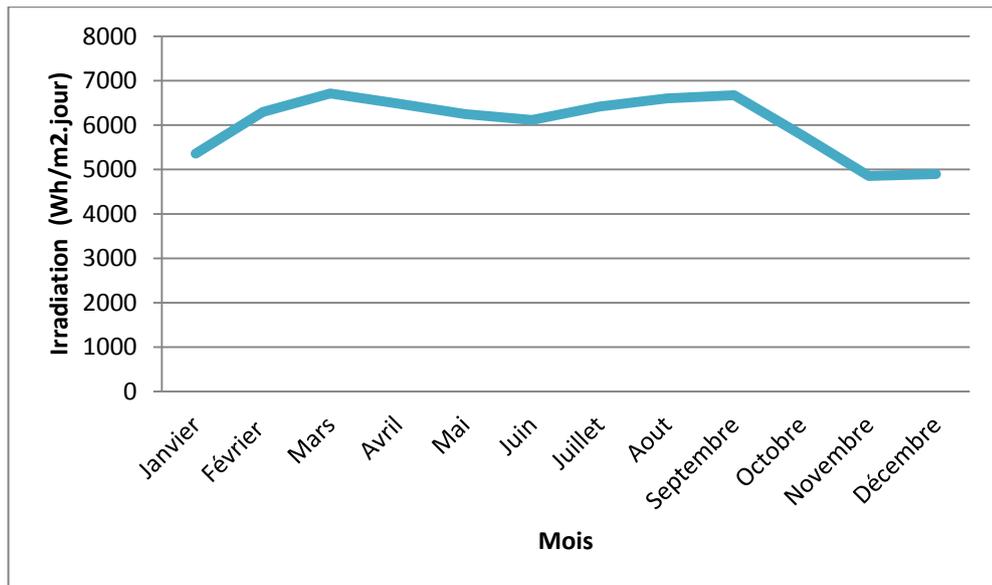


Figure (4.17) : Irradiation sur le capteur solaire.

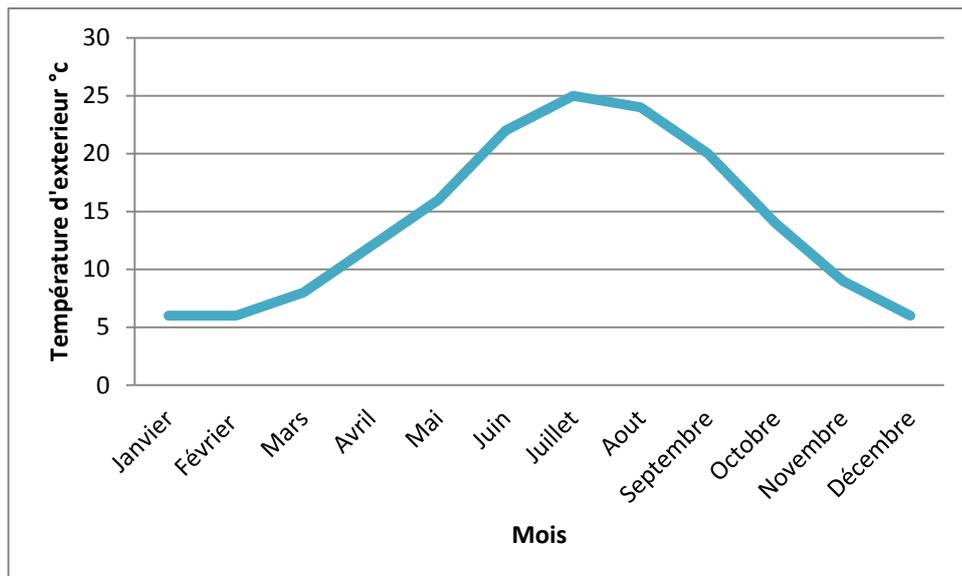


Figure (4.18) : Température d'extérieure.

4.7 Conclusion

Les résultats de dimensionnement sont satisfaisant ; on a choisi les paramètres qu'ils faut pour un bon dimensionnement.

CONCLUSION GENERALE

Le travail accompli dans le cadre de ce projet de fin d'études m'a permis de conclure un stage effectué au niveau du CDER de Bouzaréah, où j'ai appris beaucoup de choses sur la complexité du monde industriel et sur le travail en groupe.

Les résultats obtenus sont satisfaisants on a procédé à un choix d'équipements très adéquat par rapport aux calculs et au dimensionnement grâce au logiciel solo qui est développé par CSTB France et qui est très utilisé par les professionnels du domaine de l'énergie solaire thermique.

