

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA**

**Faculté des sciences de l'Ingénieur**  
Département de Mécanique

**MEMOIRE DE MAGISTER**

Spécialité: Energétique

**OPTIMISATION DES SURFACES DE CAPTATION  
POUR LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE  
D'EAU SANITAIRE**

Par

**SAMI-MECHERI Sabrina**

Devant le jury composé de

Y. BENKEDDA	Maître de conférences, U. de Blida	Président
A. KHELLAF	Directeur de recherche, CDER	Examineur
M. DAHLI	Chargé de Cours, U. de Tizi-Ouzou	Examineur
M. A. HAMID	Chargé de cours, U. de Blida	Examineur
M. BELHAMEL	Directeur de recherche, CDER	Rapporteur
N. AITMESSAOUDENE	Professeur, U. de Blida	Co-Rapporteur

Blida. Mars 2004

## RESUME

Les installations solaires sont affectées d'un coût initial très élevé en plus du prix de l'énergie consommée par le système d'appoint durant la durée de fonctionnement.

La surface de captation représente la plus grande partie de l'investissement de l'installation, vu les matières nobles qu'on utilise dans la fabrication des capteurs plans comme le cuivre par exemple.

La détermination d'une surface de captation optimale des installations solaires en général est devenue donc l'un des soucis primordiaux dans la conception des systèmes solaires. En effet, une installation surdimensionnée veut dire des surcoûts, par contre si elle est sous dimensionnée ceci veut dire manque de fiabilité.

L'objet de ce travail est le développement d'un modèle mathématique pour la détermination de la surface optimale d'une installation solaire de chauffage d'eau à partir de la méthode F-Chart.

L'étude a été réalisée pour différents sites Algériens. Elle est structurée suivant le zonage climatique hivernal établi par Borel, ce dernier définit les différentes zones climatiques dont nous avons tenu compte et ce pour traiter tout le territoire national.

L'avantage de cette étude est de déterminer la surface optimale d'un site donné en tenant compte non seulement des aspects économiques mais aussi des paramètres suivants :

- performances thermiques;
- coûts de chaque élément de l'installation;
- nature du système d'appoint;
- durée de vie;
- nature du site.

## ملخص

تمتلك الجزائر قدرات طاقوية هامة، غير أن الاستهلاك الداخلي يتمركز أساسا على المحروقات علما أن المؤشرات الأخيرة تتنبأ بتضخم الاستهلاك الداخلي، مما سيؤدي إلى انخفاض هام من عائدات البلاد من العملة الصعبة، تسعى الدولة في السنوات الأخيرة لترشيد استهلاك الطاقة و البحث عن وسائل أخرى لسد حاجيات السكان لا سيما في ميدان الطاقات المتجددة مع الاستفادة من بعض عائدات النفط لدعم الدراسات و الأبحاث النظرية و التطبيقية و هذا للمحافظة على قدر الإمكان من مصادر البترول و الغاز .

في نفس الوقت تتمتع الجزائر بموقع جغرافي مناسب للاستفادة من الطاقة الشمسية بحيث تبلغ 170-190- ساعة/ سنويا. وتتراوح ساعات الإشعاع سنويا ما بين 2950-23350 kcal/cm<sup>2</sup> و لهذا يجب على الجزائر تقدير الإمكانيات المتاحة لها في هذا النوع من الطاقة مع تسخير كل الوسائل حتى يمكننا إدماجها في السياسة الطاقوية للبلاد.

و من بين الاستعمالات الأكثر انتشارا في العالم، يعتبر التسخين الشمسي للمياه المنزلية التطبيق الأكثر مردودية للطاقة الشمسية و له الحظ الأكبر للانتشار على المدى المتوسط، عبر أنحاء الوطن و هذا لسهولة استعماله و إنجازه بمنا باستعمال نموذج نظري لحساب المساحة الأحسن للتركيبية الشمسية و هذا باستخدام نظرية F- Chart التي تأخذ بعين الاعتبار بالإضافة إلى مردود السلوك الحراري للتركيبية الشمسية عوامل مختلفة منها سعر كل جزء من الجهاز، طبيعة وحدة التسخين المساعدة، طبيعة الموقع و عوامل إقتصادية أخرى.

تمت الدراسة على عدة مناطق من الجزائر ذات كمون طاقي و عوامل جوية مختلفة، لهذا استعملنا التقسيم الشتوي المناخي ل بورال.

## ABSTRACT

Algeria is a country potentially interesting for the exploitation of solar energy. It has indeed a vast territory with a considerable solar potential.

It is thus of great interest for a country like Algeria to be able to consider the potentialities offered by such an energy and to identify the means of making use of it and integrating it in the country energetic strategy.

One of the most widely used applications of solar energy is solar water heating, it is currently the most profitable application of this energy ,thus, it has the greatest chance to be developed in the short run.

The purpose of this work is the development of a mathematical model to study the influence of the auxiliary system on the collecting field of a solar water heating system for various Algerian sites. This study is structured according to climatic zoning establishes by Borel.

The advantage of this study is to determine the optimum area of given site taking into account , not only the economical aspects but also the following parameters:

- Thermal performance;
- Cost of each component of this installation;
- Nature of the auxiliary system;
- Length of life;
- Site nature;

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) à Bouzaréah.

Je tiens à remercier mon directeur de thèse Monsieur M. BELHAMEL, directeur de recherche au CDER, pour son assistance tout au long de cette étude. Son expérience dans le domaine m'a été d'une grande utilité.

Je tiens également à remercier le co-directeur de thèse, Monsieur N. AIT MESSAOUDENE, professeur au département de Génie mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur de l'université de Blida, pour son assistance et son suivi tout au long de cette étude.

Je remercie Monsieur Y. BENKEDDA, Maître de conférence au département de Génie mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur de l'université de Blida, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur A.HAMID, chargé de cours au département de Génie mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur de l'université de Blida, pour ses précieux conseils, son suivi et son encadrement durant toutes ses années au sein du laboratoire thermique au CDER. Je le remercie aussi d'avoir accepté d'examiner ce travail auquel il a collaboré.

Que Monsieur A.DAHLI, Chargé de cours au département d'architecture à l'université de Tizi-Ouzou, reçoive mes sincères remerciements pour l'honneur qu'il me fait en participant au jury d'examination.

Je remercie également Monsieur A.KHELLAF, directeur de recherche au CDER, de m'avoir fait l'honneur de participer au jury d'examination.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à Monsieur D.SEMMAR chef de division du laboratoire thermique au CDER et Monsieur D.LAFRI, pour m'avoir guidé et orienté durant la réalisation de ce travail.

Que Melle S.CHOUKRI en particulier et tous mes collègues du centre de calcul reçoivent mes sincères remerciements.

Enfin, pour leur soutien moral je voudrais également remercier mes collègues du laboratoire thermique, en particulier : K.KHARCHI, F.MOKHTARI, N.IKERBOUCHENNE, K.IMESSAD, A.SADI et A.CHENAK.

Je dédie ce travail à toute ma famille, en particulier mes parents qui m'ont aidé à me consacrer à mes études en s'occupant de mon fils.

A mes sœurs et mon frère pour leur soutien moral.

Que mon mari reçoive à travers ces mots toute ma gratitude et le remercie pour sa patience, sa compréhension et son soutien illimité dans tout ce que j'entreprends.

A mon fils RACIM pour toute la joie qu'il nous apporte.

## TABLE DES MATIERES

RESUME

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEUX ET GRAPHIQUES

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION	14
1. CHAUFFAGE D'EAU SOLAIRE	17
1-1- Introduction	17
1-2- Composants du chauffe eau solaire individuel	23
1-3- Installation de chauffage collective	26
1-4- Principe et fonctionnement du chauffe eau solaire	29
1-5- calcul des performances du chauffe eau solaire	30
2 .OPTIMISATION DE LA SURFACE DE CAPTATION	35
2-1- Introduction	35
2-2- Objet de l'optimisation	35
2-3- Les méthodes d'optimisation des surfaces de captation	36
2-4- Détermination de la surface de captation	39
3. LES PARAMETRES INFLUANT SUR LA SURFACE DE CAPTATION	42
3-1- Introduction	42
3-2- Les paramètres influant sur la surface de captation	42
3-3- Autres paramètres	48

4 - RESULTATS ET INTERPRETATION	49
CONCLUSION	70
APPENDICE	73
REFERENCES	



## LISTE DES TABLEUX ET GRAPHIQUES

Figure 1.1 : Le chauffe eau solaire individuel	23
Figure 1.2 : Le capteur plan	24
Figure 1.3 : Cuve de stockage (chauffage individuel)	25
Figure 1.4 : Installation de chauffage d'eau collective	26
Figure 1.5 : Disposition des capteurs	27
Figure 1.6 : Cuve de stockage (chauffage collectif)	29
Figure 1.7 : Installation de chauffage d'eau (sans appoint)	33
Figure 1.8 : Installation de chauffage d'eau avec système d'appoint	33
Figure 2.1 : Structure des coûts pour les installations solaires usuelles (Valeurs moyennes)	36
Figure 2.2 : Evolution de $Q_{AUX}$ en fonction de la surface de captation Pour toutes les zones climatiques	40
Figure 3.1 : Les zones climatiques en Algérie	42
Figure 4.1 : Evolution de $Q_{AUX}$ en fonction de la surface de captation Pour toutes les zones climatiques (Masse = 200 litres)	51
Figure 4.2. Evolution de $Q_{AUX}$ en fonction de la surface de captation Pour toutes les zones climatiques (Masse = 400 litres)	51
Figure 4.2 : Evolution de $Q_{AUX}$ en fonction de la surface de captation Pour toutes les zones climatiques (Masse =1500 litres)	52
Figure 4.4 : Variation de la surface de captation en fonction du coût du capteur	56
Figure 4.5 : Variation de la surface de captation en fonction du coût du capteur (Masse = 1500 litres)	56
Figure 4.6 : Surface optimale en fonction du coût du capteur Pour différentes températures désirées (masse = 400 litres)	57

Figure 4.7 : Surface optimale en fonction du coût du capteur Pour différentes températures désirées (Masse = 1500 litres)	58
Figure 4.8 : Surface optimale en fonction de la masse à chauffer Pour les différentes zones climatiques	60
Figure 4.9 : Surface optimale en fonction du coût du capteur Pour différentes masses à chauffer	60
Figure 4.10 : Surface optimale en fonction du coût de l'énergie d'appoint Pour différents coûts de capteur ( Chlef, $T_{DES} = 60^{\circ}C$ )	61
Figure 4.11 : Surface optimale en fonction du coût de l'énergie d'appoint Pour différents coûts de capteur (Dar El Beida , $T_{DES} = 60^{\circ}C$ )	62
Figure 4.12 : Surface optimale en fonction du coût de l'énergie d'appoint Pour différents coûts de capteur (Tamanrasset, $T_{DES} = 60^{\circ}C$ )	62
Figure 4.13 : Variation de la surface optimale en fonction De la masse à chauffer pour différents coûts de capteurs	67
Figure 4.14 : Variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer ( $C_F = 3.611DA/KWH, C_C = 3000DA/m^2, T_{DES} = 60^{\circ}C$ )	68
Figure 4.15 : variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer( $C_F = 3.611DA/KWH, C_C = 2000DA/m^2, T_{DES} = 60^{\circ}C$ )	68
Figure 4.16 : variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer( $C_F = 3.611DA/KWH, C_C = 1000DA/m^2, T_{DES} = 60^{\circ}C$ )	69
Tableau 1.1 : Surfaces cumulées de capteurs solaires installés Dans les principaux pays du monde.	21
Tableau 1.2 : Principaux pays exportateurs de capteurs Solaires dans l'union européenne	22
Tableau 1.3 : Principaux constructeurs européens de capteurs solaires	22
Tableau 3.1 : Caractéristiques d'un capteur plan de production nationale	46
Tableau 4.1 : Caractéristiques des zones climatiques	49
Tableau 4.2 : Les temperatures mensuelles myennes pour les differentes zones climatiques	51
Tableau 4.3 :Calcul de $Q_m$ et $\lambda$ pour différentes températures désirées Pour les différentes zones climatiques ( masse = 200 litres)	52
Tableau 4.4 : Calcul de $Q_m$ et $\lambda$ pour différentes températures désirées Pour les différentes zones climatiques (masse = 400 litres)	53

Tableau 4.5 : Calcul de $Q_m$ et $\lambda$ pour différentes températures désirées Pour les différentes zones climatiques ( masse = 1500 litres)	53
Tableau 4.6 : La surface optimale pour les zones climatiques ( $T_{DES}= 60^{\circ}C$ , masse = 200 litres)	54
Tableau 4.7 : La surface optimale pour les zones climatiques ( $T_{DES}= 60^{\circ}C$ , masse = 400 litres)	54
Tableau 4.8 :La surface optimale pour les zones climatiques ( $T_{DES}= 60^{\circ}C$ , masse = 1500 litres)	54
Tableau 4.9 : <b>Influence du coût de l'énergie électrique</b> sur la surface de captation	61
Tableau 4.10 : La surface optimale pour les zones climatiques (Masse = 200 litres)	63
Tableau 4.11 ; La surface optimale pour les zones climatiques (Masse = 400 litres)	64
Tableau 4.12 : La surface optimale pour les zones climatiques (Masse = 1500 litres)	64
Tableau 4.13 : La surface optimale pour les zones climatiques (Masse = 200 litres)	65
Tableau 4.14 : La surface optimale pour les zones climatiques (Masse = 400 litres)	65
Tableau 4.15 : La surface optimale pour les zones climatiques (Masse = 1500 litres)	65
Tableau 4.16 : La surface optimale pour différentes températures désirées Pour différents coûts de capteurs pour le site de Chlef (Masse=400 litres)	66

## LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

$A_C$ : Surface du capteur	( m <sup>2</sup> )
$F_R$ : Facteur de conductance de l'absorbeur	( - )
$F$ : fraction solaire	( - )
$U_L$ : Coefficient des pertes globales	(w/m <sup>2</sup> .c)
$\Delta T$ : Nombre total de secondes dans le mois	( S )
$t_1$ instant de début de fonctionnement dans la journée.	( S )
$t_2$ : instants de fin de fonctionnement dans la journée.	( S )
$T_a$ : Température mensuelle moyenne ambiante	(°C)
$T_{CF}$ température finale de l'eau dans la cuve de stockage.	(°C)
$T_{CI}$ : températures initiale de l'eau dans la cuve de stockage.	(°C)
$T_{des}$ : température désirée de distribution	(°C)
$T_{res}$ : température du réseau	(°C)
$L$ : Besoins mensuels en eau chaude	( J )
$H_T$ : Irradiation incidente mensuelle	( J/m <sup>2</sup> )
$G_t$ : l'éclairement global.	
$NJ$ : Nombre de jours dans le mois.	( - )
$Nm$ : Nombre de mois dans l'année	( - )
( $\tau\alpha$ ) : Facteur de transmittance- absorbance mensuel	( - )
$\eta_j$ : rendement journalier du chauffe eau solaire	( - )
Masse: Besoins journaliers en eau chaude	( litres)
$C_p$ : chaleur massique de l'eau	(J/Kg.k)
$C_{TOTAL}$ : coût annuel de l'installation	(DA/ m <sup>2</sup> )

$C_C$ : coût du capteur par unité de surface	(DA/ m <sup>2</sup> )
$C_T$ : coût de la cuve de stockage par unité de volume	(DA/ m <sup>3</sup> )
$C_\gamma$ : coût des éléments reliés directement au capteur	(DA/ m <sup>2</sup> )
$C_F$ : le coût par unité de l'énergie électrique	(DA/ m <sup>2</sup> )
$M$ : les autres coûts indépendants de la surface de captation	( DA )
$m$ : maintenance annuelle, assurance et taxes du système solaire	( DA )
$n$ : le nombre d'années de paiement	( Ans)
$M_c$ : la masse d'eau contenue dans la cuve.	(m <sup>3</sup> )
$i$ : le taux d'intérêt annuel	(%)
$e$ : le taux d'inflation du coût de l'énergie d'appoint.	(%)
$i_1$ : le taux d'inflation du coût des marchandises et services.	(%)
$r$ : le taux d'inflation du marché au début de la durée de vie.	(%)

## INTRODUCTION

### 1. Generali tes

L'utilisation des énergies renouvelables suscite de plus en plus un intérêt certain dans le monde. La diminution des réserves mondiales en pétrole et en gaz, les problèmes environnementaux ont amené beaucoup de pays à s'intéresser aux énergies renouvelables et propres telles que l'énergie solaire. Cette énergie est l'une des plus facilement exploitables. Elle est en outre inépuisable. Ses applications sont nombreuses et variées à savoir le chauffage des habitations, des piscines, des serres, la production d'eau chaude sanitaire, la distillation de l'eau, le four solaire, le pompage de l'eau ou la production d'électricité.

L'Algérie, pays en voie de développement, se trouve de plus en plus confrontée à de multiples problèmes liés directement à l'environnement et à l'utilisation de l'énergie. D'un autre côté, l'approvisionnement en cette énergie bien que disponible reste difficile et coûteux pour certaines régions du pays. Aussi nous devons envisager des solutions économiques qui puissent contribuer à un développement durable.

La mise en place, dans le cadre de la politique énergétique de 1968, de bas prix a été vue comme une condition essentielle du décollage économique dans notre pays. Cependant cette démarche a montré ses limites par des effets négatifs sur l'économie : déficits importants des opérateurs intervenants dans les activités de production et commercialisation, subventions déguisées à travers les prix favorisant le gaspillage. En plus, cette politique a été l'une des causes principales de l'insuffisance du développement des énergies renouvelables en Algérie. Ces dernières reviennent plus chères compte tenu de ce qui précède.

Afin de mettre fin aux distorsions qu'a entraîné ce système, le ministère de l'énergie[7] a élaboré fin 1990 un rapport relatif à la tarification des produits

énergétiques basé sur le principe de vérité des prix. Ce rapport rentre dans le cadre de l'adaptation progressive de l'économie nationale aux conditions de prix pratiqués sur le marché international.

En plus, les indices économiques prévisionnels montrent qu'au-delà de 2020, les ressources fossiles ne seront destinées qu'au marché intérieur, si les évolutions continuent dans les conditions actuelles. L'option la plus plausible, afin de repousser cette échéance, est le développement des différentes filières énergétiques alternatives (en particulier l'énergie solaire). Des moyens importants doivent être déployés.

L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (chauffes eau solaires) est, sans aucun doute, une des applications les plus maîtrisées de cette énergie. Au-delà de la donne écologique, les chauffe-eau solaires ont également un impact sur le plan économique.

Prenons le cas des logements collectifs. Si le loyer est une charge fixe que l'on peut inclure dans son budget, il n'en est pas de même pour les charges (chauffage, eau, électricité) qui accusent des variations en fonction de la saison et du prix de l'énergie. De plus, ces charges, à l'inverse des loyers, ne bénéficient pas d'aides sociales. Pour être clair : ce qui est consommé est du. Les charges sont aujourd'hui de plus en plus lourdes avec l'augmentation du prix du gaz et de l'électricité. Elles sont, en tous les cas, difficilement compressibles à quelques économies d'énergie près. La solution passe donc par l'utilisation, dans les logements collectifs, de nouvelles sources d'énergie moins coûteuses à l'utilisation.

L'eau chaude représente une part non négligeable de la facture énergétique. Cette dernière pourrait donc être revue à la baisse grâce à l'introduction de technologie faisant appel au solaire thermique. En effet, une fois les investissements amortis, le chauffage de l'eau sanitaire par capteurs solaires ne représente plus qu'un coût marginal.

## 2. Objectifs du présent travail

Les installations solaires sont affectées d'un coût initial très élevé en plus du prix de l'énergie consommée par le système d'appoint durant la durée de fonctionnement. La surface de captation représente la plus grande partie de l'investissement de l'installation, vu les matières nobles qu'on utilise dans la fabrication des capteurs plans comme le cuivre par exemple.

La détermination d'une surface de captation optimale des installations solaires en général est devenue donc l'un des soucis primordiaux dans la conception des systèmes solaires. En effet, une installation surdimensionnée veut dire des surcoûts, par contre si elle est sous dimensionnée ceci veut dire manque de fiabilité.

L'objet de ce travail est le développement d'un modèle mathématique pour la détermination de la surface optimale d'une installation solaire de chauffage d'eau à partir de la méthode F-Chart.

L'étude a été réalisée pour différents sites Algériens. Elle est structurée suivant le zonage climatique hivernal établi par Borel, ce dernier définit les différentes zones climatiques dont nous avons tenu compte et ce pour traiter tout le territoire national. L'avantage de cette étude est de déterminer la surface optimale d'un site donné en tenant compte non seulement des aspects économiques mais aussi des paramètres suivants :

- performances thermiques;
- coûts de chaque élément de l'installation;
- nature du système d'appoint;
- durée de vie;
- nature du site.

Nous allons essayer à travers une étude paramétrique que l'on va détailler au chapitre 5, d'apporter une contribution afin d'orienter les pouvoirs publics sur les points et paramètres où ils pourraient éventuellement intervenir à travers des incitations financières pour encourager les utilisateurs à recourir aux installations solaires dans le cadre d'une politique de promotion des technologies solaires en Algérie.



# CHAPITRE 1

## CHAUFFAGE D'EAU SOLAIRE

### 1.1. Introduction

Beaucoup de personnes peuvent aujourd'hui s'interroger comment l'idée de chauffer l'eau par l'énergie solaire a vu le jour, était-ce le fruit d'un hasard ou celui d'une nécessité ?

Nous entamerons ce chapitre par un historique du chauffe-eau solaire, et de la première installation solaire chez nous en Algérie.

De part l'expérience étrangère nous verrons aussi la diffusion de ce produit à travers le monde et comprendrons la nécessité de sa propagation dans notre pays.

#### 1.1.1. Historique

A la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, chauffer l'eau était un problème quotidien pour la population des zones chaudes et côtières des régions du sud des Etats Unis, où le combustible était rare. La première idée était de placer à l'extérieur d'une habitation un réservoir d'eau que le soleil chauffait pour l'utilisation. Plus tard, le système s'est développé avec l'intégration de l'effet de serre. Le réservoir était inséré dans une caisse en bois recouverte d'une plaque en verre, ainsi la température de l'eau augmentait rapidement.

En 1909 William Bailey découvrait qu'il était plus efficace de chauffer un réservoir d'eau lentement plutôt que de le faire rapidement. Sa nouvelle idée fut la base du chauffe-eau solaire utilisé aujourd'hui.[1]

Chez nous, le premier chauffe-eau solaire Algérien a vu le jour à la fin ses années soixante dix. Ce chauffe-eau solaire était constitué de deux (02 ) capteurs d'une forme carrée et d'une cuve cylindrique. Le capteur se composait de deux bacs l'un en bois l'autre en tôle. Son radiateur était en forme de serpentin, l'isolant en laine de verre et le vitrage d'une épaisseur de 6mm. La cuve de stockage de forme cylindrique en Fibrociment était placée verticalement sans isolation thermique, comportait un vase d'expansion. Ce dernier comportait un circuit primaire et un circuit secondaire.

Entre 1984 et 1985 et suite aux études expérimentales menées sur le premier chauffe-eau, plusieurs problèmes ont été détectés à savoir:

- Les déperditions importantes au niveau de la cuve;
- La durée de vie limitée du capteur en bois- tôle vu son exposition aux milieux agressifs tel que les intempéries;
- Le faible rendement optique et thermique du capteur vu l'épaisseur du vitrage qui était de 6mm.

Toutes ces insuffisances ont poussé les chercheurs à réfléchir sur de nouveaux constituants du capteur et de la cuve de stockage.

Le capteur solaire est passé d'un bac en bois à un bac de matériau composite en fibre de verre et d'un isolant en laine de verre à un isolant en mousse phénolique. Ce changement a nettement amélioré les caractéristiques thermiques du capteur ainsi que son esthétique. Le radiateur est passé du serpentin à une échelle tubulaire. En plus, la cuve de stockage a été modifiée en forme cubique recouverte de fibre de verre ce qui diminue les déperditions thermiques.

Ce chauffe-eau a été installé sur plusieurs sites en Algérie, il a donné des résultats plus ou moins satisfaisants mais une amélioration reste à faire dans le choix de nouveaux matériaux.

Aujourd'hui le chauffe-eau solaire Algérien a vu une nette amélioration, que ce soit sur le plan technique, thermique ou esthétique, grâce aux recherches et développements menés au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER).

### 1.1. 2. Expérience étrangère

Le solaire thermique basse température est aujourd'hui dans une phase de croissance accélérée. En Europe, au Japon ainsi qu'aux Etats Unis, les rythmes annuels d'installation de capteurs solaires reprennent des allures de courbes ascendantes qui rappellent les grandes heures de la filière à la fin des années 1970. On retrouve en effet des chiffres d'installations annuelles supérieures à 1 million de mètres carrés de capteurs. Actuellement, les deux premiers pays en matière de solaire thermique basse température sont les Etats unis et le Japon, avec respectivement 8.900.000 m<sup>2</sup> et 6.500.000 m<sup>2</sup> de surfaces installées [1].

Le « Department of Energy » [1] estime que depuis vingt ans, plus de 1.5 millions d'américains ont investi dans l'achat d'un chauffe-eau solaire et 94 % d'entre eux se déclarent satisfaits.

En Europe, trois pays, l'Allemagne, la Grèce et l'Autriche se détachent nettement du reste des autres nations en représentant à eux seuls 74,3% des surfaces de capteurs solaires installées à ce jour. La première place revient à l'Allemagne avec un total de 2.630.000 m<sup>2</sup> fin 1998.

Depuis 1991, date qui a marqué le véritable boom du solaire thermique en Allemagne, le pays n'a quasiment pas connu d'interruption du rythme de son marché intérieur. Sur l'ensemble des années 90, le taux annuel moyen de croissance des surfaces installées en Allemagne a été de 30% [1].

La Grèce, avec 2.493.000 m<sup>2</sup> de capteurs solaires installés, se hisse au deuxième rang européen. Le marché de ce pays n'est quasiment représenté que par des capteurs vitrés utilisés dans des applications de chauffe-eau individuels ou collectifs.

L'Autriche complète le trio de tête européen avec un total de 1.874.000 m<sup>2</sup> de capteurs. La barre des 2 millions de m<sup>2</sup> a été franchie en 1999. Pour la France, elle a affiché une surface totale de 654.600 m<sup>2</sup> de capteurs solaires installés [2]. Cependant le gisement solaire que possèdent ces pays est loin d'égaliser celui de notre pays, pour l'Allemagne par exemple l'énergie annuelle d'insolation est de 1730 heures/ an .

L'Algérie dispose d'un gisement solaire considérable et beaucoup plus important. Les valeurs moyennes publiées de l'irradiation solaire sont les suivantes [2] :

-énergies annuelles irradiées : 170-190 Kcal/cm<sup>2</sup>

-énergie annuelle d'insolation : 2950-3350 heures/an

Cette dernière valeur représente plus de 70 % des heures totales de jour : comme il s'agit d'une valeur moyenne, il en ressort que les régions désertiques du sud possèdent un potentiel solaire encore plus favorable.

L'Algérie est aussi un pays dont la base énergétique est essentiellement constituée par les hydrocarbures, et cela pour plusieurs années encore.

Pour mettre fin à cette dépendance exclusive d'une seule source d'énergie, il est souhaitable qu'une diversification intervienne aussitôt que possible et qu'une planification de l'effort nécessaire soit entreprise en conséquence. Les autorités algériennes, conscientes du problème, se sont préoccupées ces dernières années de cette question des énergies complémentaires et de substitution et en particulier le chauffage solaire.

Les tableaux (1.1), (1.2) et (1.3) représentent respectivement : les surfaces cumulées de capteurs installés dans les principaux pays du monde, les principaux pays exportateurs de capteurs solaires dans l'union européenne et enfin les principaux constructeurs européens de capteurs solaires[1].

Tableau 1.1 : Surfaces cumulées de capteurs solaires installés  
 Dans les principaux pays du monde.

<u>Pays</u>	<u>Capteurs vitrés</u>	<u>Capteurs non vitrés</u>	<u>Tubes sous vide</u>	<u>Total</u>
Allemagne	2 130 000	400 000	100 000	2 630 000
Grèce	2 485 000	4 000	4 000	2 493 000
Autriche	1 333 000	541 000	10 000	1 493 000
France	321 000	331 600	2 000	654 600
Espagne	341 000	-	-	341 000
Danemark	291 500	2 500	-	294 000
Italie	240 000	5 000	5 000	250 000
Portugal	215 000	-	-	215 000
Grande-Bretagne	132 000	75 000	-	207 000
Pays-Bas	116 400	90 100	-	206 500
Suède	135 000	15 000	-	150 000
Finlande	5 000	85 000	-	90 000
Belgique	18 000	-	-	18 000
Irlande	1 500	-	-	1 500
Luxembourg	1 000	-	-	1 000
<u>Total U.E</u>	<b>7 765 400</b>	<b>1 549 200</b>	<b>121 000</b>	<b>9 435 600</b>
<u>Autres pays</u>				
Japon	n.d	n.d	n.d	6 500 000
Etats-Unis	n.d	n.d	n.d	8 900 000
Suisse	230 000	201 000	20 000	451 000

Tableau 1.2 : Principaux pays exportateurs de capteurs  
Solaires dans l'union européenne

<u>Pays</u>	<u>M<sup>2</sup> de capteurs exportés en 1998</u>
Grèce	100 000
Grande Bretagne	86 000
Suède	50 000
Autriche	41 500

Tableau 1.3 : Principaux constructeurs européens de capteurs solaires

<u>Entreprises</u>	<u>Pays</u>
Arcon Solvarme A/S	Danemark
Buderus	Allemagne
Clipsol	France
Foco Ltd	Grèce
Helioakmi	Grèce
Jacques Giodano Industries	France
MEA Solaranlagen GmbH	Autriche
Sonnenkraft	Autriche
Sonneklar	Allemagne
Solel	Belgique
Stiebel Eltron	Allemagne
Thermomax	Grande-Bretagne
Thermo/solar	Allemagne
Tinox	Allemagne
ViessMann	Allemagne
Wagner&Co	Allemagne

## 1. 2. Composants du chauffe-eau solaire individuel

Le chauffe eau solaire individuel comme le montre la figure (1.1), est composé essentiellement de deux parties :

- les capteurs solaires plans ;
- la cuve de stockage.

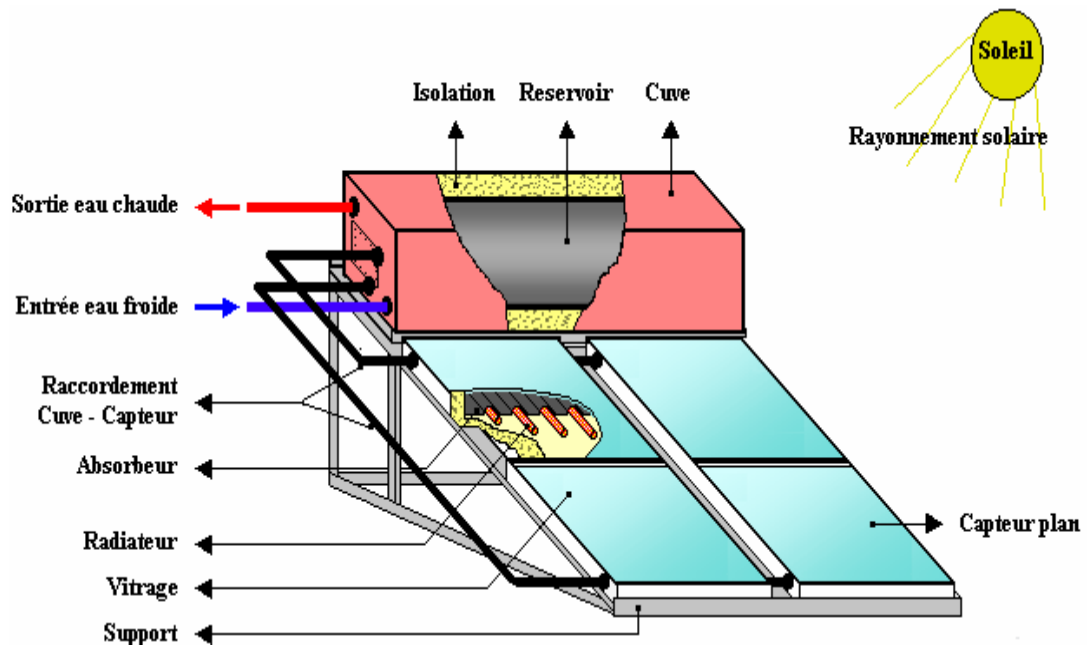


Figure 1.1 :Le chauffe eau solaire individuel

### 1. 2. 1. Le capteur solaire plan

Le capteur plan sert à la production de la chaleur à partir de l'énergie solaire.

Les températures obtenues peuvent atteindre 70°C.

Il est composé comme le montre la figure (1.2), des éléments suivants [3] :

- Un boîtier;
- Une couverture transparente;
- Un absorbeur;
- Une isolation arrière et latérale.

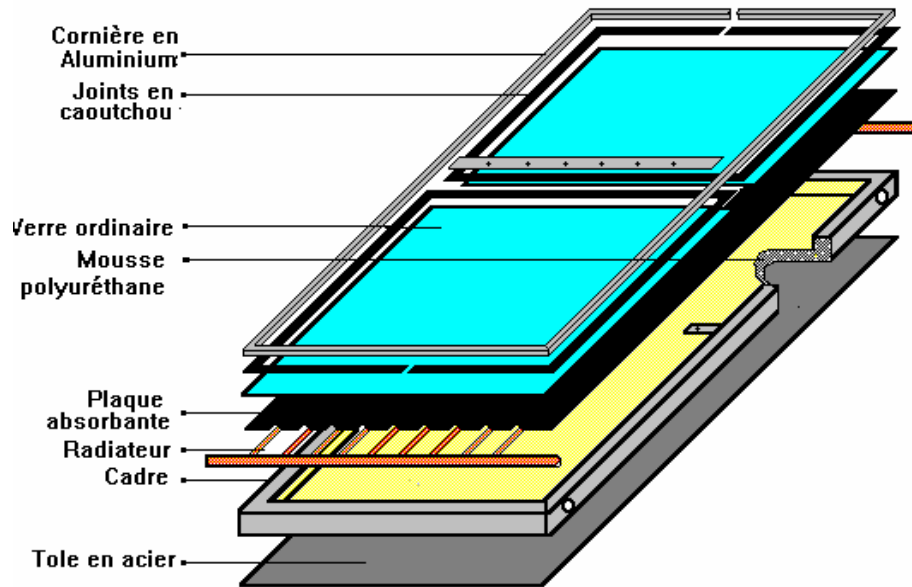


Figure 1.2 : Le capteur plan

Le boîtier constitue l'enveloppe arrière et latérale du capteur, ses fonctions sont multiples: la cohésion de l'ensemble, la protection mécanique, la fixation et l'étanchéité. Il peut être métallique (Aluminium, acier), en plastique ou en bois [4]. La couverture transparente a un rôle double [5] : assurer l'étanchéité du capteur à l'eau ou à l'air et provoquer l'effet de serre tout en réduisant les pertes par convection, ce qui permet d'améliorer le rendement du capteur. Elle est généralement en verre.

L'absorbeur a pour rôle de recevoir le rayonnement solaire, de le transformer en chaleur et de transmettre celle-ci au fluide caloporteur. Il existe différents modèles d'absorbeurs. Les plus classiques sont les suivants [6] :

- Deux plaques métalliques (aluminium, acier galvanisé), distantes de quelques dixièmes de millimètres, entre lesquelles circule le fluide caloporteur.
- Plaque métallique, faisant fonction d'absorbeur, sur laquelle sont soudés ou sertis des tubes (cuivre, acier galvanisé) dans lesquels circule le fluide caloporteur.

L'absorbeur est protégé contre les pertes thermiques par une isolation arrière et latérale. L'isolant est généralement constitué de 5 à 10 cm de laine de verre ou par des mousses expansives (polyuréthane, polystyrène).



### 1. 2. 2. La cuve de stockage

Un stockage thermique tampon entre la captation et l'utilisation de la chaleur solaire est assuré. Le liquide le plus couramment utilisé dans le chauffe-eau solaire et contenu dans la cuve est généralement de l'eau qui est chauffée directement ou par des le circuit de captation.

La cuve de stockage est en tôle, peinte extérieurement contre la corrosion et revêtue intérieurement avec la galvanisation. Sur l'un des fonds bombés apparaissent les tubes assurant les liaisons suivantes [4] comme le montre la figure (1.3) :

- Réseau- cuve (alimentation en eau froide)
- Cuve- capteur (sortie eau froide vers capteur)
- Capteur- cuve (retour eau chaude vers cuve)
- Cuve- utilisation (eau chaude vers utilisation)

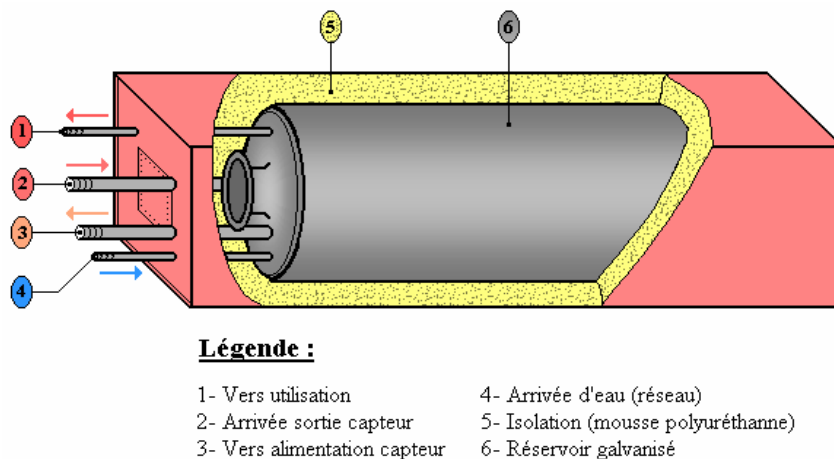


Figure1.3 : Cuve de stockage (chauffage individuel)

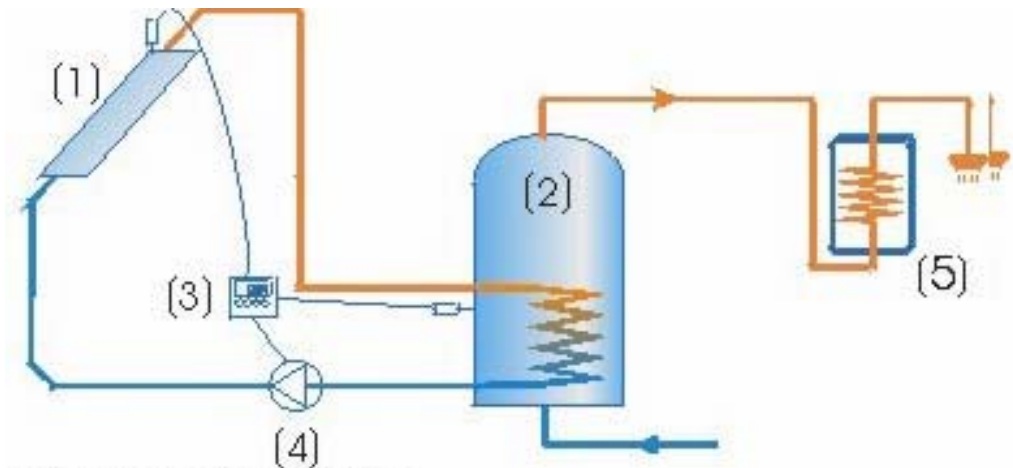
A l'intérieur du carénage en tôle de zinc est plongé la cuve. De la mousse polyuréthane à l'état liquide est injectée entre le carénage et la cuve afin de minimiser les pertes thermiques. Un clapet anti-retour est placé à l'entrée de l'eau froide pour éviter le retour de l'eau.

### 1.3. Les composants d'une installation de chauffage d'eau collective

Les installations d'eau chaude solaires sanitaires comprennent à peu près les mêmes composants que le chauffe eau précédant comme le montre la figure

(1.4) [6] :

- Un sous-ensemble captage;
- Un sous-ensemble de transfert d'énergies;
- Un sous-ensemble de stockage;
- Un sous-ensemble d'appoint;
- Un sous-ensemble de distribution.



*Schéma du chauffe-eau solaire :*

1. Capteur solaire
2. Réservoir de stockage
3. Circulateur ou pompe
4. Régulation thermique
5. Chauffage d'appoint

Figure 1.4 : Installation de chauffage d'eau collective

A noter que dans le chauffage d'eau individuel (capacité  $\leq 200$  litre), le puisage de l'eau se fait directement dans le ballon de stockage, alors que dans les installations collectives (capacités  $> 400$  litres) avec échangeur de chaleur dans la cuve de stockage, le circuit du fluide caloporteur est totalement isolé du circuit

d'eau chaude destinée à l'utilisation. Le transfert d'énergie se fait par le circuit du fluide caloporteur dans l'échangeur de chaleur.

### 1.3.1. Système de captage

Le montage des capteurs peut se faire de plusieurs manières comme le montre la figure (1.5). Pour le même nombre de capteurs, le rendement et la température de sortie sont différents selon que les éléments sont liés en parallèle ou en série.

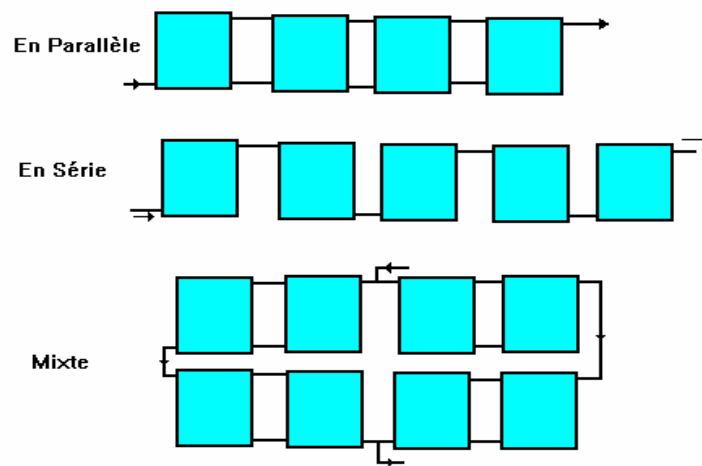


Figure 1.5 : Disposition des capteurs

### 1.3.2. Circuit de transfert d'énergie

Les capteurs solaires plans sont directement reliés à un échangeur de chaleur immergé dans la cuve de stockage. On introduit les échangeurs de chaleur dans une installation solaire lorsqu'on veut rendre deux circuits indépendants. Il peut être à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve de stockage.

Pratiquement, il y a quatre types de fluides caloporteurs différents [3,4] :

1. l'eau naturelle;
2. l'eau mélangée a de l'antigel pour les pays froids;
3. liquides organiques de synthèse ou issus du pétrole ;
4. huiles silicones.

Le circulateur est une pompe qui constitue l'organe de commande qui doit assurer un débit de 70 l/h par mètre carré, un système de régulation commande cette pompe et la met en marche dès que l'eau des capteurs atteint une température supérieure à celle du stockage [3,4,7].

Dans les installations solaires, les apports d'énergie sont aléatoires et très irréguliers. En hiver, un capteur qui apporte de l'énergie au système lorsque le rayonnement qu'il reçoit est suffisant, devient au contraire un excellent radiateur dès que ce rayonnement descend en dessous d'un seuil, en fonction de la température du fluide qui le parcourt. Suivant les conditions météorologiques, un capteur peut donc réchauffer ou refroidir le liquide qui le traverse. L'une des fonctions importantes de la régulation est d'assurer ou d'arrêter la circulation de ce fluide et l'énergie reçue par le capteur [3,4,7].

Toute installation doit avoir un vase d'expansion, permettant d'absorber les différences de dilatation entre le circuit de fluide caloporteur et le fluide lui-même [3,4,7]. Le purgeur est placé dans la partie haute de l'installation, et a pour fonction d'évacuer les gaz qui se dégagent du liquide caloporteur sous l'action de la chaleur [3,4,7]. Les conduites en cuivre ou en acier galvanisé sont les plus utilisées. L'importance dans la tuyauterie est la conservation d'un débit correct dans les capteurs et, par conséquent, d'éviter des pertes de charges excessives dans le réseau [3,4,7].

### 1.3.2. Le système de stockage

Le stock thermique tampon entre captage et l'utilisation de la chaleur solaire est indispensable. La réception du rayonnement solaire est irrégulière et aléatoire. Il faut prendre l'énergie lorsqu'elle est disponible, puis l'utiliser au mieux. Ceci est assuré par le volume de stockage qui joue le rôle de régulateur par son inertie thermique. L'isolation thermique comme le montre la figure (1.6) est importante afin justement de conserver l'énergie absorbée pendant les phases où l'ensoleillement est insuffisant.

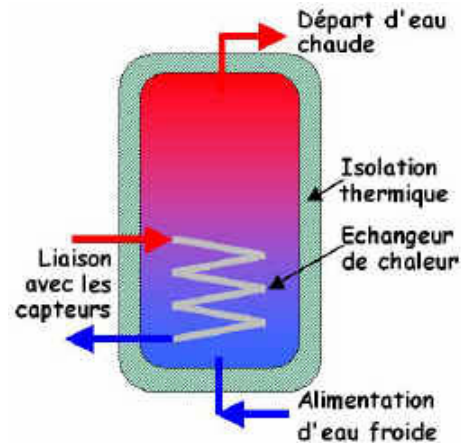


Figure 1.6 : Cuve de stockage (chauffage collectif)

### 1.3.3. Le système d'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 solaire 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 auxiliaire ou cuve appoint. Ainsi, en tout temps, l'appoint permet de garantir une eau à la température voulue, quelque soit l'ensoleillement et la quantité d'eau chaude consommée. Cependant l'isolation de la cuve de stockage est importante pour minimiser le recours à l'appoint. La source d'énergie d'appoint peut être le gaz, l'électricité, le mazout ou autre, selon le besoin et la disponibilité [13].