Notre travail contribue dans le domaine de développement du solaire thermique, et plus précisément le chauffage solaire qui constitue un créneau très prometteur étant donné que notre pays dispose d'un gisement solaire très important qui est évalué à 3000 heures d'ensoleillement par an et la stratégie mise en place pour le développement des énergies renouvelables (les utilisations de ces énergies pour les chauffages solaires, les chauffe-eau solaires...etc.) .

Et pour cela nous souhaitons participer à ce programme par un sujet de magistère tout en apportant des améliorations nécessaires à notre travail et donc contribuer à la protection de l'environnement et l'économie d'énergie.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Djamel Eddine ZOUAKH «Le poisson et l'aquaculture», cours de l'aquaculture ESSMAL 2005.
- [2] JAUNCEY K. and ROSS B. 1982. A guide to tilapia feeds and feeding. Unit of aquatic pathobiology. University of Stirling. Scotland
- [3] Jérôme Lazard «Le Tilapia», Ed Poive Février 2007.
- [4] D.Laplaze, « Le rayonnement solaire estimation et mesures », Ed Erasme, La Garenne-colombes, France 1990.
- [5] J.Bernard« Energie solaire calculs et optimisation», Ed ellipse 2004.
- [6] A. Salmi H.Oumella « Calcul et dimensionnement d'une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire d'une maison individuelle type pavillon »mémoire d'ingénieur, Ouargla 2007.
- [7] A.Sfeir « Ingénierie des systèmes solaires », Ed technique and documentation 1981.
- [8]M.chateau minois « Eau chaude solaire: guide de l'installation » Collection de l'école supérieure d'ingénieurs de Marseille 2001.
- [9] R.Bouige et D.couillard « Chauffage de l'habitat tome 2 », J-B.BAILLIERE, 1976..
- [10] internet : [http://www.tecsol.fr/dimensionnement de système solaire.html](http://www.tecsol.fr/dimensionnement_de_système_solaire.html).
- [11] Felix A.peuser « Installation solaires thermiques conception et mise en œuvre », Ed Le moniteur 1996.
- [12] A. Yousef « Etude expérimentale d'une installation de production d'eau chaude solaire » mémoire d'ingénieur université chlef 2007.
- [13] F. Bouhired « commande et contrôle d'une installation de production d'eau chaude solaire » Mémoire de magister INHC, Boumerdes 2004.
- [14] R.Bessad « Industrial regulator », mémoire de magistère l'IAP 2004.
- [15] Yves JANNOT « Transferts thermiques », Ed John Wiley and sons 2002.
- [16] M. Zaheer-Uddin and G.R. Zheng, « Optimal Operation of an Embedded-Piping Floor Heating System with Control Input Constraints », Energy Convers., Vol. 38.
- [17] J.F. SACADURA « Initiation aux transferts thermiques »,Ed technique documentation, 1978.
- [18] « Données climatologiques », Office national de la métrologie, Station d'Ouargla, Avril 2011.

[19] A.sfeir « Guide de l'installation solaire dans l'habitat », Edition européenne thermique et industrie PARIS 1995.

ANNAXES

Annexe A :	Calcul des coefficients de transfert à l'intérieur.....	74
Annexe B :	Conductivité de quelque matière.....	75
Annexe C :	Calcul de coefficient de convection et la surface d'échange	75
Annexe D :	Les caractéristiques de l'air à la pression atmosphérique.....	76
Annexe E :	Caractéristique du capteur plan.....	77

Annexe A :

On a la température de l'entrée de l'échangeur $T_{mi} = 60^{\circ}\text{c}$, et la température de sortie l'échangeur $T_{me} = 30^{\circ}\text{c}$.

Donc :