## 1.4 .Principe et fonctionnement du chauffe eau solaire

### 1.4.1. Fonctionnement

Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire est simple, il consiste en un transfert de l'énergie solaire absorbée par les capteurs (Chaleur) vers un système de stockage (Ballon). Ce transfert est exécuté au moyen d'un liquide caloporteur. Le liquide caloporteur doit se déplacer du capteur solaire (ou il se charge en chaleur) vers le ballon (ou il échange sa chaleur, pour réchauffer l'eau froide contenue dans celui-ci) L'eau refroidie retournant au capteur ou à nouveau elle sera réchauffée par le rayonnement solaire [7,8].

### 1.4.2 .Principe

On a affaire au processus dit de l'effet de serre. Les rayons du soleil (d'une longueur d'onde visible,  $\sim 0,5$  & micros ; m) traversent la couverture transparente supérieure, en verre ou en plastique, puis frappe l'absorbeur. Celui-ci étant noir, il absorbe la majeure partie de la lumière reçue et par conséquent il se chauffe. En physique, tout corps chaud émet du rayonnement.

Aux températures usuelles, celui-ci se trouve dans le domaine de l'infrarouge ( $\sim 9$  & micros ; m). A cette longueur d'onde, le verre est parfaitement opaque et réfléchit donc tout cet infrarouge. La chaleur reste donc prisonnière du capteur. Un liquide caloporteur circule dans un tuyau dans le capteur et conduit la chaleur emprisonnée vers le consommateur [7,8].

### 1.5. Calcul des performances du chauffe-eau solaire

#### 1.5.1. Performances à court terme

Pour le calcul des performances à court terme, on calcul le rendement du chauffe eau solaire. Le rendement journalier du chauffe eau solaire ( sans soutirage) est défini par le rapport entre l'énergie journalière récupérée par le système et l'énergie totale incidente sur la surface de captation [9]:

$$\eta_j = \frac{M_c C_{pe} (T_{CF} - T_{CI})}{A_c \int_{T_1}^{T_2} G_t dt} \quad (1-1)$$

avec :

$M_c$  : la masse d'eau contenue dans la cuve.

$C_{pe}$  : la masse volumique de l'eau.

$G_t$  : rayonnement global.

$T_{CF}$  et  $T_{CI}$  : températures finale et initiale respectivement de l'eau dans la cuve de stockage.

$t_1$  et  $t_2$  : instants de début et de fin de fonctionnement du chauffe eau solaire dans la journée.

Dans ce cas les différentes températures initiale et finale et le rayonnement global sont soit déduits expérimentalement soit par la modélisation du capteur solaire.

### 1.5.2. Performances à long terme

Pour le calcul des performances à long terme ce qui est demandé dans ce travail, nous avons utilisé la méthode F-CHART.

#### A- La méthode F-Chart

La méthode est une corrélation des résultats de plusieurs centaines d'exécutions de simulations thermiques de systèmes de chauffage solaire. elle permet d'estimer la fraction pour la durée de calcul désirée d'une charge de chauffe totale qui sera fournie par énergie solaire pour un système de chauffage solaire donné.

La variable de conception primaire dans cette méthode est la surface du capteur ; les variables secondaires sont le type du capteur, la capacité de stockage, le débit du fluide, et les tailles de la charge et l'échangeur de chaleur.

Les résultats sont donnés sous forme de corrélations donnant  $f$ , la fraction de la charge thermique pour la durée de calcul désirée (pour le chauffage d'espace et l'eau chaude) fournie par énergie solaires en fonction de deux paramètres adimensionnels  $X$  et  $Y$ . Ces corrélations sont présentées soit sous forme d'abaques ou d'équations.

L'un est lié au rapport des pertes du capteur aux charges thermiques, et l'autre est lié au rapport du rayonnement solaire absorbé aux charges thermiques [10,11].

$X$  : représente les pertes thermiques pour une durée de calcul désirée d'un capteur porté à une température de référence (100°C), normalisées par les besoins moyens journaliers [11] :

$$X = \frac{A_C F_R U_L}{L} (100 - T_a) \Delta T \quad (1-2)$$

$Y$ : représente l'énergie absorbée en moyenne par jour, normalisée par rapport aux besoins moyens journaliers [11].

$$Y = \frac{A_C F_R (\tau \alpha)}{L} H_T N \quad (1-3)$$

Avec :

$$L = mass N_m C_p N (T_{des} - T_{res}) \quad (1-4)$$

Dans notre cas la durée de calcul désirée est mensuelle.

$U_L$  : Coefficient des pertes globales

$\Delta T$  : Nombre total de secondes dans le mois

$T_a$  : Température mensuelle moyenne ambiante

$T_{DES}$  : Température désirée d'utilisation

$T_{RES}$  : Température de réseau

$L$  : Besoins mensuels en eau chaude

$H_T$  : Irradiation incidente mensuelle

$N$  : Nombre de jours dans le mois

$N_m$  : nombre du mois

$(\tau\alpha)$  : Facteur de transmittance- absorbance mensuel

Mass: Besoins journaliers en eau chaude

$C_p$  : Chaleur massique de l'eau

$F_r$  : Facteur de conductance

$A_c$  : Surface du capteur

Connaissant  $X$  et  $Y$  pour chaque mois,  $F$  est donnée par une fonction polynomiale [10,11]

$$F = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3 \quad (1-5)$$

pour :

- Pour une capacité standard de stockage de 75 litres/ m<sup>2</sup> de capteur.
- $0 < X < 18$  et  $0 < Y < 3$ .
- Le type de système représenté par la figure (1.7)



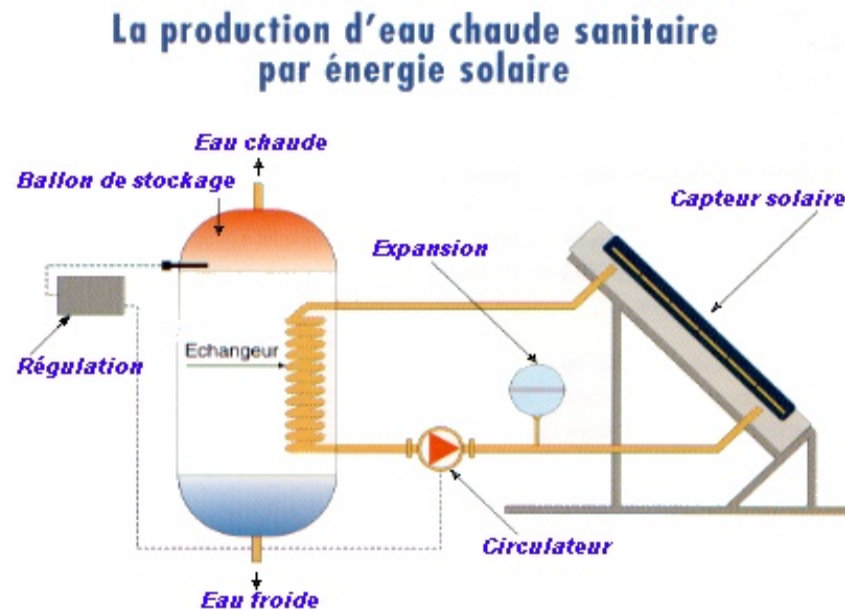


Figure 1.7 : Installation de chauffage d'eau (sans appoint)

#### B- Les corrections apportées à F pour un système d'eau chaude sanitaire

Pour les systèmes avec un dispositif d'appoint comme le montre la figure (1.8), il est nécessaire d'apporter des corrections à l'équation (1-5), en définissant un facteur adimensionnel de correction supplémentaire sur  $X$ . Les principales températures  $T_{RES}$  et la température minimum acceptée  $T_{DES}$  affectent toutes deux le rendement des systèmes de chauffage d'eau solaire.

Le groupe adimensionnel  $X$ , qui est lié aux pertes d'énergie du capteur peut être ainsi corrigé pour inclure ces effets [11].

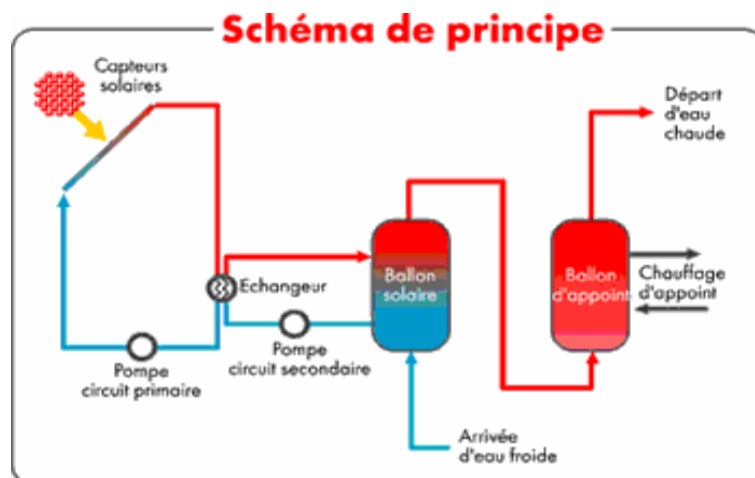


Figure 1.8 : Installation de chauffage d'eau avec système d'appoint

Si les valeurs mensuelles de X sont multipliées par un facteur  $X_c/X$  de correction de chauffage d'eau dans l'équation (1-2), le F\_Chart pour les systèmes solaires de chauffage d'espace et d'eau à base de fluide ( équation (1-5)) peut être utilisé pour évaluer les valeurs mensuelles de f pour les systèmes de chauffage d'eau.

Toutes les températures sont en degrés celcius [11] :

$$\frac{x_c}{x} = \frac{11.6 + 1.18 T_{DES} + 3.86 T_{RES} - 2.32 T_a}{100 - T_a} \quad (1-6)$$

L'équation (1-5) est valable pour une capacité de stockage de 75 l/m<sup>2</sup> de capteur . Une correction doit être apportée donc sur cette équation si ce paramètre est changé.

Sachant que plus la capacité de stockage est importante, meilleur est le rendement global de l'installation, et constatant que les rendements chutent rapidement au-dessous de 75 l /m<sup>2</sup> et ne croissent pratiquement pas au-delà de 100 l/ m<sup>2</sup>, on choisit la valeur Cap qui est défini comme étant le rapport entre la capacité de l'eau à chauffer par la surface totale de capteur, dans l'intervalle [75 l/m<sup>2</sup>-100 l/m<sup>2</sup>] [17 ].

Pour l'Algérie qui est un pays assez chaud, on prend une valeur intermédiaire dans nos calculs qui est  $Cap_{act}=85$  l/m<sup>2</sup>. [ 8,17]

Et on introduit donc un autre facteur de correction sur X [11] :

$$\frac{X_C}{X} = \left( \frac{Cap_{actuelle}}{Cap_{s\ tan\ tard}} \right)^{-0,25} \quad (1-7)$$

Le facteur de correction de chauffage d'eau est basé sur l'hypothèse d'un réservoir de préchauffe bien isolé et les pertes du réservoir auxiliaire ne sont pas incluses dans les corrélations de F- Chart.

Dans le calcul de L donné dans l'équation (1-4),on tient compte de l'apport de l'appoint car  $T_{DES}$  représente la température de sortie de la cuve auxiliaire(appoint) [11].

## CHAPITRE 2

### OPTIMISATION DE LA SURFACE DE CAPTATION

#### 2.1. Introduction

Lorsqu'un besoin est clairement défini, il est toujours possible de lui donner la forme mathématique d'un problème d'optimisation. La forme mathématique consiste à définir une fonction objectif et des contraintes. Dans un problème d'optimisation bien posé, la fonction objectif doit être unique[25].

Pour pouvoir faire l'objet d'une étude rigoureuse, l'objectif doit se présenter sous la forme d'une grandeur réelle dont on cherche à extrêmer la valeur. Lorsque le calcul de cette grandeur inclut un calcul économique, La fonction coût (que l'on cherche alors à minimiser) peut représenter une telle fonction objectif. Elle peut inclure les dépenses (ou les économies) prévisibles pendant la durée de vie du dispositif. Ces dépenses doivent être actualisées en utilisant un modèle économique. En principe, on doit tenir compte de l'inflation par l'intermédiaire du taux d'intérêt corrigé. Cet aspect est souvent omis par ceux qui veulent promouvoir les économies d'énergie ou l'utilisation des énergies renouvelables[26].

Malheureusement dans notre étude nous ne prendrons pas en compte l'inflation car ceci est impossible actuellement du fait de l'instabilité économique qui caractérise notre pays.

#### 2.2. Objet de l'optimisation

Le souci le plus important dans la conception des systèmes de chauffage solaire/appoint est la surface de captation. La surface de captation représente financièrement la plus grande partie de l'investissement d'une installation de chauffage. C'est pour cela que nous optimisons la surface de captation. Une étude menée pour le compte de l'office fédéral de l'énergie OFEN, programme d'action d'Énergie 2000, programme d'action « énergie suisse », sur les installations solaires affirme ce qui précède.

La figure (2.1) représente la répartition des coûts pour les installations solaires, on voit clairement que les capteurs représentent un bon tiers de l'investissement solaire (y compris le montage, les travaux effectués). Le stockage solaire représente environ un cinquième des coûts. On entend par armatures la tuyauterie, appareils et réglage de l'installation : les frais se montent à environ 30% de l'investissement total. Les autres frais comprennent les frais et les travaux accessoires, le coût de la partie électrique d'une installation et enfin les frais de planification du projet.

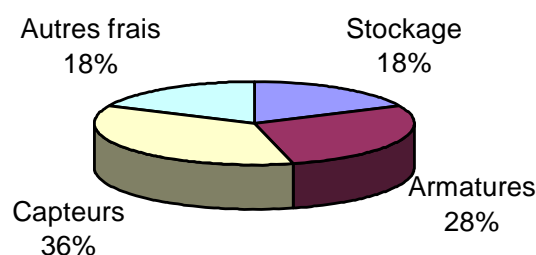


Figure 2.1 : Structure des coûts pour les installations solaires usuelles (Valeurs moyennes)

### 2.3. Les méthodes d'optimisation des surfaces de captation

Un certain nombre de chercheurs ont présenté des méthodes pour calculer la surface optimale du capteur.

Certaines de ces méthodes sont itératives et donc pénibles, comme l'approche bien connue de Stickford, tandis que d'autres méthodes sont faciles à employer mais sont dépendantes du site. D'autres méthodes souvent utilisées sont les méthodes empiriques. Les méthodes restantes sont caractérisées par la négligence de certains paramètres en général ce qui fausse l'exactitude des résultats [13,14]

Ces méthodes empiriques sont :

- Approche de Duffie Beckman- Dekker
- Approche de Barley-Byron
- Approche de Chang - Minardi

### 2.3.1. Approche de Duffie Beckman- Dekker

Cette méthode se sert de l'approche bien connue de Duffie beckman- Dekker [14,15], donnée par les gains annuels :

$$gains = C_F F L - I(C_C A_C + C_T A_C + C_F) \quad (2-1)$$

$$LCS = \frac{C_F F L}{(r - e)} \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1+r} \right)^N \right] - [(C_C + C_T) A_C + M] - \frac{m}{(r - i_1)} \left[ 1 - \left( \frac{1+i_1}{1+r} \right)^N \right] [(C_C + C_T) A_C + M] \quad (2-2)$$

Les gains annuels actualisés pour le système sont :

$$GAINS_H = I LCS \quad (2-3)$$

Avec :

$$I = \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} \quad (2-4)$$

$A_c$  : surface du capteur

$C_C$  : coût du capteur par unité de surface

$C_T$  : coût de la cuve de stockage par unité de volume

$C_\gamma$  : coût des éléments reliés directement au capteur

$C_F$  : le coût par unité de l'énergie électrique

$M$  : les autres coûts indépendants de la surface de captation

$e$  : le taux d'inflation du coût de l'énergie d'appoint

$i_1$  : le taux d'inflation du coût des marchandises et services

$N$  : durée de vie du système

$m$  : maintenance annuelle, assurance et taxes du système solaire

$r$  : le taux d'inflation du marché au début de la durée de vie

$i$  : le taux d'intérêt annuel

$L$  : la charge annuelle du chauffage solaire

### 2.3.2. Approche de Barley-Byron

Cette méthode est basée sur une relation empirique entre  $F$  et la surface relative du capteur qui est définie comme le rapport de 1 avec  $A_0$  étant la surface du capteur correspondant à une valeur de  $F$  de 0.5 [14,19,22].

$$F = C_1 + C_2 \ln\left(\frac{A_C}{A_0}\right) \quad (2-5)$$

Où  $C_1$  et  $C_2$  sont des constantes du système.

Les dépenses de chauffage pendant la durée de vie du système peuvent être exprimées comme :

$$C_T = [(C_C + C_T)A_C + C_E] E_1 + A_C C_0 E_2 + C_M E_3 + (1 - F)LC_F E_4 \quad (2-6)$$

Où les facteurs  $E$  convertissant les «cash flow» en valeur actuelles sont donnés (voir appendiceE).

En minimisant le coût total du système on obtient la surface optimale  $A$ ;

$$A_{OP} = \frac{C_2 LC_F E_4}{[(C_C + C_T)E_1 + C_\gamma E_2]} \quad (2-7)$$

Avec :

- $C_C$  : coût du capteur par unité de surface
- $C_T$  : coût de la cuve de stockage par unité de volume
- $C_\gamma$  : coût des éléments reliés directement au capteur
- $C_F$  : le coût par unité de l'énergie électrique
- $L$  : la charge annuelle du chauffage solaire

### 2.3.3. Approche de Chang - Minardi

La méthode décrite ci dessous permet de calculer le coût total minimal d'une installation solaire de chauffage d'eau composé par les systèmes suivants :

- Système de captation ;
- Système de stockage ;
- Système d'appoint.

Le coût annuel d'une installation d'un système solaire est donné par l'expression suivante [15],[12] (le coût de la cuve de stockage est rapporté à la surface de captation) :

$$C_{TOTAL} = (C_C A_C + C_T b A_C + C_\gamma A_C) I + Q_{aux} C_F + M \quad (2-8)$$

$$I = \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} \quad (2-9)$$

Avec :

$A_C$  : Surface du capteur

$C_C$  : coût du capteur par unité de surface

$C_T$  : coût de la cuve de stockage par unité de volume

$C_\gamma$  : coût des éléments reliés directement au capteur

$C_F$  : le coût par unité de l'énergie électrique

$M$  : les autres coûts indépendants de la surface de captation

$i$  : le taux d'intérêt annuel

$n$  : le nombre d'années de paiement

Le critère d'optimisation est la minimisation du coût total. Donc la surface optimum peut être déterminée en résolvant l'équation suivante [12,15,16] :

$$\frac{dC_{TOTAL}}{dA_C} = 0 \quad (2-10)$$

Dans l'équation (2-8),  $Q_{aux}$  qui représente l'énergie du système d'appoint dépend aussi de  $A_C$  (surface de captation). on doit donc trouver une expression de cette relation.

#### 2.4. Détermination de la surface de captation

L'énergie du système d'appoint est donnée par l'expression suivante [16] :

$$Q_{aux} = (1-F).L \quad (2-11)$$

Pour trouver une relation entre l'énergie consommée par le système d'appoint ( $Q_{aux}$ ) et la surface de captation, nous avons calculé la fraction solaire F pour différentes surfaces de captation.  $Q_{aux}$  évolue selon une loi exponentielle[12].

$$Q_{aux} = Q_m \exp(-\lambda A_C) \quad (2-12)$$

d'où :

$$\lambda = \frac{-1}{Q_{aux}} \frac{dQ_{aux}}{dA_C} \quad (2-13)$$

Les paramètres  $\lambda$  et  $Q_m$  sont les caractéristiques du système d'appoint. Ils interviennent dans l'approximation de  $Q_{aux}$  par la relation (2-12). En fait  $Q_{aux}$  est donné par la relation (2-11) en fonction de F et L qui dépendent de la température désirée  $T_{DES}$  et de la masse à chauffer.

Un exemple des résultats est donné dans la figure (2.2), pour  $T_{DES} = 60^\circ\text{C}$  et une masse à chauffer de 1000 litres.

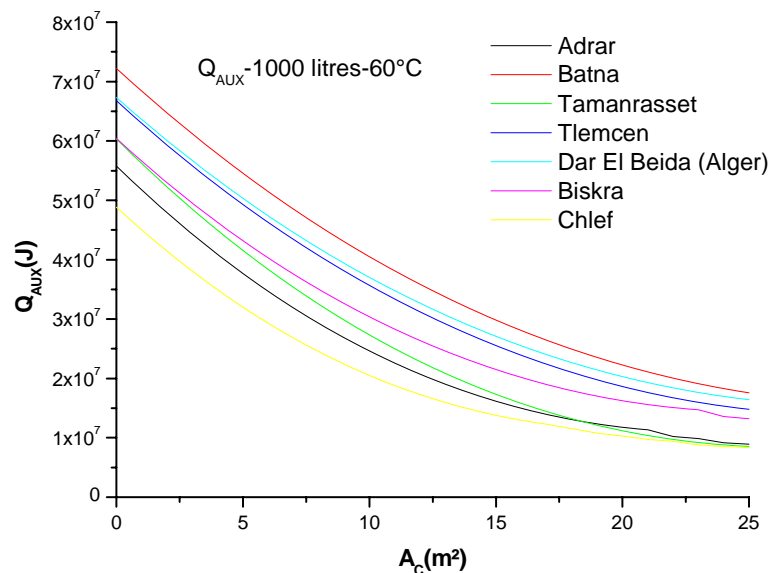


Figure 2.2 : Evolution de  $Q_{AUX}$  en fonction de la surface de captation  
Pour toutes les zones climatiques



Le rapport direct entre  $Q_{aux}$  et  $A_C$  nous permet de déterminer  $A_{OP}$  en remplaçant l'équation

(2-12) dans l'équation (2-8), il en résulte :

$$C_{TOTAL} = (C_C A_C + C_T b A_C + C\gamma A_C)I + [Q_m \exp(-\lambda A_C)]C_F + M \quad (2-14)$$

La surface optimale  $A_P$  est la solution de l'équation  $\frac{dC_{TOTAL}}{dA_C} = 0$ , ceci

donne :

$$A_{OP} = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{Q_m C_F \lambda}{(C_C + b C_T + C\gamma)I} \right] \quad (2-15)$$

Où  $A_{OP}$  est la surface optimum du capteur. Les deux paramètres et les facteurs économiques influent sur la valeur de  $A_{OP}$ .

On peut écrire l'équation (2-15) comme suit [12,17,15] :

$$A_{OP} = \frac{1}{\lambda} \ln \gamma \quad \text{avec} \quad \gamma = \frac{Q_m C_F \lambda}{(C_C + b C_T + C\gamma)I} \quad (2-16)$$

$\gamma$  est appelé critère de faisabilité économique,  $\gamma > 1$ .

Remarque : Nous avons choisi l'approche de Chang et Minardi car tous les facteurs et paramètres intervenant dans les équations sont disponibles pour une application pour l'Algérie. Ce n'est pas le cas pour les deux autres approches, qui utilisent surtout des facteurs et des taux qui ne peuvent être calculés vu l'instabilité économique de notre pays.

## CHAPITRE 3

### PARAMETRES INFLUANT SUR LA SURFACE DE CAPTATION

#### 3.1. Introduction

Il existe divers paramètres intervenant dans le calcul de la surface optimale de captation comme le montre l'équation (2-16). Nous allons nous intéresser à étudier leur influence sur celle ci dans le chapitre 4.

Nous procéderons dans ce chapitre à la définition de ces paramètres.

#### 3.2. Les paramètres influant sur la surface de captation

##### 3.2.1. Le site géographique

La surface optimale dépend de la fraction solaire F qui dépend à son tour des conditions climatiques. Pour une étude rigoureuse, nous avons traité toutes les zones climatiques du territoire national. Pour cela nous avons utilisé le zonage hivernal de Borel [24].

Borel définit pour l'Algérie les zones suivantes, comme le montre la figure (3.1) :

- 4 zones climatiques dont une sous zone au nord.
- 3 zones climatiques au sud.

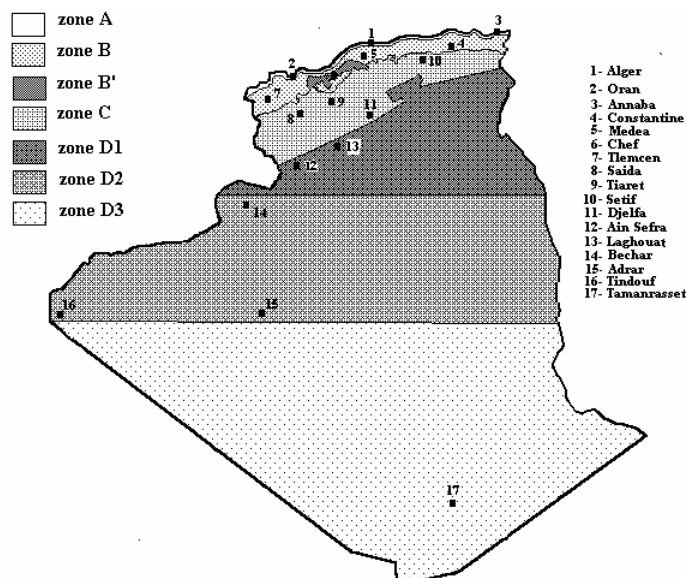


Figure 3.1 : Les zones climatiques en Algérie

On distinguera dans ces zones les sites d'altitude inférieure à 500 m, compris entre 500 et 1000 m et supérieur à 1000 m, étant donné l'influence de l'altitude sur les températures.

La zone A : Elle comprend le rivage de la mer. Celle-ci portera son influence jusqu'au sommet de la chaîne côtière à condition qu'elle ne soit pas trop loin du rivage. Le climat en été est assez variable avec des journées beaucoup plus chaudes que d'autres.

	Régions < 500 m	Régions > 500 m
Hiver	Très doux et court	Nettement plus froid et plus long que dans la plaine (influence de l'altitude) mais reste modéré ?
Eté	Chaud et humide	<b>1<sup>er</sup> cas : 500 m &lt; A &lt; 1000 m</b> L'été est chaud et assez humide, avec des températures maximales quotidiennes peu différentes de la plaine. <b>2<sup>ème</sup> cas : A &gt; 1000 m</b> L'été est agréable.
Ecart diurne	Relativement faible (été et hiver). Les jours de forte chaleur, il est supérieur à la moyenne 9°C.	Peu différent de la plaine, càd relativement faible. Il existe cependant des jours de forte chaleur.

La zone B : Elle comprend la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînes Côtières et l'Atlas Tellien, autre que celle de Chlef. Dans cette zone, l'influence régulatrice de la mer est encore nettement ressentie. Le climat, en été, est aussi variable qu'en zone A.

	Régions < 500 m	Régions > 500 m
Eté	Plus chaud et moins humide que sur le littoral	Plus chaud et moins humide qu'en zone A.
Hiver	Moins doux et plus long que sur le littoral.	L'hiver, pour les régions de même altitude est le même qu'en zone A.
Ecart diurne	Plus important que sur le littoral. Quelle que soit l'altitude, il est moyen (= 15°) en été. Il augmente les jours de forte chaleur.	

La zone B' : Elle comprend la vallée de Chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouassenis et les montagnes du Dara et des Braz à une longueur de 200 km et une largeur entre 10 et 60 km. l'influence de la mer y est très atténuée par les montagnes formant écran. Le climat est aussi variable qu'en zone B.

Hiver	Extrêmement chaud et pénible avec des températures maximales analogues au Sahara.
Eté	Moins doux qu'en zone B mais aussi long.
Ecart diurne	En Eté, les écarts diurnes sont forts ( $18^{\circ}$ ) et indépendants de la température.

La zone C : Elle comprend les hauts plateaux entre l'Atlas Saharien et l'Atlas Tellien, les régions sont supérieures à 500 m d'altitude, l'influence maritime y est très faible. Le climat est moins variable qu'en zone B ou A.

Eté	Moins doux et plus long (à même altitude) qu'en zone A et B. Si $C > 1000$ m il est plus froid sans être rigoureux.
Hiver	Plus chaud, mais moins humide qu'en zone B. A égalité d'altitude, l'impression de chaleur y est la même (température effective : $26$ à $27^{\circ}$ )
Ecart diurne	En été il est fort ( $18,5^{\circ}$ à $20^{\circ}$ ). il dépend peu de la température.

La zone D<sub>1</sub> : Elle comprend le Sahara au-delà de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°. Cependant, ce schéma reste valable pour les zones D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub> avec une tendance à des hivers plus froids (D<sub>3</sub> plus que D<sub>2</sub>) et des étés plus chauds (D<sub>2</sub> plus que D<sub>3</sub> où l'altitude est plus élevée). Le climat est peu variable, les journées sont aussi chaudes les unes que les autres.

	<b>Régions &lt; 500 m</b>	<b>Régions &gt; 500 m</b>
Hiver	La pointe de l'hiver (janvier) est la même qu'en zone B'.	La pointe de l'hiver (à égalité d'altitude) est la même qu'en zone C.
Été	Très chaud et extrêmement pénible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500 m &lt; D<sub>1</sub> &lt; 1000 m. L'été est encore chaud et pénible.</li> <li>• D<sub>1</sub> &gt; 1000 m. Plus on s'élève en altitude, moins il est pénible.</li> </ul>
Ecart diurne	Si D ≤ 1000 m : il est fort (18 à 20° C ) Si D > 1000 m : il est moyen (16° C ) Dans les oasis, il diminue.	

### 3. 2.2. L'influence de la température de distribution de l'eau

Le choix de la température désirée T<sub>DES</sub> dépend de l'utilisateur et de ses besoins, pour un industriel il est évident que T<sub>DES</sub> sera élevée, par contre pour les besoins domestiques elle dépendra des habitudes du consommateur, mais comme il faudrait la mélanger à l'eau froide au niveau des appareils sanitaires pour obtenir une température adéquate à l'utilisation, il est inutile d'avoir des T<sub>DES</sub> très élevées. Dans ce cas le choix d'une température désirée de 60°C est raisonnable [21].

Néanmoins, nous avons fait varier la température de distribution désirée dans le chapitre suivant pour étudier son influence sur la surface optimale de captation.

### 3.2.3. La masse à chauffer

Plusieurs études faites de par le monde montre qu'une installation de chauffage d'eau collective est beaucoup plus rentable qu'un chauffe eau individuel, une étude menée pour le compte fédéral de l'énergie OFEN[1], programme d'action d'Énergie 2000, programme d'action « énergie suisse », affirme que l'investissement solaire par m<sup>2</sup> varie en fonction de la taille de l'installation : plus

l'installation est grande, plus les coûts par  $m^2$  seront plus bas. Un petit système peu coûteux s'élèvera au double par  $m^2$  par rapport à une installation de plus de 60  $m^2$ . La définition de la masse à chauffer (masse) dépend aussi des habitudes du consommateur et de ses besoins, la quantité d'eau à chauffer par jour variera d'une personne à une autre et dépendra aussi de la taille des ménages.

#### 3.2.4. Le coût du capteur

La surface de captation représente la plus grande partie dans l'investissement d'une installation solaire, les matériaux intervenant dans la construction d'un capteur sont nobles et donc chers, pour les tubes et les conduites par exemple on utilise le cuivre. Le coût du capteur  $C_C$  est un paramètre qui intervient dans le calcul de la surface optimale de captation, nous le faisant varier dans le chapitre suivant pour voir son influence sur la surface optimale de captation. sachant que le coût actuel d'un capteur par  $m^2$  est de 6000 DA/ $m^2$  de capteur, ce chiffre nous a été communiqué par l'UDES Unité des Equipements de Développement Solaires pour un capteur de production nationale et coûte beaucoup plus cher chez « Technosolar » par exemple qui les importent de l'étranger.

Le tableau (3.1) représente les caractéristiques d'un capteur solaire plan de fabrication nationale.

Tableau 3.1 : Caractéristiques d'un capteur plan de production nationale

Eléments	Dimensions et caractéristiques	Matériaux
Bac	Longueur : 1930 (mm) Largeur : 930 (mm) Epaisseur : 70 (mm)	Acier
Couverture	Epaisseur : 4 (mm) Transmissivité : 0,8 Emissivité : 0,88 $N_{\text{VERRE}}$ : 1,52 $K_X$ : 0,03 mm <sup>-1</sup>	Verre ordinaire
Absorbeur	Longueur : 820 (mm) Largeur : 565 (mm) Epaisseur : 6/10 (mm) Absorptivité : 0,95 $K_{\text{Aluminium}} = 200 \text{ w/m}^{\circ}\text{k}$	Aluminium
Isolant	Epaisseur arr. : 40 (mm) Epaisseur ava : 40 (mm) $K_{\text{ISOLANT}} = 0,041 \text{ w/m}^{\circ}\text{k}$	Laine de verre
Tubes (9)	Diamètre ext : 14 (mm) Diamètre int : 12 (mm) Longueur : 1850 (mm) Largeur : 850 (mm) Distance entre 2 tubes w :  W = 90 mm	Cuivre

### 3.2.5. Le coût du système d'appoint

Le coût du système d'appoint  $C_F$  est un paramètre qui intervient dans le calcul de la surface optimale, son coût actuel est de 3,611 DA/KWH (  $8.3 \cdot 10^{-4}$  DA/ KJ) et reste trop bas. Ce prix bas rentre dans le cadre de la politique énergétique mise en place en 1968. Cependant cette démarche a montré ses limites par des effets négatifs sur l'économie : déficits importants des opérateurs intervenants dans les activités de production et de commercialisation, subventions déguisées à travers les prix favorisant le gaspillage. En plus, cette politique a été l'une des causes principales de l'insuffisance du développement des énergies renouvelables en Algérie. Celles-ci reviennent plus chères [1].

Afin de mettre fin aux distorsions qu'a entraîné ce système, le ministère de l'énergie a élaboré fin 1990 un rapport relatif à la tarification des produits énergétiques basé sur le principe de vérité des prix. Ce rapport rentre dans le cadre

de l'adaptation progressive de l'économie nationale aux conditions de prix pratiqués sur le marché international.

Dans le chapitre suivant nous allons doubler puis tripler le coût de l'énergie d'appoint pour voir l'influence de celle ci sur la surface optimale de captation. On notera que pour le gaz naturel par exemple entre 1990 et 2000 le prix a été multiplié par 10.

### 3.2.6. Le choix du système d'appoint

Le choix du système d'appoint dépendra du lieu d'implantation de l'installation, la distribution de l'énergie conventionnelle en Algérie n'est pas équitable. La moyenne d'électrification nationale dépasse 80 %. En ce qui concerne le rattachement des logements au réseau du gaz de ville, on constate que seules les quatre villes importantes en Algérie dépassent les 50 % de rattachement, le reste est insignifiant dans la mesure où la moyenne nationale ne dépasse pas 10%. [20]

Dans le chapitre suivant nous avons étudié l'influence de trois énergies d'appoint : l'électricité, le gaz naturel et le gaz butane.

### 3.3. Autres paramètres

Il y a d'autres paramètres qui n'apparaissent pas dans l'équation (2-15) et qui n'influent pas directement sur la surface optimale de captation mais qui interviennent dans les calculs intermédiaires. Ce sont des paramètres fixes.

$C_T$  : coût de la cuve de stockage par unité de volume,  $C_T = 20000 \text{ DA/m}^3$

$C_\gamma$  : coût des éléments reliés directement au capteur,  $C_\gamma = 1000 \text{ DA/m}^2$

$b$  :  $0.06 \text{ m}^{-2}$

$i$  : le taux d'intérêt annuel,  $i = 11\%$

$n$  : le nombre d'années de paiement,  $n = 20 \text{ ans}$ .



## CHAPITRE4

### RESULTATS ET INTERPRETATION

#### 4.1. Introduction

Nous avons déterminé la surface optimale en fonction du lieu d'implantation de l'installation et de ses différents composants.

L'étude se porte sur des sites du nord et du sud suivant les zones climatiques, nous avons choisi une ville de chaque zone. dont le tableau (4-1) [27]:

Tableau 4.1 : Caractéristiques des zones climatiques

<b>Zone</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B'</b>	<b>C</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
Site	Dar El Beida (Alger)	Tlemcen	Chlef	Batna	Biskra	Adrar	Tamanrasset
Latitude	36° 72'	35°00'	36° 22'	35° 55'	34° 81'	27° 82'	22° 72'
Longitude	2° 53' E	1° 19' W	1° 21' E	6° 11' E	5° 44' E	0° 17' W	5° 31' E
Altitude	300 m	806 m	112 m	1040 m	124 m	286 m	1400 m

#### 4.2. Calcul des températures ambiantes mensuelles moyennes

Nous avons eu besoin de connaître les températures ambiantes moyennes mensuelles de chaque site pour le calcul des facteurs addimensionnels X et Y dans le calcul de la fraction solaire F, nous avons pour cela utilisé la méthode de Lazzarin [26] qui nécessite seulement d'avoir les températures maximales et minimales de chaque site étudié que nous avons obtenu de l'office national de météorologie[27].

Le tableau ( 4.2), représente les températures mensuelles moyennes pour les différentes zones climatiques et sites choisis.

Tableau 4. 2 : Les temperatures mensuelles moyennes  
pour les differentes zones climatiques

Mois/ Température ambiante(°C)	Adrar	Batna	Biskra	Chlef	Dar El Beida (Alger)	Taman rasset	Tlemcen
<b>Janvier</b>	12.42	7.61	11.92	10.42	10.98	7.60	9.82
<b>Février</b>	15,52	14.47	13.76	11.71	11.76	14.46	10.81
<b>Mars</b>	19.31	17.56	16.46	13.36	12.66	17.56	13.56
<b>Avril</b>	23.91	22.42	19.86	15.91	14.36	22.41	15.71
<b>Mai</b>	27.76	26.36	24.26	19.21	17.01	26.36	17.16
<b>Juin</b>	33.66	28.85	29.95	24.75	21.15	28.85	22.25
<b>Juillet</b>	35.85	28.69	33.19	28.84	24.49	28.70	24.74
<b>Août</b>	35.49	28.33	32.43	28.72	24.69	28.34	24.69
<b>Septembre</b>	31.49	26.49	28.14	25.14	22.79	26.49	23.54
<b>Octobre</b>	24.60	22.70	21.99	20.00	18.95	22.70	19.05
<b>Novembre</b>	17.46	17.02	16.11	14.61	14.76	17.01	15.46
<b>Décembre</b>	13.62	13.84	12.77	11.77	12.48	13.81	11.82

#### 4.3. Calcul de $Q_m$ et $\lambda$ caractéristiques du système d'appoint

Nous avons tracé l'énergie d'appoint annuelle en fonction de la surface de captation, pour différentes masses à chauffer pour une température désirée choisie  $T_{DES} = 60^\circ\text{C}$ . L'allure des graphes comme le montre les figures (4.1), (4. 2) et (4.3) est une exponentielle comme nous l'avons précisé au chapitre 2.

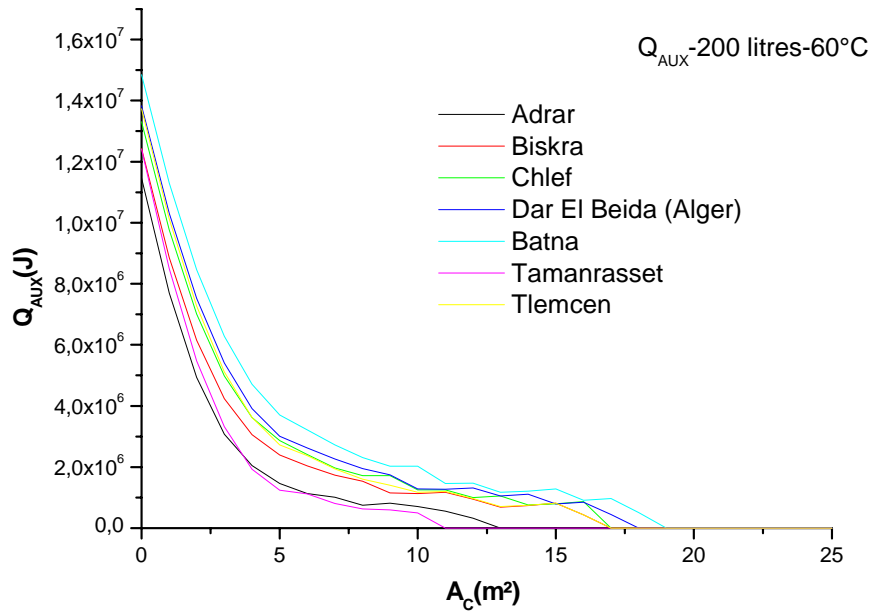


Figure 4.1 : Evolution de  $Q_{AUX}$  en fonction de la surface de captation  
Pour toutes les zones climatiques (Masse = 200 litres)

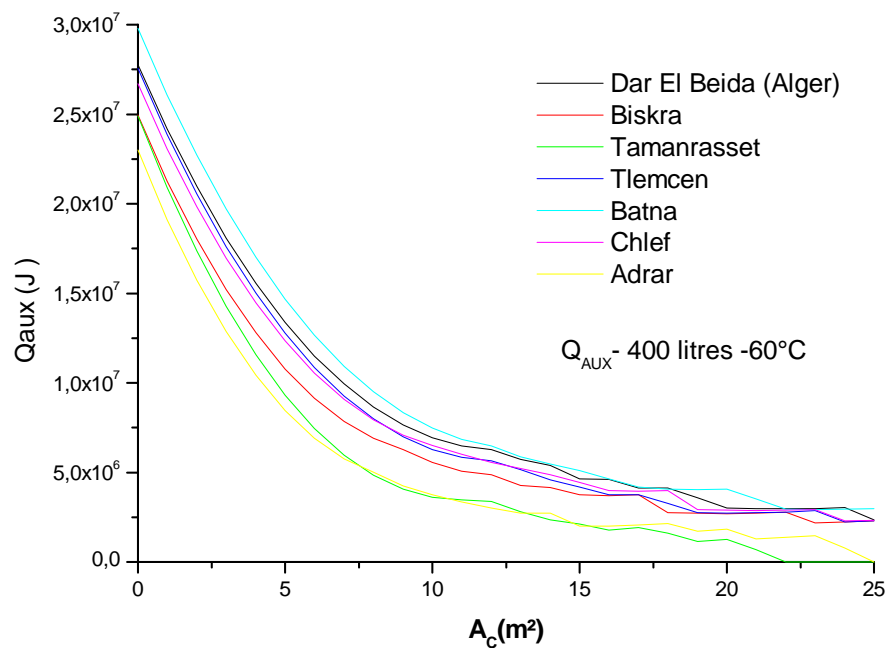


Figure 4.2. Evolution de  $Q_{AUX}$  en fonction de la surface de captation  
Pour toutes les zones climatiques (Masse = 400 litres)

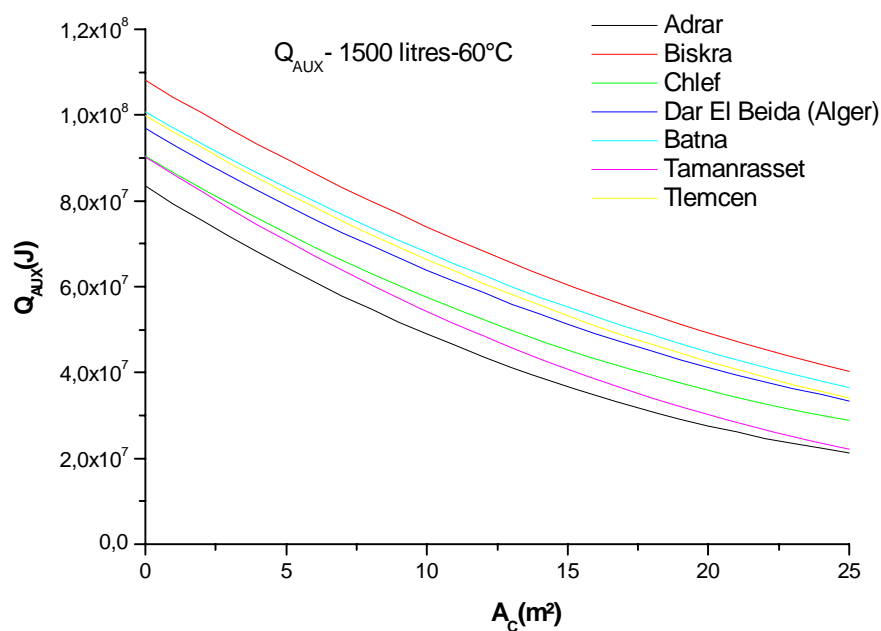


Figure 4.3 : Evolution de  $Q_{AUX}$  en fonction de la surface de captation

Pour toutes les zones climatiques (Masse =1500 litres)

Le logiciel origine avec lequel nous avons tracé les figures (4.1), (4.2) et (4.3) nous permet d'avoir les deux paramètres caractéristiques du système d'appoint  $Q_m$  et  $\lambda$  qui sont donnés dans les tableaux (4.3), (4.4) et (4.5) pour les différentes masses à chauffer et différentes températures désirées.