$$T_i = \frac{T_{mi} + T_{me}}{2} = 45^{\circ}\text{c} = 318,15 \text{ K.}$$

$$\rho_i = 992,50 \text{ kg/m}^3. \quad (\text{Annexe D})$$

$$\mu_i = 596,98 \cdot 10^{-6} \text{ N.s/m}^2. \quad (\text{Annexe D})$$

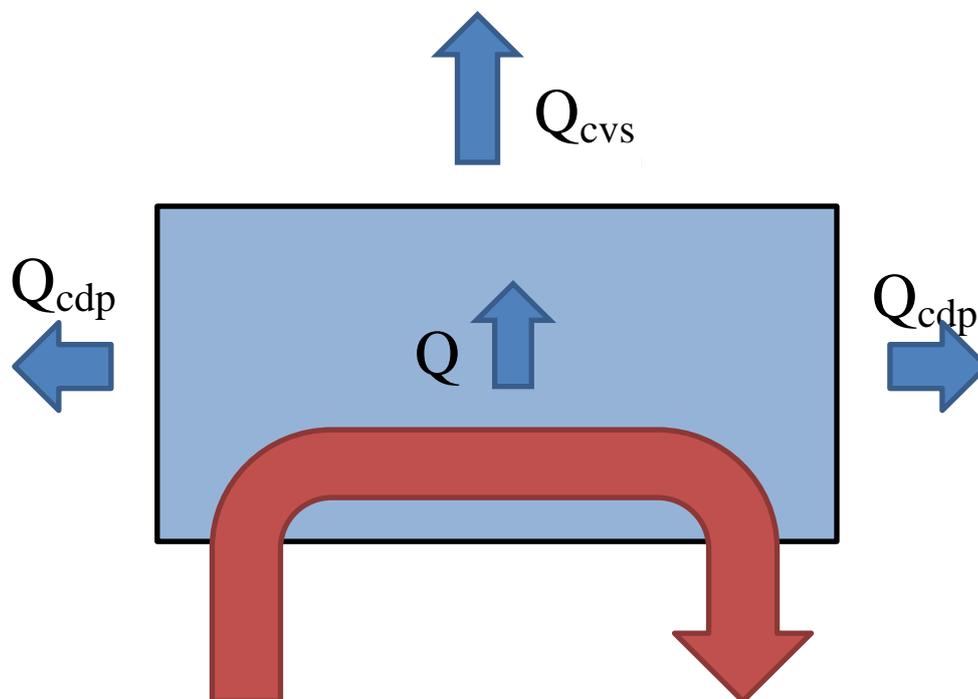
$$k_i = 637,78 \cdot 10^{-3} \text{ W/m. K.} \quad (\text{Annexe D})$$

$$pr_i = 3,91.$$

$$V = 0,26 \text{ m/s.}$$

$$Re_i = 5187,11 .$$

$$Nu = 33,81 .$$



Annexe B : conductivité de quelque matière

Types	Conductivité (W/m.K)
Cuivre	380
Aluminium	230
Inox	52

Annexe C :

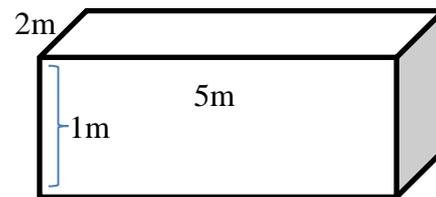
On suppose que $W = U_{\infty} = 4,1 \text{ m/s}$.

$$h_{cv} = 5,7 + 3,8W = 21,28 \text{ W/m}^2.\text{K}.$$

$$S_e = 5 * 2 = 10 \text{ m}^2.$$

$$S_p = 2 * (5 * 1) + 2 * (2 * 1)$$

$$S_p = 14 \text{ m}^2.$$



Annexe D : Les caractéristiques de l'air à la pression atmosphérique

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vapor- ization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coeffi- cient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temper- ature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	1070	430

Annexe E : Caractéristique du capteur

Les capteurs :

On sélectionne des capteurs de la marque GIORDANO qui ont les caractéristiques suivant :

a. Un absorbeur sélectif performant :

L'absorbeur du nouveau **Capteur Solaire Giordano** est constitué d'une feuille d'Aluminium (EN AW-1050A) ayant subi un traitement sélectif après anodisation afin d'augmenter ses performances, sa robustesse et sa résistance à la corrosion.

❖ Revêtement hautement respectueux de l'environnement, obtenu par procédé PVD (dépôt sous vide), très faible consommateur d'énergie et ne générant aucun effluent polluant.

❖ Fort coefficient d'absorption : $0,95 \pm 0,01$ et d'émissivité (à 100°C) : $0,05 \pm 0,02$.

❖ Résistance à des températures extrêmes.

❖ L'absorbeur est assemblé à des tubes cuivre par soudure laser pour une conductivité thermique optimale

b. Une isolation optimale :

Les **Capteurs Solaires Giordano** sont parfaitement isolés afin d'éviter toute déperdition de chaleur.

VERSION "SU" : isolation 20 + 20 mm

❖ 20 mm de mousse polyuréthane sans CFC recouverte sur chaque face d'un parement en aluminium gaufré réfléchissant (M1).

❖ 20 mm de laine de verre (M0).

c. Un verre résistant aux intempéries :

Verre trempé d'épaisseur 4 mm, assemblé au cadre acier par collage silicone, qui assure le maintien de l'étanchéité.

❖ Haut coefficient de transmission : 91%.