Tableau 4.3 : Calcul de  $Q_m$  et  $\lambda$  pour différentes températures désirées

Pour les différentes zones climatiques ( masse = 200 litres)

	$T_{DES}$ (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
$Q_m$ ( $10^7$ J)	50	0,58	0,59	0,59	0,67	0,53	0,64	0,58
	60	0,83	0,83	0,75	0,93	0,68	0,90	0,86
	70	1,06	1,07	0,99	1,13	0,90	1,10	1,18
$\lambda$ ( $10^{-1}$ )	50	1,86	2,16	2,09	1,70	2,28	1,60	3,95
	60	1,62	1,81	1,59	1,51	1,69	1,31	3,16
	70	1,41	1,53	1,39	1,25	1,46	1,15	2,73

Tableau 4.4 : Calcul de  $Q_m$  et  $\lambda$  pour différentes températures désirées

Pour les différentes zones climatiques (masse = 400 litres)

	$T_{DES}$ (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
$Q_m$ ( $10^7$ J)	50	1,45	1,39	1,34	1,66	1,12	1,55	1,29
	60	2,24	2,23	2,10	2,41	1,87	2,32	1,93
	70	2,95	2,93	2,82	3,20	2,60	2,99	2,74
$\lambda$ ( $10^{-2}$ )	50	1,17	1,22	1,18	1,19	1,14	1,09	1,97
	60	1,02	1,12	1,04	1,02	1,05	0,92	1,46
	70	0,85	0,91	0,88	0,89	0,95	0,81	1,22

Tableau 4.5 : Calcul de  $Q_m$  et  $\lambda$  pour différentes températures désirées

Pour les différentes zones climatiques (masse = 1500 litres)

	$T_{DES}$ (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
$Q_m$ ( $10^7$ J)	50	7,82	7,79	7,38	8,51	8,58	7,69	7,05
	60	10,12	10,10	9,78	10,92	9,13	8,51	9,31
	70	12,50	12,40	12,10	13,20	11,40	10,80	11,15
$\lambda$ ( $10^{-2}$ )	50	5,59	5,93	5,83	4,99	3,79	4,12	8,13
	60	4,07	4,29	4,30	3,94	4,66	4,99	5,53
	70	3,13	3,29	3,31	3,22	3,56	3,94	4,09

#### 4.4. Calcul de la surface optimale

Dans la méthode d'optimisation nous avons injecté le coût actuel du capteur et de l'énergie d'appoint et une température désirée  $T_{DES} = 60^{\circ}\text{C}$ .

Nous obtenons les résultats figurant sur les tableaux (4.6), (4.7) et (4.8) pour les différentes masses à chauffer:

Tableau 4.6 : La surface optimale pour les zones climatiques ( $T_{DES} = 60^{\circ}\text{C}$ , masse = 200 litres)

	Zone A Dar El Beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
$A_{op}$ (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.7 : La surface optimale pour les zones climatiques ( $T_{DES} = 60^{\circ}\text{C}$ , masse = 400 litres)

	Zone A Dar El Beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
$A_{op}$ (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.8 : La surface optimale pour les zones climatiques ( $T_{DES} = 60^{\circ}\text{C}$ , masse = 1500 litres)

	Zone A Dar El Beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
$A_{op}$ (m <sup>2</sup> )	8,82	9,01	8,36	10,29	7,35	10,50	11,25

On remarque qu'en prenant le coût actuel de l'énergie d'appoint (électricité), et le coût actuel du capteur la surface optimale de captation varie jusqu'à être nulle pour les zones selon la variation de la masse à chauffer et de la valeur la température désirée.

Nulle veut dire qu'on n'obtient aucun résultat donc le solaire dans ces cas là n'est pas compétitif et qu'il est préférable dans ces cas utiliser l'énergie électrique que l'énergie solaire.

On constate aussi que plus les masses à chauffer sont grandes meilleures sont les résultats, quoi que pour certaines zones comme Tamanrasset et Batna nous avons déjà de faibles surfaces optimales à 200 et 400 litres, lorsque la température désirée est plus élevée.

Les résultats n'étant pas satisfaisant vu qu'on retient à travers les résultats précédents qu'il était préférable d'utiliser l'énergie électrique plutôt que l'énergie solaire.

Afin de comprendre les raisons d'un tel échec nous avons procédé à une étude paramétrique.

#### 4.5. Etude paramétrique

Nous allons dans ce qui suit étudier l'influence des divers paramètres intervenant dans le calcul de la surface optimale et voir les conséquences sur cette dernière.

##### 4.5.1. Influence du coût du capteur

Le paramètre  $C_c$  qui est le coût du capteur n'est pas fixé, nous l'avons fait varier pour étudier son influence sur les surfaces optimales de captation.

On fixe la masse à chauffer, le coût actuel de l'énergie d'appoint et la température désirée  $T_{DES} = 60^\circ\text{C}$ .

Les figures (4.4) et (4.5) représentent l'évolution de la surface optimale pour différents coûts de capteurs pour les différentes zones climatiques pour différentes

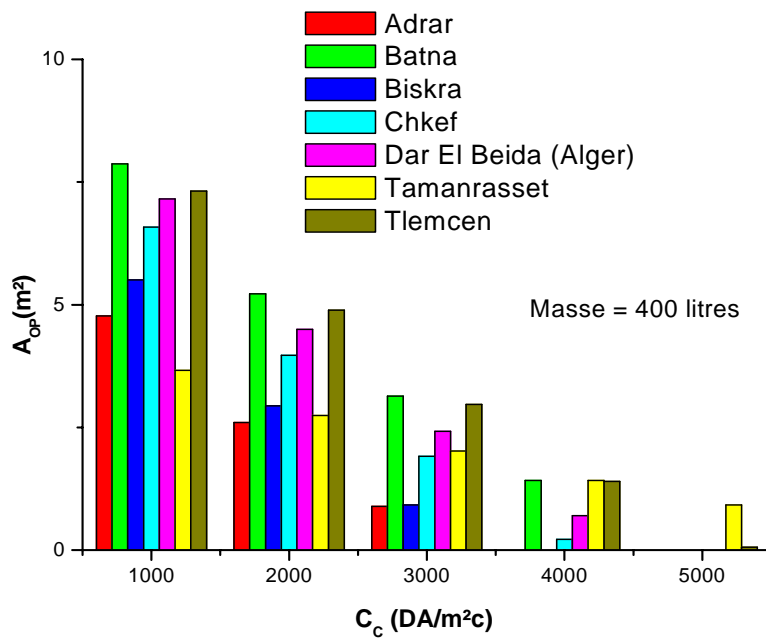


Figure 4. 4 : Variation de la surface de captation en fonction du coût du capteur  
(Masse=400 litres)

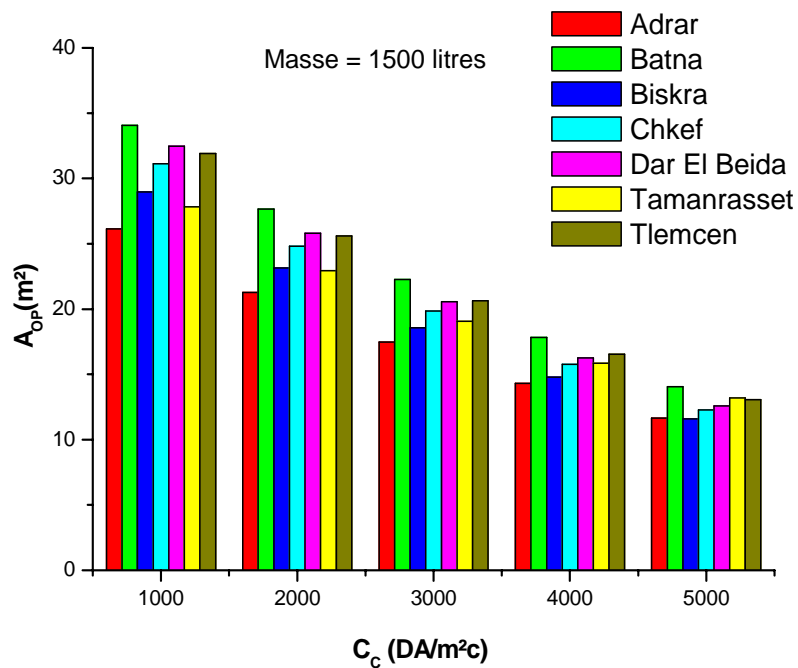


Figure 4. 5 : Variation de la surface de captation en fonction du coût du capteur  
(Masse = 1500 litres)



On remarque qu'il y a une relation proportionnelle entre la surface de captation et le coût du capteur donc plus le coût du capteur augmente plus la surface de captation  $A_{op}$  diminue.

La remarque qui peut être faite pour le paramètre  $C_c$ , c'est que sachant que le coût du capteur actuellement sur le marché vaut plus de 6000 DA /m<sup>2</sup> de capteur, l'énergie solaire n'est compétitive qu'à des prix plus bas.

#### 4.5.2. Influence de la température désirée

On a remarqué dans les différents résultats que la valeur de la température désirée influe sur la surface de captation pour une valeur fixe de la masse à chauffer et du coût du capteur la valeur de surface optimale augmente en augmentant la température désirée.

On s'intéresse au site de Chlef (l'allure étant la même pour les autres sites, voir annexes), qui nous estimons être le site le plus défavorable compte tenu des premiers résultats.

En alternant les deux paramètres : le coût du capteur et la valeur de la température désirée et en fixant la masse à chauffer, On obtient les figures (4.6) et (4.7) :

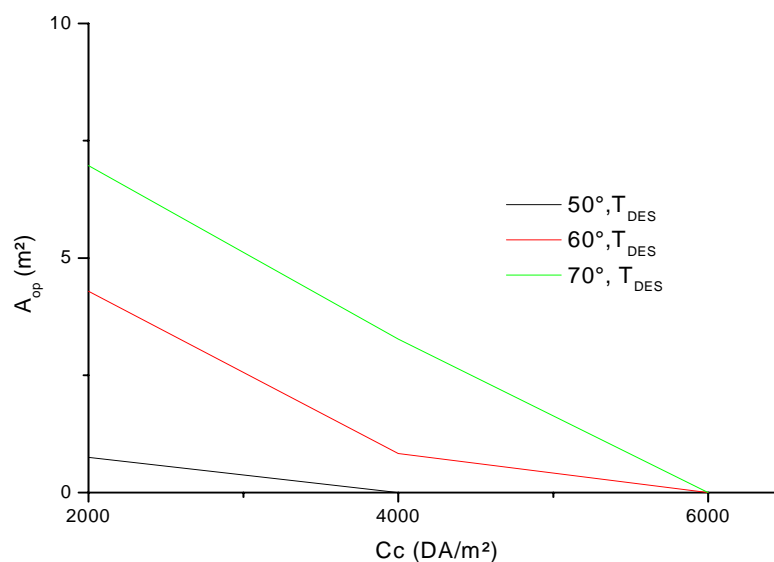


Figure 4.6 : Surface optimale en fonction du coût du capteur  
Pour différentes températures désirées (masse = 400 litres)

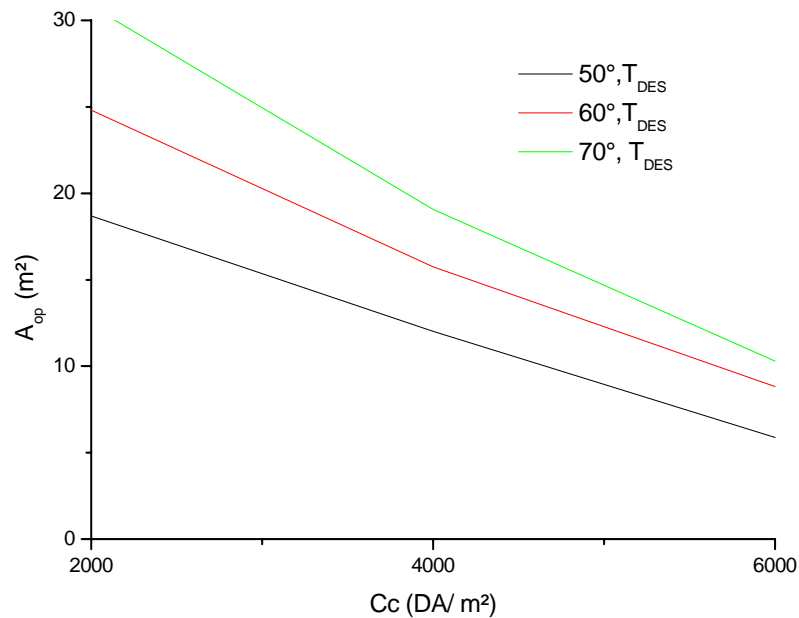


Figure 4.7 : Surface optimale en fonction du coût du capteur  
Pour différentes températures désirées  
(Masse = 1500 litres)

Les graphes nous apportent une information importante qui est que si on augmente la température désirée, la surface optimale augmente aussi.

Lorsqu'on augmente la température de 10°C la surface augmente de 3,3 m<sup>2</sup> (de 50°C à 60°C) et n'augmente que de 2,5m<sup>2</sup> (de 60°C à 70°C).

#### 4. 5. 3. Influence de la masse à chauffer

on représente pour toutes les zones climatiques, l'influence de la masse à chauffer sur la surface optimale, tout en prenant le coût actuel du système d'appoint et une température désirée  $T_{DES} = 60^{\circ}C$ .

La figure (4.8) représente la variation de la surface de captation en fonction de la masse à chauffer.

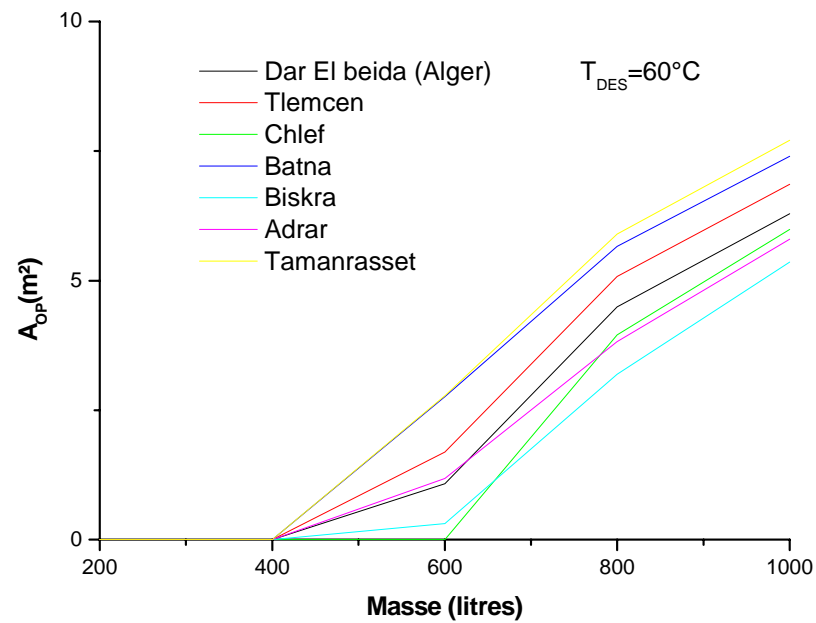


Figure 4.8 : Surface optimale en fonction de la masse à chauffer  
Pour les différentes zones climatiques

La figure (4.9) représente la variation de la surface de captation en fonction des coûts du capteur pour différentes masses à chauffer et ceci pour le site d'Adrar, l'allure étant la même pour les autres sites.

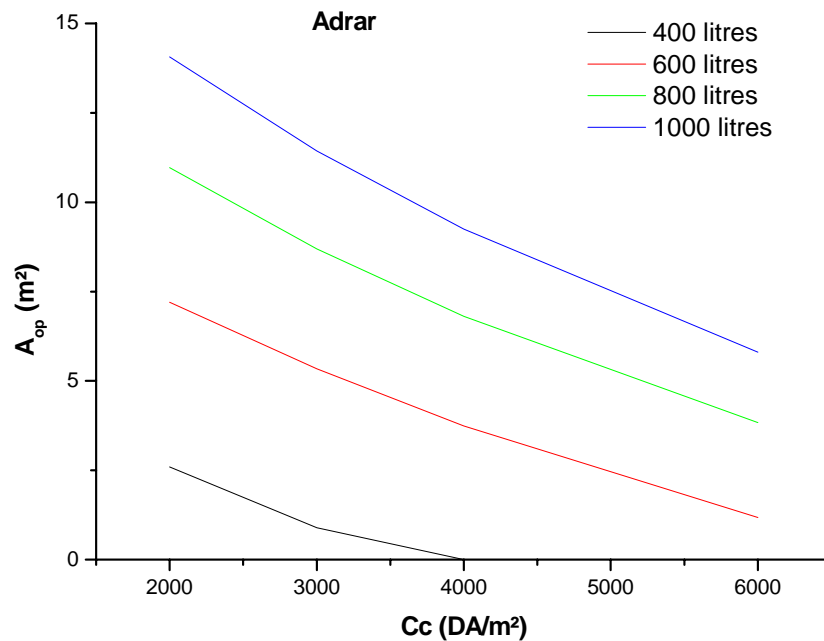


Figure 4.9 : Surface optimale en fonction du coût du capteur  
Pour différentes masses à chauffer

On constate que plus les masses à chauffer sont grandes et plus les surfaces optimales sont importantes. ce qui implique que le solaire est beaucoup plus rentable pour les installations collectives.

#### 4.5.4. Influence du coût de l'énergie d'appoint

Pour étudier l'influence du coût du système d'appoint nous avons fixé la masse à chauffer comme constante, le coût du capteur  $C_c$ , la température désirée  $T_{DES}$  et avons fait varier  $C_f$ .

On s'intéresse ici à la masse 400 litres car il n'y a pas eu de résultats satisfaisant en injectant le prix actuel de l'énergie d'appoint comme nous l'avons montré précédemment, nous avons constaté que le solaire n'était pas compétitif.

Pour étudier l'influence du coût de l'énergie d'appoint nous avons doublé puis triplé le prix de celle ci.

Le tableau (4.9) représente la surface optimale pour différents coûts du système d'appoint. Pour le coût actuel du capteur et une température désirée  $T_{DES} = 60^\circ\text{C}$  pour une masse à chauffer de 400 litres.

Tableau 4.9 : Influence du coût de l'énergie électrique sur la surface de captation

Surface optimale pour les différentes zones							
$C_f$ (DA/ kwh)	<u>Zone A</u> Dar el beida (Alger)	<u>Zone B</u> Tlemcen	<u>Zone B'</u> Chlef	<u>Zone C</u> Batna	<u>Zone D<sub>1</sub></u> Biskra	<u>Zone D<sub>2</sub></u> Adrar	<u>Zone D<sub>3</sub></u> Taman- rasset
3.611	0	0	0	0	0	0	0
7.222	4.74	5.10	4.19	5.42	3.17	2.79	4.73
10.833	8.71	8.73	8.10	9.40	7.01	6.02	7.50

On remarque qu'en faisant varier le coût de l'énergie d'appoint (l'électricité) les surfaces optimales deviennent plus importantes (voir tableau 4.9).

On fait varier maintenant le coût du capteur et de l'énergie conventionnelle pour montrer l'intérêt pratique d'une telle étude et ceci pour les sites de Chlef, Dar El Beida et Tamanrasset représentées par les figures (4.10), (4.11) et (4.12) respectivement. (l'allure étant la même pour les autres sites, voir annexe)

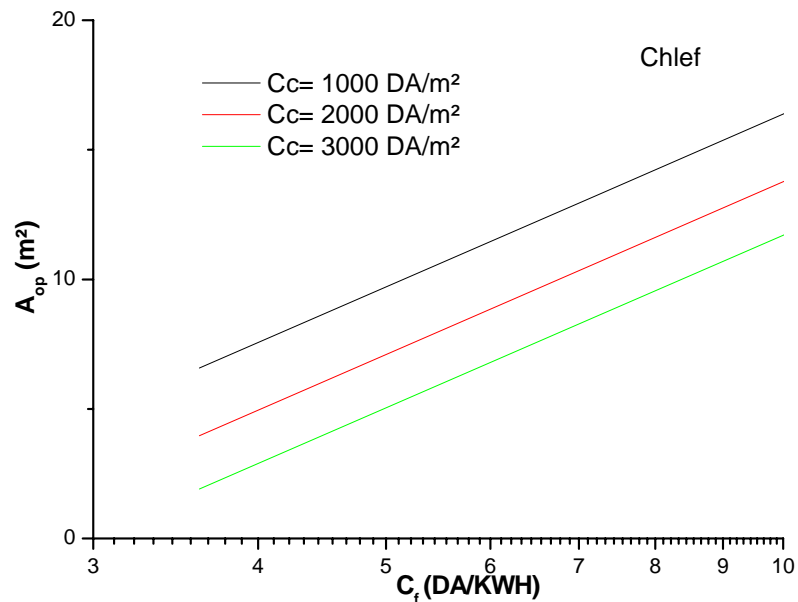


Figure 4.10 : Surface optimale en fonction du coût de l'énergie d'appoint  
Pour différents coûts de capteur ( Chlef,  $T_{DES} = 60^\circ\text{c}$ )

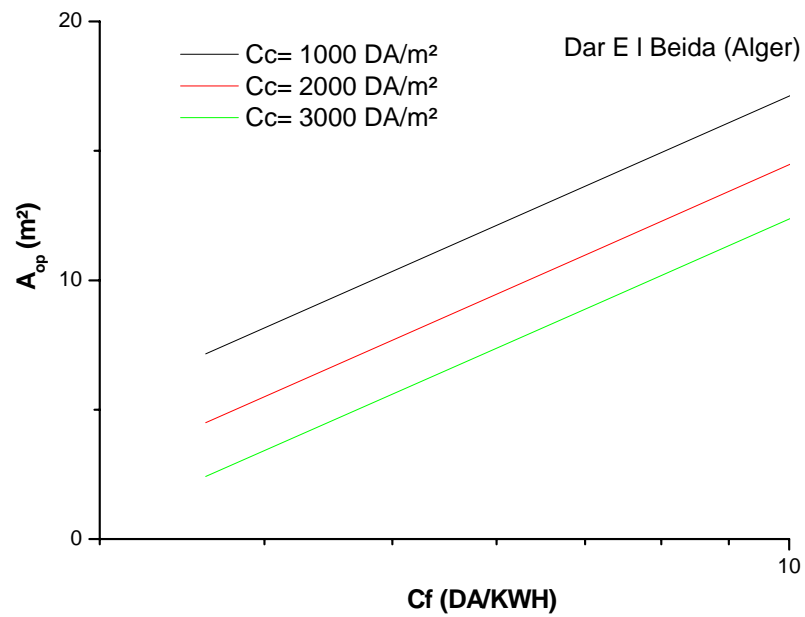


Figure 4.11 : Surface optimale en fonction du coût de l'énergie d'appoint  
Pour différents coûts de capteur (Dar El Beida ,  $T_{DES} = 60^\circ\text{c}$ )

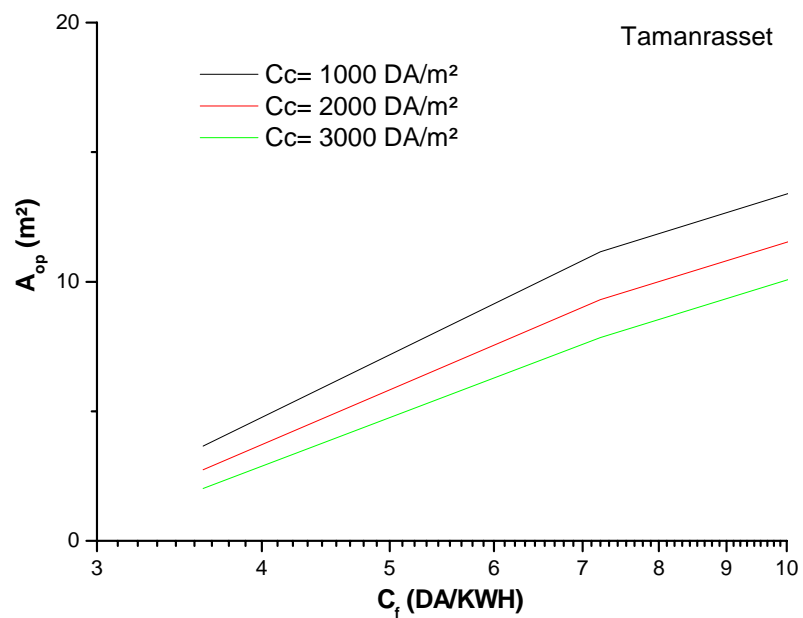


Figure 4.12 : Surface optimale en fonction du coût de l'énergie d'appoint  
Pour différents coûts de capteur (Tamanrasset,  $T_{DES} = 60^\circ\text{c}$ )

Les figures permettent de déterminer rapidement le changement provoqué dans la surface de captation optimale  $A_{op}$  quand on alterne ces deux coûts, car en faisant varier et augmenter  $C_f$  le coût de l'énergie d'appoint les surfaces optimales deviennent plus importantes.

On remarque que le coût du capteur et de l'énergie conventionnelle sont des paramètres variables influant sur la surface optimale  $A_{op}$ , la figure montre donc l'intérêt pratique d'une telle étude.

On en déduit que le coût du système d'appoint influe énormément sur la surface de captation.

#### 4.5.5. Influence du choix du système d'appoint

Comme la distribution de l'énergie conventionnelle n'est pas la même sur tout le territoire national, on s'est intéressé à d'autres énergies d'appoint comme le gaz naturel et le gaz butane.

Pour le gaz naturel :

A son prix actuel c'est à dire 0.29 DA /kWh, nous avons calculé la surface optimale de captation pour différentes masses à chauffer et différentes températures désirées  $T_{DES}$  comme le montre les tableaux (4.10), (4.11) et (4.12)

Tableau 4.10 : La surface optimale pour les zones climatiques  
(Masse = 200 litres)

	$T_{DES}$ (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
$A_{OP}$ (m <sup>2</sup> )	50	0	0	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0	0	0
	70	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.11 ; La surface optimale pour les zones climatiques  
(Masse = 400 litres)

	T <sub>DES</sub> (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
A <sub>OP</sub> (m <sup>2</sup> )	50	0	0	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0	0	0
	70	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.12 : La surface optimale pour les zones climatiques  
(Masse = 1500 litres)

	T <sub>DES</sub> (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
A <sub>OP</sub> (m <sup>2</sup> )	50	0	0	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0	0	0
	70	0	0	0	0	0	0	0

On remarque qu'il est impossible d'investir dans une installation solaire, il faudrait qu'on augmente le prix du gaz de 15 fois pour qu'on obtienne de faibles résultats.

Pour le gaz butane :

A son prix actuel c'est a dire 2.62 DA /Th, nous avons fait les mêmes calculs que pour l'énergie électrique, et pour le prix actuel du capteur c'est a dire à 6000 DA /m<sup>2</sup> et pour les trois températures désirées nous n'avons aucun résultat comme le montre les tableaux (4.13), (4.14) et (4.15).



Tableau 4.13 : La surface optimale pour les zones climatiques  
(Masse = 200 litres)

	T <sub>DES</sub> (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
A <sub>OP</sub> (m <sup>2</sup> )	50	0	0	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0	0	0
	70	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.14 : La surface optimale pour les zones climatiques  
(Masse = 400 litres)

	T <sub>DES</sub> (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
A <sub>OP</sub> (m <sup>2</sup> )	50	0	0	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0	0	0
	70	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.15 : La surface optimale pour les zones climatiques  
(Masse = 1500 litres)

	T <sub>DES</sub> (°C)	Zone A Dar el beida (Alger)	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D <sub>1</sub> Biskra	Zone D <sub>2</sub> Adrar	Zone D <sub>3</sub> Taman- rasset
A <sub>OP</sub> (m <sup>2</sup> )	50	0	0	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0	0	0
	70	0	0	0	0	0	0	0

Pour le site de Chlef par exemple on faisant varier le coût du capteur jusqu'à 2000 DA /m<sup>2</sup> , pour une masse à chauffer de 400 litres, on obtient les résultats donnés dans le tableau (4.16).

Tableau 4.16 : La surface optimale pour différentes températures désirées  
Pour différents coûts de capteurs pour le site de Chlef  
(Masse=400 litres)

	$C_C$ (DA/m <sup>2</sup> )/ $T_{DES}$ (°C)	6000	4000	3000	2000
$A_{OP}$ (m <sup>2</sup> )	50	0	0	0	0
	60	0	0	0	0
	70	0	0	0	1.58

La même remarque que pour l'énergie électrique peut être faite et retombe sur les mêmes conclusions à savoir qu'il faudra aller à des coûts de capteurs plus bas pour avoir de meilleurs résultats.

#### 4.6. Représentation synthétique des résultats

La figure (4.13) est une représentation synthétique des résultats pour le site de Chlef qui est le plus défavorisé selon les résultats précédents (l'allure étant la même pour les autres sites), pour le coût actuel de l'énergie d'appoint et une température désirée de 60°C.

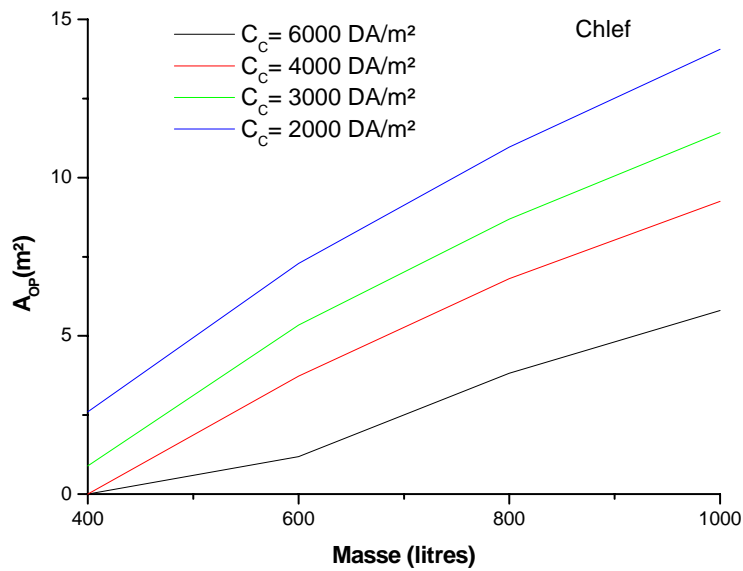


Figure 4.13 :Variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer pour différents coûts de capteurs ( Chlef,  $T_{DES} = 60^{\circ}c$ )

La figure représente la variation de la surface optimale en fonction des différentes masses à chauffer pour différents coûts de capteurs.

On remarque que pour un coût de capteur à 3000 DA/ $m^2$  de capteur nous n'avons pas de résultats pour de faibles masses à chauffer. On constate aussi que plus les masses à chauffer sont grandes plus les résultats deviennent intéressants. On propose donc des installations de chauffage d'eau sanitaire avec des coût de capteurs ne dépassant pas les 3000 DA/ $m^2$  de capteur et on garde le coût actuel de l'énergie d'appoint (électricité). Les figures (4.14), (4.15) et (4.16) représentent respectivement la variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer pour des coûts de capteur de 3000DA/ $m^2$ ,2000 DA/ $m^2$  et 1000 DA/ $m^2$ .

On constate des 3 figures suivantes que quelque soit le coût du capteur et pour une masse à chauffer inférieure à 400 litres il n'y a aucun résultat pour les sites de Dar El Beida, Biskra et Adrar.

On remarque aussi que c'est à partir de 600 litres que les résultats deviennent intéressants et que l'utilisation du solaire a un sens.

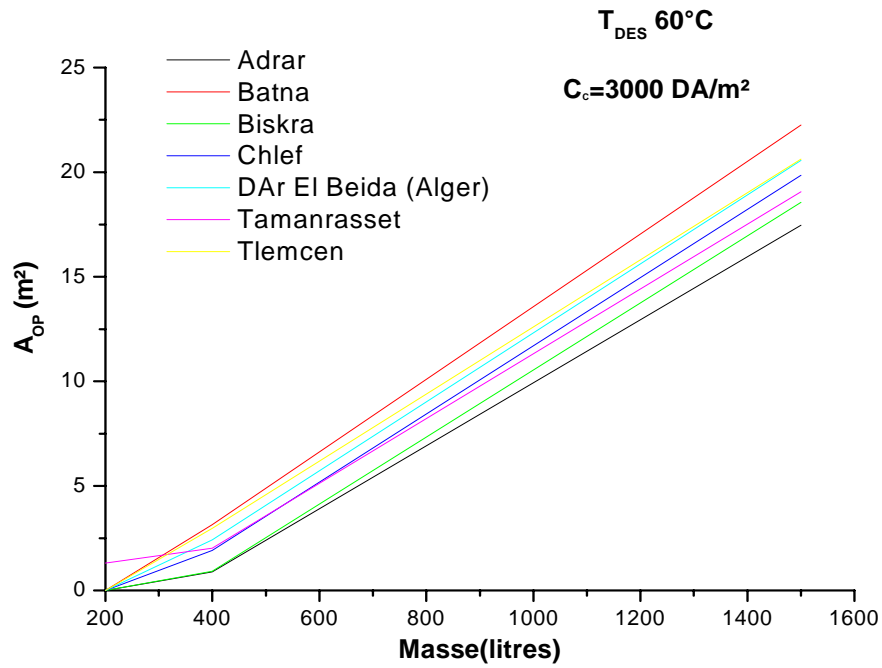


Figure 4.14 : Variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer  
( $C_F = 3.611 DA/KWH$ ,  $C_C = 3000 DA/m^2$ ,  $T_{DES} = 60^\circ C$ )

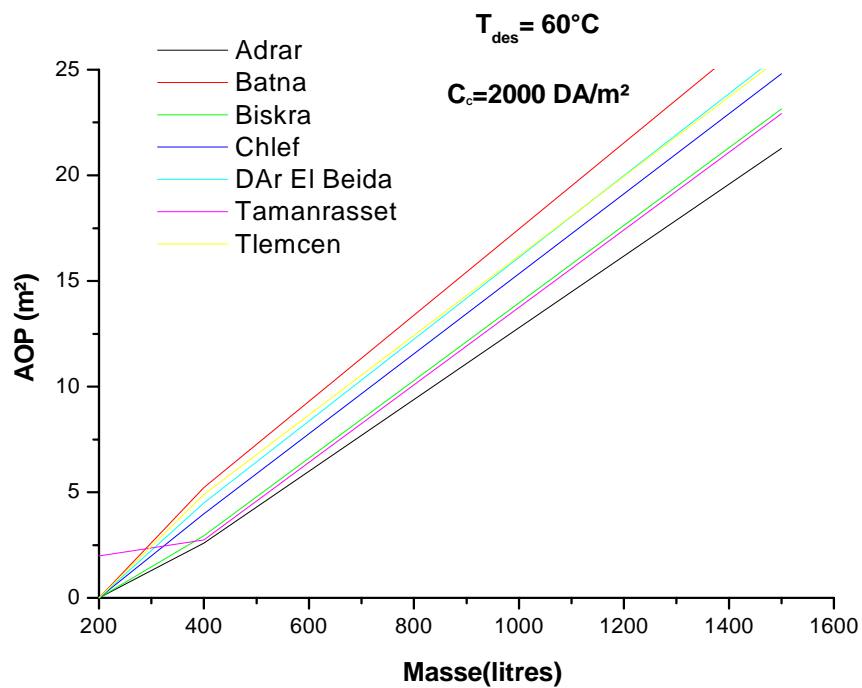


Figure 4.15 : variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer  
 $C_F = 3.611 DA/KWH$ ,  $C_C = 2000 DA/m^2$ ,  $T_{DES} = 60^\circ C$ )

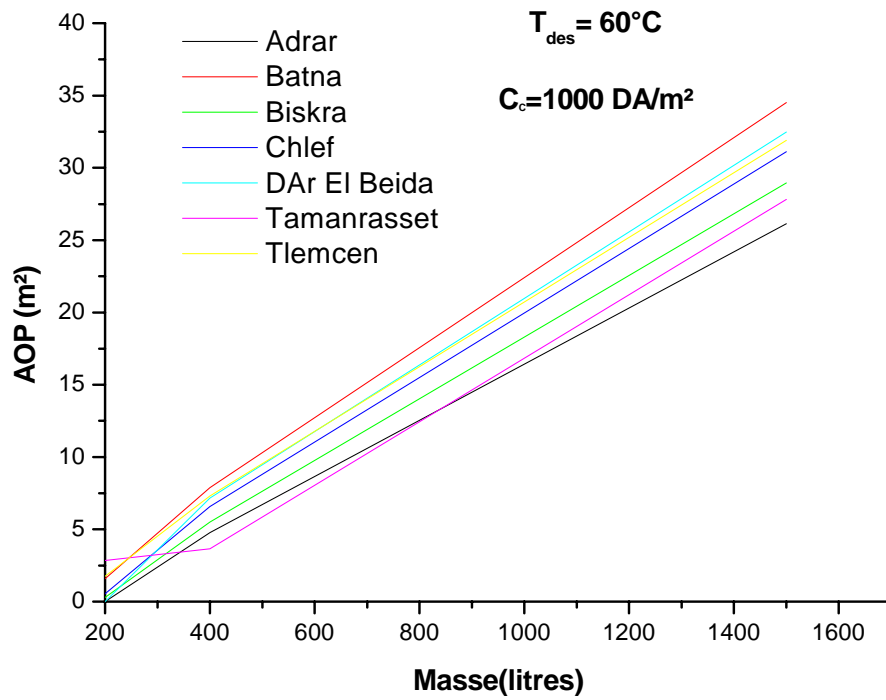


Figure 4.16 : variation de la surface optimale en fonction de la masse à chauffer ( $C_F = 3.611 \text{ DA/KWH}$ ,  $C_C = 1000 \text{ DA/m}^2$ ,  $T_{DES} = 60^{\circ}\text{C}$ )

## CONCLUSION

- Un modèle pour le calcul de la surface optimale a été développé.
- Avec le coût actuel du capteur et de l'énergie d'appoint, l'utilisation de L'énergie solaire n'est pas intéressante, puisque le système d'appoint est Beaucoup plus rentable.
- Plus le coût du capteur augmente plus la surface de captation  $A_{op}$  diminue jusqu'à être nulle. Sachant que le coût du capteur actuellement sur le marché vaut plus de 6000 DA /m<sup>2</sup> de capteur, l'énergie solaire n'est compétitive qu'à des prix plus bas.
- On constate que le coût de l'énergie d'appoint influe énormément sur la Surface optimale de captation.
- On constate aussi que plus la masse à chauffer est grande plus les résultats Sont intéressants et les surfaces de captation optimales sont importantes. Ceci rejoint les études faites de par le monde et qui affirment que plus l'installation est grande, plus les coûts par m<sup>2</sup> seront plus bas. Un petit Système peu coûteux s'élèvera au double par m<sup>2</sup> par rapport à une Installation de plus de 60 m<sup>2</sup>.

On constate aussi que la relation entre  $Q_{AUX}$  et la surface de captation ne se limite pas au système de chauffage d'eau sanitaire, on recommande donc qu'on étende l'application de cette méthode d'optimisation aux autres systèmes solaires.

Le fait que les technologies solaires exigent un investissement initial élevé, on recommande une implication de l'état Algérien dans la mise au point d'un programme spécial d'aide aux particuliers qui souhaitent s'investir dans des installations solaire comme cela se fait pratiquement dans les autres pays du monde, à travers des procédures de financement pour aider à couvrir l'investissement initial.

Le coût de l'énergie d'appoint et le coût du capteur sont les deux paramètres où les décideurs pourraient intervenir. En tant que consommateurs, augmenter le coût de l'énergie conventionnelle n'est pas à notre avantage vu les problèmes sociaux économiques qu'on traverse actuellement. On recommande donc d'établir des mesures de financement incitatives dans le sens du coût du capteur.

De telles mesures ont été proposées aux agriculteurs désirant de s'installer au sud par exemple. (Les producteurs bénéficient d'une tarification spéciale de l'énergie conventionnelle et de l'eau).

Les pouvoirs publics pourraient dans un prochain avenir pourquoi pas intervenir par rapport au coût total du matériel installé comme il est l'usage la plupart des pays développés.

Grâce au Plan Soleil lancé par les pouvoirs publics en France par exemple, à travers le programme HELIOS 2006 (1999-2006), les particuliers peuvent bénéficier d'une réduction de 30 %. Ces aides diminueront progressivement jusqu'en 2006.

#### Exemple de prix du matériel installé

##### Pour un chauffe eau individuel

	<b>Chauffe-eau 100 l capteur 2 m<sup>2</sup></b>	<b>Chauffe-eau 200 l capteurs 4 m<sup>2</sup></b>	<b>Chauffe-eau 300 l capteurs 6 m<sup>2</sup></b>
<b>Prix du matériel Installé TTC</b>	2 600 €	3 600 €	4 500 €
<b>Primes</b>	<b>- 690 €</b>	<b>- 920 €</b>	<b>- 1 150 €</b>
<b>Prix d'achat</b>	1 910 €	2 680 €	3 350 €

L'installateur doit être agréé bien sûr pour obtenir les primes. On prend la société Solaristes Giordano par exemple. Les financements possibles dans ce réseau:

- Règlement en 4 fois sans frais,
- Crédit de 24 à 36 mois avec notre partenaire SOFINCO,
- Acquisition en location-vente avec Energie Solaire de France sur 10 ans (Garantie totale de 10 ans)

Les produits **Giordano** bénéficient d'une certification du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

L'installation et le matériel sont alors garantis 10 ans, par un contrat de vente spécifique.

#### Chauffe-eau solaire collectif

Les installations concernées sont destinées à la production d'eau chaude sanitaire pour des utilisations collectives relevant du secteur résidentiel et tertiaire, dans du neuf ou de l'ancien. Les dispositions suivantes s'appliquent à des projets de 20 m<sup>2</sup> ou plus (ou de plus de 2 m<sup>3</sup> de stockage).

Les subventions de ces projets aux trois étapes de leur élaboration :

- Aide au pré-diagnostic
- Aide à la hauteur de 90% (pendant les 2 premières années, puis 70% par la suite) du coût, plafonné à 3 810 €.
- Aide aux études de faisabilité
- Aide à hauteur de 50% (des financements locaux ou régionaux complémentaires sont admis jusqu'à 70 % du coût). Soutien aux investissements
- Aide plafonnée à 60% du coût total du projet, avec une limite de 400 € H.T./m<sup>2</sup> de capteurs (couverts par un Avis Technique et certifiés CSTBat). Ces aides sont dégressives dans le temps, par périodes de 2 à 3 années, jusqu'en 2006.

On peut dire en dernier que jusqu'à présent l'enthousiasme a entouré les énergies renouvelables, mais aucune action sérieuse de développement du marché des produits solaristes n'a été entreprise en Algérie. Il faut maintenant donner la priorité à cette action.

Cet effort va exiger la mobilisation et la coopération étroite des services gouvernementaux, des milieux scientifiques et du monde des affaires.



## APPENDICE A

## DEFINITIONS ET EXPRESSIONS

1. La déclinaison du soleil

La déclinaison du soleil  $\delta$  varie de  $-23,45^\circ$  à  $+23,45^\circ$  avec une période d'un an. Il existe plusieurs possibilités de déterminer  $\delta$ , dans la pratique, pour une journée bien donnée.

La première méthode consiste à consulter les éphémérides astronomiques tels que les tables publiées annuellement dans l'Annuaire du bureau des longitudes. On y trouve la valeur de  $\delta$  jour par jour. Cette méthode est évidemment la plus précise. On peut aussi essayer de relier  $\delta$  au numéro du jour de l'année considérée par une formule unique, valable quelle que soit l'année en cours. diverses formules existent et nous citerons la suivante:[ 3 ]

$$\delta (N) = 23.45 \cdot \text{SIN} ((N-1) 360/365)$$

Avec:

N : le nombre de jours dans l'année, il varie entre 1 et 365

Les valeurs critiques:

$\delta = 23^\circ 27'$	au 21 juin solstice d'été
$\delta = 0$	au 21 septembre équinoxe d'automne
$\delta = -23^\circ 27'$	au 21 décembre solstice d'hiver
$\delta = 0$	au 21 mars équinoxe de printemps

2. correction de distance terre - soleil

La distance Terre- Soleil varie de  $\pm 1,7\%$  entre périhélie et aphélie. Il en résulte pour le flux solaire qui atteint la terre une variation corrélative de  $\pm 3,4 \%$ . On effectuera donc la valeur moyenne du flux solaire qui atteint la terre d'un coefficient C traduisant cette variation. Là encore , on a plusieurs méthodes de calcul comme pour la déclinaison, on peut donc avoir pour C des formules d'une précision extrême provenant en droite ligne des calculs astronomiques mais de précision totalement inutile pour l'application qui nous intéresse.

On approximera encore C par la formule suivante:[ 4 ]

$$C = 1 + 0,033 \left( N \cdot \frac{360}{365} \right)$$

### 3. Equation du temps

L'équation du temps, est l'écart entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai. Cet écart est variable d'un jour à l'autre de l'année et cette variation a sensiblement la même allure chaque année.

On peut représenter l'équation du temps en minutes par la formule suivante:[4 ]

$$ET = 9,87 \sin(2 JD) - 7,53 \cos(JD) - 1,5 \sin(JD)$$

Avec:

$$JD = (N-1) \frac{360}{365}$$

### 4. L'angle horaire et le temps solaire vrai

On appelle temps solaire vrai (TSV) en un lieu et à un instant donnés, l'angle horaire  $A_h$  du centre du soleil en ce lieu à cet instant, c'est à dire l'angle dièdre du méridien du soleil et de celui du lieu à l'instant considéré.

Par définition il est midi TSV quand  $A_h = 0$  , 6 heures TSV quand  $A_h = 270^\circ$ , 18 heures TSV quand  $A_h = 90^\circ$ , etc.

On peut déterminer le temps solaire vrai (TSV) à partir de l'heure lue sur nos montres (TL): de TL, on déduit TU en ajoutant ou retranchant un nombre entier d'heures(en général une par fuseau horaire de décalage).Pour l'Algérie l'écart est égal à 1 heure donc:[ 4 ]

$$TSV = TU - 1$$

L'angle horaire sera calculé par la formule suivante:

$$A_h = 15 \cdot (TSV - 12)$$

### 5. La hauteur du soleil

On peut à partir des lois régissant les mouvements apparents du soleil, par rapport à l'observateur terrestre calculer les coordonnées du soleil en tout point de la terre et à tout instant, On trouve les formules classiques suivantes:[ 3 ]

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos A_h$$

$$\sin \alpha = \cos \delta \sin Ah / \cos h$$

Avec:

$\phi$ : Latitude (comptée positive dans l'hémisphère nord)

$\delta$ : Déclinaison du soleil ( angle de la direction du soleil avec le plan de l'équateur)

Ah: Angle horaire ( zéro à midi TSV, matins négatifs et après- midis positifs )

h: Hauteur du soleil : Angle de sa direction et du plan d'horizon  
et varie de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$ .

$\alpha$ : Azimut du soleil par rapport au sud

- Dans notre cas nous avons une surface orientée plein sud , c.a.d:  $\alpha = 0$

### 6. Calcul de l'angle d'incidence [ 3 ]

$$\cos \psi = \cos ( \phi - \beta ) \cos \delta \cos Ah + \sin ( \phi - \beta ) \sin \delta$$

$\phi$ :Latitude du site

$\beta$ : déclinaison du capteur

$\delta$ : déclinaison du soleil

Ah: l'angle horaire

Simplification:

- Si  $\phi = \beta$  l'équation précédente devient:

$$\cos \psi = \cos \delta \cos Ah$$

### 7. Calcul du flux direct

Nous écrivons le flux direct perpendiculairement aux rayons solaires, de la manière suivante:[ 3 ]

$$I = I_0 C A \exp \left( \frac{-B}{\sin h} \right)$$

Avec:  $I_0$ : Constante solaire =  $1353 \text{ w/m}^2$

C: Coefficient de distance terre- soleil

h: Hauteur du soleil

A,B: Coefficient de troubles

Le rayonnement direct s'écrira donc:

$$R_{\text{direct}} = I \cos \psi = I_0 C A \exp\left(\frac{-B}{\sin h}\right) \cos \psi$$

Les coefficients A et B que nous introduirons ici prenant en compte tous les phénomènes observés.

Leurs valeurs dépendent de la clarté du ciel aux jours et lieu considérés. Les recommandations de Ch. Perrin de Brichambant correspondent aux valeurs suivantes:

	Ciel très clair	Conditions normales	Zone industrielle
A	0.87	0.88	0.91
B	0.17	0.26	0.43

Nous utiliserons dans la suite les valeurs A et B relatives à la moyenne des deux premières conditions (ciel très pur et conditions normales)

### 8. Calcul du flux diffus

Les rayons qui atteignent l'atmosphère terrestre sont en partie diffusés et absorbés par les molécules d'air, de gaz carbonique ou d'eau et en partie réfléchi par les surfaces qu'ils frappent en arrivant au sol.

Toute l'énergie ainsi diffusée, rayonnée ou réfléchi constitue ce qu'on appelle le flux solaire diffus dont la caractéristique principale est d'être sensiblement isotrope.

#### - flux reçu par une surface horizontale

Le flux diffus sur une surface horizontale sera donc donnée par la formule suivante: [ 3 ]

$$\phi_d = I_0 C \sin h [ 0,271 - 0,2939 A \exp. (-B / \sin h) ]$$

Avec:

$I_0$ : 1353 W/m<sup>2</sup>

C: Coefficient de distance terre - soleil

H: Hauteur du soleil

A,B: Coefficients de trouble

- flux reçu par une surface inclinée

Pour une surface d'un capteur incliné d'un angle  $\beta$  par rapport au plan horizontal, le rayonnement diffus reçu est constitué en partie par ce qui est émis par la voûte céleste et en partie par le flux solaire total réfléchi par le sol.

Le flux solaire émis par la voûte céleste et reçu par le capteur s'écrit:

$$\phi_1 = \phi_d (1 + \cos \beta) / 2$$

Le flux solaire en provenance du sol et reçu par le capteur s'écrit:

$$\phi_2 = a (I \sin h + \phi_d) (1 - \cos \beta) / 2$$

Le rayonnement solaire diffus reçu par le capteur est donc: [ 3 ]:  $\phi' = \phi_1 + \phi_2$

$$\phi' = \phi_d (1 + \cos \beta) / 2 + a (I \sin h + \phi_d) (1 - \cos \beta) / 2$$

a: étant l'albédo du sol

Notion d'albédo

Le rayonnement émis n'est pas entièrement absorbé par le sol dont les différentes couleurs indiquent des réflexions sélectives et diffuses. La fraction du rayonnement absorbée varie avec la longueur d'onde. On appelle albédo, la fraction de l'énergie incidente diffusée par un corps lumineux. Pour un corps noir parfait l'albédo est nul.

Tableau A.1 différents albédo

CORPS	ALBEDO
Herbe fraîche, pelouse	0.20
Herbe sèche	0.30
Terre cultivée, nue	0.16
Terre sableuse	0.20
Sable clair	0.32
Gravier	0.22
Asphalte	0.19
Glace	0.30
Neige fraîche	0.85
Neige tassée et vieillie	0.60

### 10. Calcul du rayonnement global

\*\* Le rayonnement global reçu par une surface inclinée s'écrit:[31 ]

$$\text{RAY global (incliné)} = R_{\text{direct}} + \phi'$$

\*\* Le rayonnement global reçu par une surface horizontale s'écrit:[ 3 ]

$$\text{RAY global (horizontal)} = R_{\text{direct}} + \phi_d$$

## APPENDICE B

## CALCUL DU RENDEMENT OPTIQUE

Les différentes composantes du rayonnement solaire qui arrivent au niveau de la plaque transparente (vitrage) sont: le rayonnement direct , le rayonnement réfléchi par le sol et le rayonnement diffus par le ciel.

Si on considère deux milieux transparents (l'air et le verre ),un rayonnement incident dans le premier milieu d'indice  $n_1$  fait un angle  $\psi$  avec la normale à la surface qui le sépare d'un second milieu  $n_2$  . Une partie du rayonnement est réfléchié dans le premier milieu, l'autre est réfractée dans le second milieu en faisant un angle  $\theta$  avec la normale.

Les angles  $\psi$  et  $\theta$  sont liés par la loi de Descartes: [ 4 ]

$$n_1 \sin \psi = n_2 \sin \theta$$

La réflectivité monochromatique directionnelle hémisphérique  $\rho$  ( $\psi$ ) est donnée par les formules de Fresnel [ 3 ]:

$$\rho_{//}(\psi) = \frac{\tan^2(\psi - \theta)}{\tan^2(\psi + \theta)}$$

Pour une onde polarisée perpendiculairement au plan d'incidence [ 3 ]:

$$\rho_{\perp}(\psi) = \frac{\sin^2(\psi - \theta)}{\sin^2(\psi + \theta)}$$

La transmittance du vitrage représente la moyenne arithmétique des transmittances dues aux deux composantes  $\rho_{//}$  et  $\rho_{\perp}$  tels que: [ 3 ]:

$$\tau_r = \frac{1}{2} \left[ \frac{1 - \rho_{\perp}}{1 + \rho_{\perp}} + \frac{1 - \rho_{//}}{1 + \rho_{//}} \right]$$

Tels que:  $\tau_{\perp} = (1 - \rho_{\perp})^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho_{\perp}^{2n} = \frac{1 - \rho_{\perp}}{1 + \rho_{\perp}}$

$$\text{Et } \tau_{//} = (1 - \rho_{//})^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho_{//}^{2n} = \frac{1 - \rho_{//}}{1 + \rho_{//}} .$$

L'absorption du rayonnement par la surface du verre est exprimée par la Loi de Bonguer's [ 4 ]:

$$\tau_{\alpha} = \exp\left(\frac{-Kx \cdot e}{\cos\theta}\right)$$

Kx: coefficient d'extinction du verre, sa valeur varie entre 4 et 32 m<sup>-1</sup>.

e: épaisseur de la vitre.[m ]

La transmittance totale est égale au produit de la transmittance due à la réflexion et la transmittance due à l'absorption par le vitrage .

$$\tau = \tau_{\alpha} \tau_r$$

L'expression du produit transmittance – absorbtance est donnée par:

$$\tau_{\alpha} = \tau \alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1 - \alpha) \rho d]^n = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot \rho d}$$

$\alpha$ : coefficient d'absorption de la plaque donne par:[ 6 ]

$$\alpha = \alpha_n \cdot (\cos \theta)^{0,25}$$

$\alpha_n$ : le coefficient d'absorption pour un rayonnement incident normal à la surface , il est donne par les tables .

$\rho d$ : le coefficient de réflexion diffus , il est calculé pour une incidence de 60°.

$$\rho d = \tau_{\alpha}(60^{\circ}) - \tau(60^{\circ})$$

D'après [43 ] : Pour  $\rho d$  à 60° on a:

$$\rho d = 0,15 \rightarrow Kx \cdot e = 0,0125$$

$$\rho d = 0,12 \rightarrow Kx \cdot e = 0,0370$$

$$\rho d = 0,11 \rightarrow Kx \cdot e = 0,0524$$

On considère dans les calculs que le produit effectif transmittance – absorption ( $\tau_{\alpha}$ )<sub>eff</sub> dépend de ( $\tau_{\alpha}$ ) relatif au rayonnement direct, ( $\tau_{\alpha}$ ) relatif au rayonnement diffus par le ciel et ( $\tau_{\alpha}$ ) relatif au rayonnement réfléchi par le sol.



Les trois coefficients sont calculés de la même manière respectivement pour les angles d'incidences  $\theta$  (angle zénithal),  $\psi_s$  et  $\psi_c$ .

Le rayonnement diffus par le ciel et réfléchi par le sol est considéré anisotrope dans les calculs.

En supposant que le faisceau des rayons diffus est incident sur la vitre avec un angle approximé par les deux expressions suivantes:

Pour la radiation diffuse par le ciel  $\psi_c$  est calculée par:

$$\psi_c = 59.68 - 0.1388 \cdot \beta + 0.001497 \cdot \beta^2$$

Pour la radiation réfléchi par le sol  $\psi_s$  est calculée par:

$$\psi_s = 90 - 0.5788 \cdot \beta + 0.002693 \cdot \beta^2$$

$\beta$  : étant l'inclinaison du capteur.

Finalement le produit transmittance - absorption global effectif est calculé par [4 ]

$$(\tau\alpha)_{EFF} = \frac{\left[ (\tau\alpha)_{DIRECT} \cdot (G - D) \cdot R_b + D(\tau\alpha)_{CIEL} \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + G \cdot (\tau\alpha)_{SOL} \cdot ALB \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right]}{G_t}$$

$R_b$  : Facteur d'inclinaison qui permet de calculer l'éclairement direct sur une surface inclinée à partir de l'éclairement direct sur une surface horizontale.

$$R_b = \frac{\cos(\psi)}{\sin(h)}$$

- ◆ Alb.: l'albédo du sol
- ◆ G : l'éclairement global sur une surface horizontale. ( w / m<sup>2</sup>)
- ◆ D : l'éclairement diffus horizontal ( w / m<sup>2</sup>)
- ◆ Gt : l'éclairement global sur une surface inclinée ( w / m<sup>2</sup>)

APPENDICE C  
EVALUATION DU COEFFICIENT DE PERTES  
THERMIQUES GLOBALES

Les équations régissant le transfert d'énergie dans le capteur dépendent des énergies reçues et transférées dans chaque élément du capteur.

1. Pertes globales d'énergie:

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Elles se manifestent suivant les trois modes de transfert; conduction ; convection et rayonnement et se divisent en trois catégories, soit [4]

- a). Les pertes vers l'arrière
- b). Les pertes vers l'avant
- c). Les pertes latérales.

2. Coefficient de pertes vers l'avant du capteur

Le coefficient de pertes vers l'avant du capteur est très difficile à calculer. En se basant sur les hypothèses simplificatrices citées auparavant, DUFFIE & BECKMAN, donnent une relation empirique formulée par KLEIN, permettant le calcul de  $U_{AV}$ , pour des températures comprises entre 0°C et 200°C, avec une précision de : 0,3 [W/m<sup>2</sup>°C]

$$U_{AV} = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_p} \left[ \frac{T_p - T_a}{N + F} \right]_E} + \frac{1}{Hw} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{(E_p + 0,00591 N Hw)^{-1} + \frac{2N + F - 1 + 0,133 E_p}{E_g} - N}$$

- N : Nombre de vitres
- Ep: emittance de la vitre
- Eg: emittance de la plaque (0,88)
- Ta: Température ambiante(°K)
- Tp: Température de la plaque(°K)
- F= (1+0,089 Hw – 0,1166 Hw Ep) (1+0,07866 N)
- Hw: Coefficient de pertes thermiques par convection dues au vent,  
il est approximé par la relation:  $Hw = 5,67 + 3,86 Vv$  (Vv: vitesse du vent)
- C:  $520 (1 - 0,000051 \beta^2)$  pour  $0^\circ < \beta < 70^\circ$   
 $C(70)$  pour  $\beta \geq 70^\circ$
- $\beta$ : inclinaison du capteur
- E= 0,430 ( 1- 100/Tp)
- $\sigma$ : constante de Stéfán - Boltzmann:  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  (w/ m<sup>2</sup>.k<sup>4</sup>)

### 3.Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière

Ce coefficient est peu important que celui de l'avant, vu que le capteur est très bien isolé à l'arrière.

L'expression évaluant ce coefficient est donné par:

$$U_{ARR} = K_{ISOLANT} / E_{ISOLANT}$$

$K_{ISOLANT}$  : Coefficient de conductivité thermique de l'isolant

$E_{ISOLANT}$  : Epaisseur de l'isolant

#### 4.Coefficient de pertes thermiques latérales

La valeur du coefficient est inférieure à celle du coefficient de pertes vers l'arrière, vu que la surface latérale du capteur est peu importante. Il est exprimé par :

$$U_{LAT} = U_{ARR} ( A_{LAT} / A_C )$$

$A_{LAT}$  Aire du capteur

$A_C$  :Surface du capteur

#### 5.Coefficient de pertes thermiques globales

$$U_G = U_{LAT} + U_{ARR} + U_{AV}$$

APPENDICE D  
CALCUL DE FR FACTEUR DE CONDUCTANCE

Le facteur de conductance  $F_R$  : [4 ]

$$F_R = \left[ M C_{PEAU} \left( 1 - \exp\left( \frac{-F_C L}{M C_{PEAU}} \right) \right) \right] / UG$$

M: débit massique par unité de surface ( Kg /s .m<sup>2</sup>)

$$M=70 \text{ l / h / capteur } = 0,02 \text{ Kg / s.m}^2$$

L : longueur du tube

Le facteur d'efficacité  $F_C$  est calculé par la relation suivante [ 4 ] :

$$F_C = \frac{1/U_L}{W \left[ \frac{1}{U_L [(W-D)F_A + D]} + \frac{1}{h_{ci} \left( \frac{\pi D_I}{2} + D_I \right)} \right]}$$

$F_A$  : efficacité de l'ailette qui est donnée par :[4 ]

$$F_A = \frac{th \left( m \cdot \frac{W-D}{2} \right)}{m \left[ \left( \frac{W-D}{2} \right) \right]} \quad m^2 = \frac{U_L}{K_p E_p}$$

$K_p$  : conductivité thermique de l'absorbeur.

$E_p$  : épaisseur de la plaque absorbante .

W : Distance entre 2 tubes.

$h_{ci}$  : coefficient de transfert de chaleur entre la surface intérieure de la plaque et le fluide caloporteur .

$$h_{ci} = \frac{N_U K_{EAU}}{L}$$

Il est donné par le nombre de Nusselt pour un écoulement donné, comme le débit du fluide dû à la convection naturelle est du même ordre de grandeur que celui dû à la convection forcée provoquée par la pompe. Ce phénomène de convection mixte est régi par l'équation (1) sous les conditions: [7]

$$\left(\frac{L}{D}\right) > 50 \quad \text{et} \quad 1 < \frac{G_R}{Re} < 10$$

$$N_U = 1.75 \left(\frac{\mu_F}{\mu_P}\right)^{0.14} \left[ Re \cdot P_R \left(\frac{D}{L}\right) + 0.012 \left( G_R^{0.33} \cdot Re \cdot P_R \cdot \frac{D}{L} \right)^{1.33} \right]^{0.33}$$

♦  $\mu_F$  : viscosité à la température moyenne du fluide .

♦  $\mu_P$  : viscosité la température des parois .

♦  $Re$  : nombre de Reynolds:  $\frac{\rho V L}{\mu_F}$

♦  $P_R$  : nombre de Prandtl:  $\frac{\mu_F C_P}{K_F}$

♦  $G_R$  : nombre de Grashof:  $\frac{\beta g \rho^2 L^3 \Delta T}{\mu_F^2}$

♦ Les formules suivantes sont tirées de la Revue générale de thermique [5]

Les caractéristiques thermodynamiques de l'eau en fonction de la température prise en Compte, sont données par les fonctions suivantes : (T : Température de l'eau en (°C))

1- Masse volumique de l'eau (Kg /m<sup>3</sup>)

$$\rho = 1001 - 0,08832 T - 0,003417 T^2$$

2- Capacité thermique massique de l'eau (J / Kg.K)

$$C_P = 4226 - 3,244.T + 0,0575.T^2 - 0,0002656.T^3$$

3-Coefficient de conductivité thermique de l'eau (W / m.K )

$$K = 0,557 + 0,002198.T - 0,00000708.T^2 - 0,000000025.T^3$$

4 - Coefficient cubique de dilatation thermique de l'eau (K<sup>-1</sup>)

$$\beta = (0,3 + 0,116.T - 0,0004.T^2) \cdot 10^{-4}$$

5-Viscosité cinématique de l'eau (m<sup>2</sup> /s)

$$\gamma = (1 / 0,5155 + 0,0192.T) - 0,12 \cdot 10^{-6}$$

## APPENDICE E

## CALCUL DES FACTEURS « CASH FLOW », E

$$E_4 = \frac{\left[ (1+r)^N - (1+e)^N \right]}{(1+r)^N (r-e)} \text{ années}$$

$$E_3 = \frac{(1+r)^P - 1}{r(1+r)^P} \text{ années}$$

$$E_2 = \frac{\left[ (1+r)^N - (1+i)^N \right]}{(1+r)^N (r-i)} \text{ années}$$

$$E_7 = \frac{1 - (1+S)^P}{-S} \text{ années}$$

$$E_6 = \frac{\left[ (1+r)^P - (1+S)^P \right]}{(1+r)^P (r-S)} \text{ années}$$

$$E_5 = \frac{(1+S)^P - 1}{S(1+S)^P} \text{ années}$$

$$E_1 = \alpha + (1-t)e E_2 + (1-\alpha)(1-t) \frac{E_3}{E_5} + t \frac{E_6}{E_7}$$

$\alpha$  : versement initial comme avance du coût total initial du système de chauffage  
Solaire.

$t$  : taux de revenu, % ( par an).

$e$  : taux d'inflation du coût de l'énergie conventionnelle du système d'appoint

$S$  : taux d'intérêt de l'hypothèque, (% , par an)

$P$  : période d'hypothèque

$N$  : durée de vie de l'installation

$r$  : taux d'inflation du marché au début de la durée de vie.

$i$  : taux d'inflation du coût des marchandises et services

## APPENDICE F

RESULTATS OBTENUS  
POUR LES DIFFERENTES ZONES CLIMATIQUES1- BATNA

Tableau F.1.1- Calcul de la fraction solaire F

		Calcul de la fraction solaire F F(%)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	84.74	72.37	64.68	58.07	52.70	41.98
60	81.71	68.38	59.82	52.58	46.82	35.65
70	78.64	64.56	55.35	47.62	41.51	30.71

Tableau F.1.2- Calcul de la charge annuelle totale L

		Calcul de la charge annuelle totale L L(10 <sup>9</sup> J)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0.96	1.94	2.85	3.79	4.70	7.03
60	1.24	2.48		4.86	6.02	9.01
70	1.51	3.03	4.44	5.92	7.34	10.0

Tableau F.1.3- Calcul de la surface optimale A<sub>op</sub>

		Calcul de la surface optimale A <sub>op</sub> A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0	0	0.98	3.67	5.63	7.35
60	0	0	2.76	5.66	7.40	10.29
70	0	0.16	4.25	6.75	6.75	11.76



## 2- CHLEF

Tableau F.2.1- Calcul de la fraction solaire F

		Calcul de la fraction solaire F				
		F(%)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	86.65	75.49	68.34	62.08	56.94	46.30
60	82.76	69.52	61.29	58.27	50.15	37.92
70	78.48	63.75	54.73	47.66	41.97	31.44

Tableau F.2.2- Calcul de la charge annuelle totale L

		Calcul de la charge annuelle totale L				
		L(10 <sup>9</sup> J)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0.84	1.68	2.47	3.29	4.07	6.10
60	1.11	2.23	3.27	4.48	5.68	8.06
70	1.38	2.77	4.06	5.42	6.71	10.00

Tableau F.2.3- Calcul de la surface optimale A<sub>op</sub>

		Calcul de la surface optimale A <sub>op</sub>				
		A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0	0	0	1.54	3.61	7.22
60	0	0	0	3.95	5.99	9.26
70	0	0	2.55	5.53	7.22	10.61

## 3-TAMANRASSET

Tableau F.3.1- Calcul de la fraction solaire F

		Calcul de la fraction solaire F				
		F(%)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	90.57	83.33	76.55	70.59	65.55	54.47
60	87.64	68.57	68.88	61.85	56.32	44.16
70	84.52	71.07	61.56	54.48	48.24	36.39

Tableau F.3.2- Calcul de la charge annuelle totale L

		Calcul de la charge annuelle totale L				
		L(10 <sup>9</sup> J)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0.76	1.53	2.25	3.00	3.71	5.55
60	1.03	2.08	3.05	4.06	5.03	7.53
70	1.31	2.62	3.84	5.23	6.35	9.50

Tableau F.3.3- Calcul de la surface optimale A<sub>op</sub>

		Calcul de la surface optimale A <sub>op</sub>				
		A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0	0	0.84	3.56	5.24	8.71
60	0	0	2.78	5.90	7.71	10.86
70	0.5	1.4	4.72	7.43	9.05	12.67

## 4-TLEMCEN

Tableau F.4.1- Calcul de la fraction solaire F

		Calcul de la fraction solaire F F(%)					
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500	
50	87.27	76.36	69.16	68.89	57.44	46.44	
60	83.37	70.23	61.76	61.38	49.11	37.77	
70	79.28	64.43	55.05	54.68	41.99	31.31	

Tableau F.4.2- Calcul de la charge annuelle totale L

		Calcul de la charge annuelle totale L L(10 <sup>9</sup> J)					
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500	
50	0.87	1.75	2.57	2.61	4.25	6.35	
60	1.14	2.30	3.37	3.42	5.57	8.33	
70	1.42	2.84	4.17	4.23	6.89	10.30	

Tableau F.4.3- Calcul de la surface optimale A<sub>op</sub>

		Calcul de la surface optimale A <sub>op</sub> A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )					
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500	
50	0	0	0	2.74	4.94	8.30	
60	0	0	1.69	5.08	6.86	10.05	
70	0	0	3.63	6.27	7.89	11.36	

## 5- BISKRA

Tableau F.5.1- Calcul de la fraction solaire F

		Calcul de la fraction solaire F F(%)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	87.48	76.75	69.84	63.87	58.94	48.65
60	83.58	70.95	63.09	56.37	50.93	40.12
70	79.82	65.50	56.63	49.50	43.93	33.24

Tableau F.4.2- Calcul de la charge annuelle totale L

		Calcul de la charge annuelle totale L L(10 <sup>9</sup> J)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0.76	1.53	2.25	3.00	3.72	5.56
60	1.04	2.08	3.05	4.07	5.04	7.54
70	1.31	2.62	3.85	5.13	6.36	9.51

Tableau F.5.3- Calcul de la surface optimale A<sub>op</sub>

		Calcul de la surface optimale A <sub>op</sub> A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0	0	0	0.38	2.38	7.578
60	0	0	0.31	3.19	5.36	8.809
70	0	00	2.01	5.22	7.00	10.44

## 6- ADRAR

Tableau F.6.1- Calcul de la fraction solaire F

		Calcul de la fraction solaire F F(%)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	90.14	81.81	75.02	69.45	64.59	54.21
60	87.94	75.97	68.30	61.59	56.06	44.85
70	85.72	70.20	61.52	54.22	48.47	37.07

Tableau F.6.2- Calcul de la charge annuelle totale L

		Calcul de la charge annuelle totale L L(10 <sup>9</sup> J)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0.68	1.37	2.01	2.69	3.33	4.98
60	0.95	1.92	2.81	3.75	4.65	6.95
70	1.23	2.46	3.61	4.82	5.97	8.93

Tableau F.6.3- Calcul de la surface optimale A<sub>op</sub>

		Calcul de la surface optimale A <sub>op</sub> A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0	0	0	1.20	2.94	6.11
60	0	0	1.18	3.82	5.80	9.32
70	0	0	2.84	6.00	7.82	11.35

## 7- DAR EL BEIDA (Alger)

Tableau F.7.1- Calcul de la fraction solaire F

		Calcul de la fraction solaire F F(%)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	86.11	74.80	67.49	60.94	55.68	44.89
60	81.98	68.57	60.08	53.01	47.53	36.48
70	77.93	62.65	53.31	46.31	40.57	30.21

Tableau A6.7.2- Calcul de la charge annuelle totale L

		Calcul de la charge annuelle totale L L(10 <sup>9</sup> J)				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0.82	1.77	2.60	3.46	4.29	6.42
60	0.96	2.31	3.40	4.53	5.61	8.39
70	1.42	2.86	4.19	5.59	6.93	1.04

Tableau F.7.3- Calcul de la surface optimale A<sub>op</sub>

		Calcul de la surface optimale A <sub>op</sub> A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )				
Masse(litres)/ T <sub>DES</sub> (°C)	200	400	600	800	1000	1500
50	0	0	0	2.16	4.45	7.82
60	0	0	1.08	4.49	6.29	9.40
70	0	0	2.92	5.59	7.19	10.49

## APPENDICE G

REPRESENTATION DE F (FRACTION SOLAIRE) POUR DIFFERENTES  
 MASSES À CHAUFFER  
 POUR TOUTES LES ZONES CLIMATIQUES

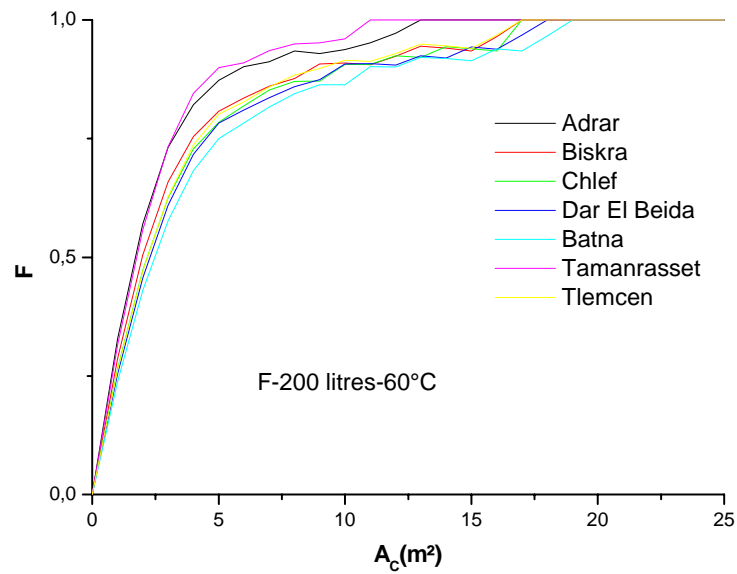
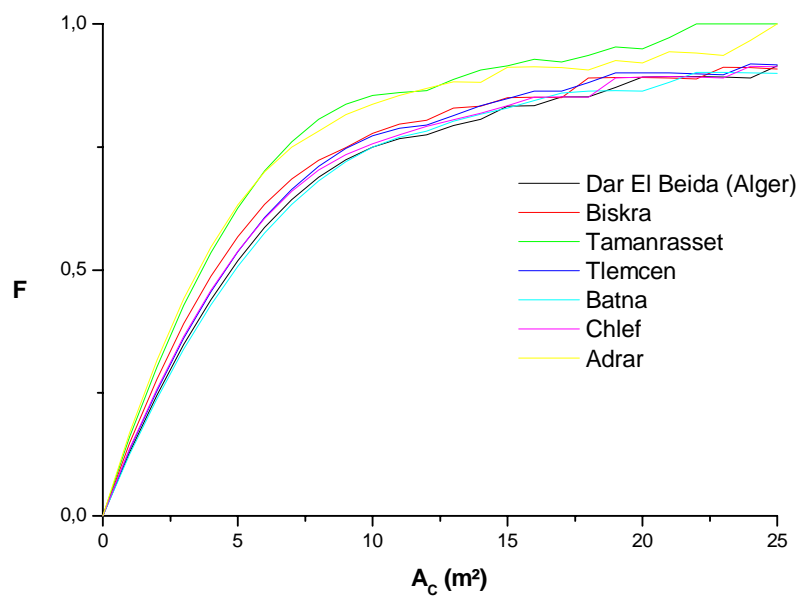
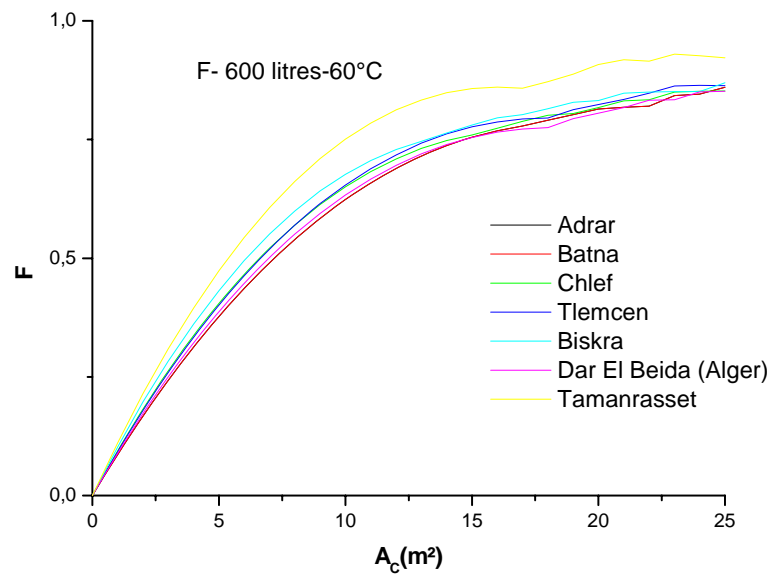


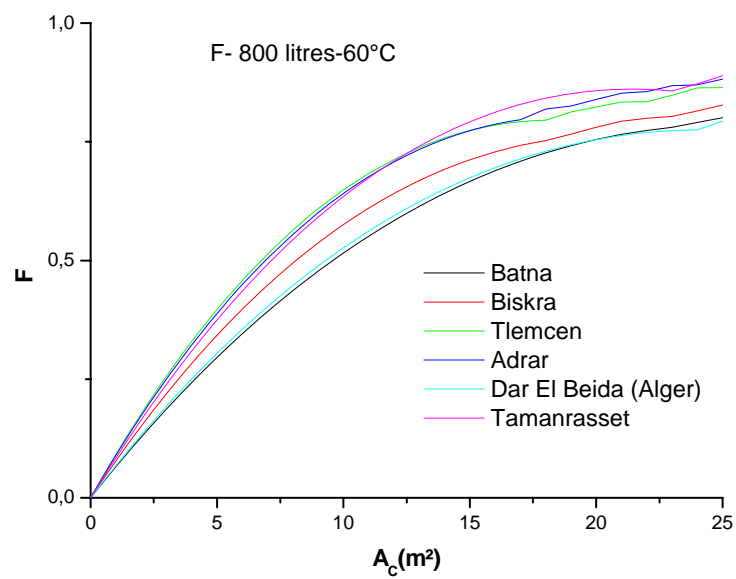
Figure G.1- Représentation de f (fraction solaire), (masse=200 litres)



FigureG.2- Représentation de f (fraction solaire), (masse=400 litres)



FigureG.3- Représentation de  $f$  (fraction solaire), (masse=600 litres)



FigureG.4- Représentation de  $f$  (fraction solaire), (masse=800 litres)



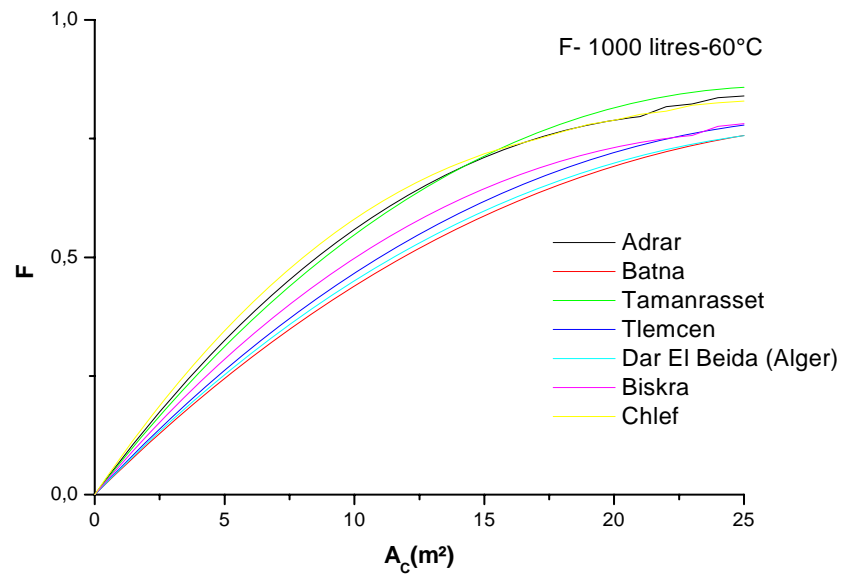


Figure G.5- Représentation de f (fraction solaire), (masse=1000 litres)

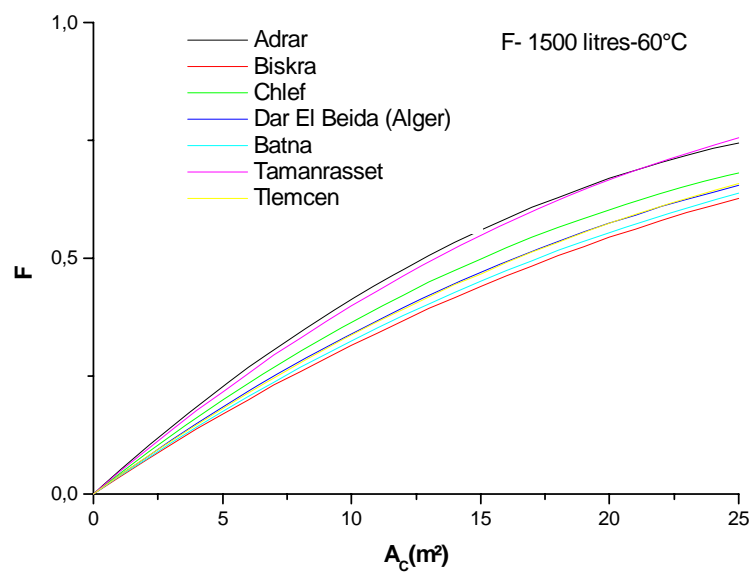


Figure G.6- Représentation de f (fraction solaire),(masse=1500 litres)

## APPENDICE H

REPRESENTATION DE F (FRACTION SOLAIRE) POUR LE SITE DE  
ADRAR POUR DIFFERENTES MASSES A CHAUFFER  
POUR DIFFERENTES TEMPERATURES DESIREES

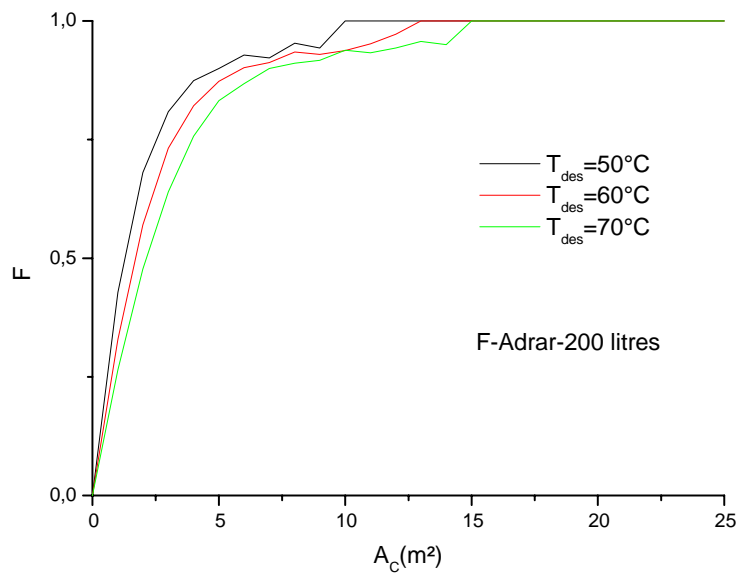
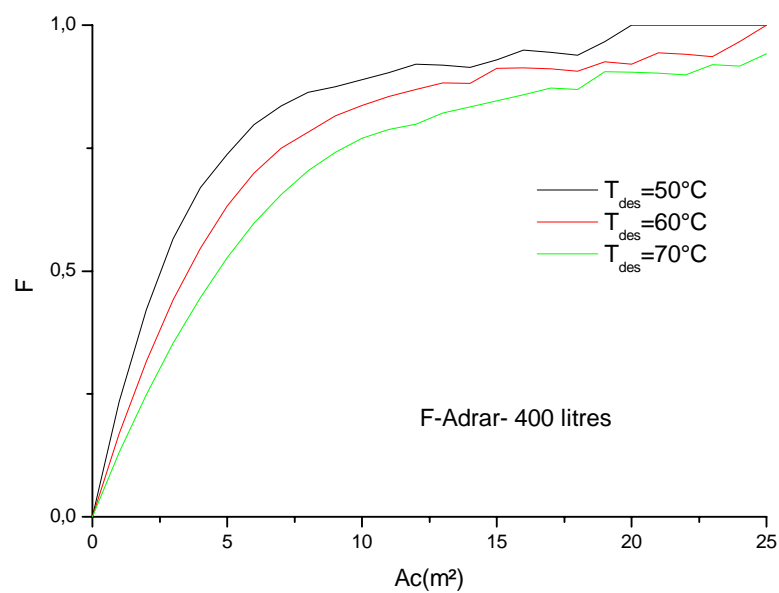


Figure H.1- Représentation de f (Adrar), (masse=200litres)



FigureH.2- Représentation de f (Adrar), ( masse=400 litres)

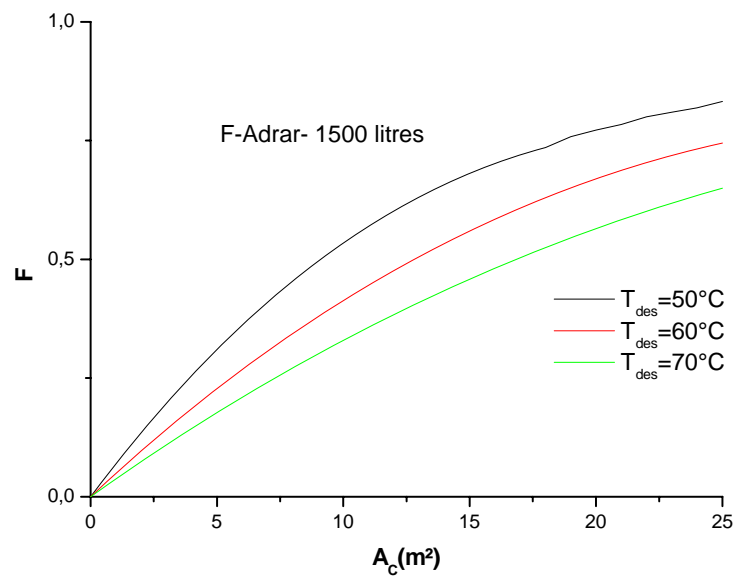


Figure H.3- Représentation de  $f$  (Adrar), (masse=1500 litres)

## APPENDICE I

VARIATION DE LA SURFACE OPTIMALE EN FONCTION DE LA MASSE  
A CHAUFFER POUR DIFFERENTES TEMPERATURES DESIREES  
POUR LES DIFFERENTES ZONES CLIMATIQUES

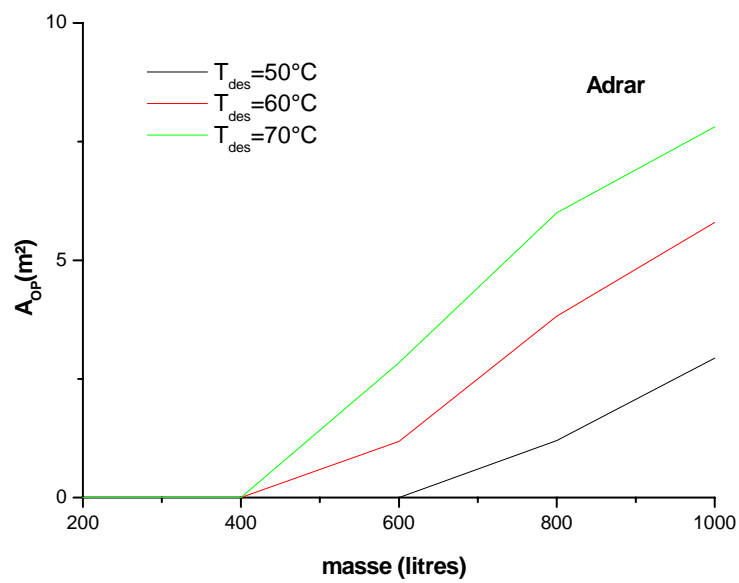


Figure I. 1- variation de la surface optimale en fonction de la masse a chauffer  
Pour différentes températures désirées (Adrar)

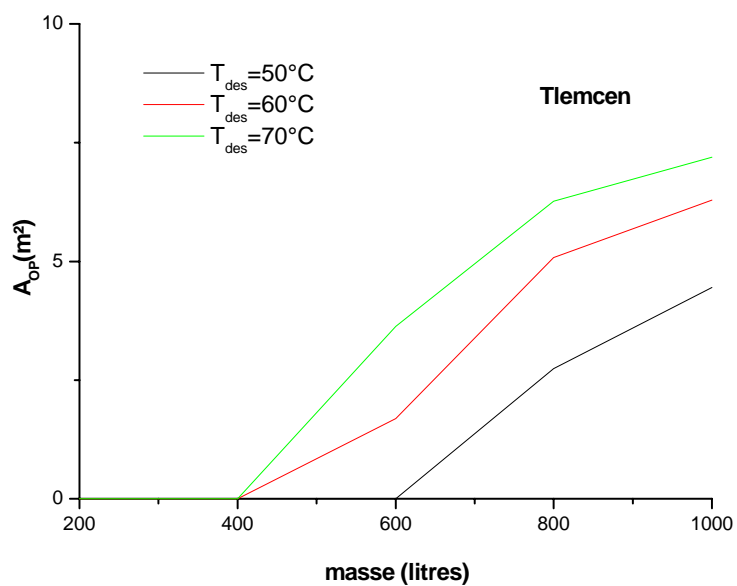


Figure I.2 -variation de la surface optimale en fonction de la masse a chauffer  
Pour différentes températures désirées (Tlemcen)

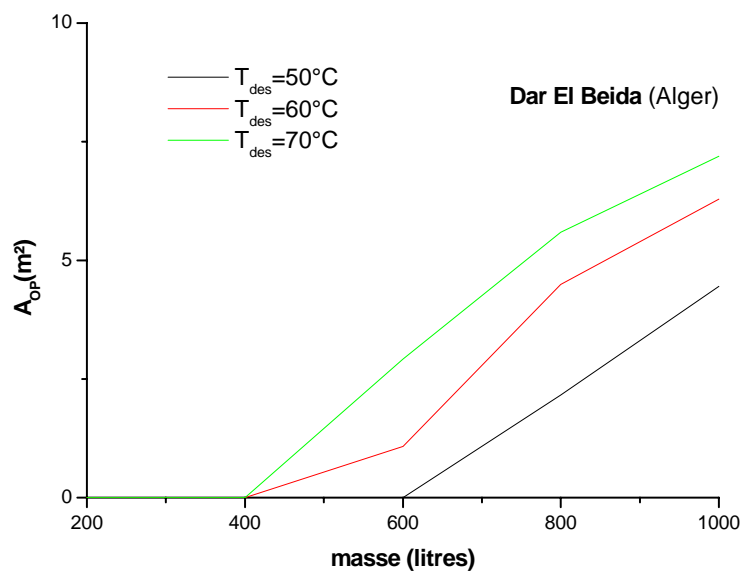


Figure I. 3- variation de la surface optimale en fonction de la masse a chauffer  
pour différentes températures désirées (Dar El Beiba - Alger)

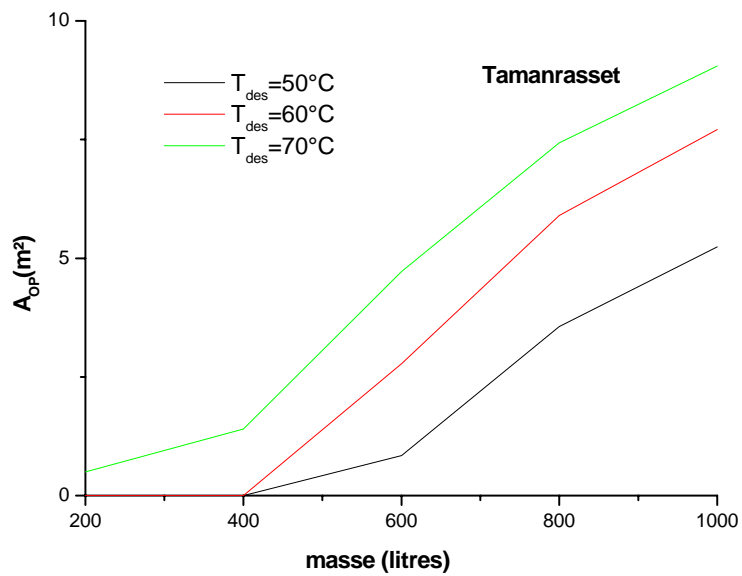


Figure I. 4- variation de la surface optimale en fonction de la masse a chauffer  
Pour différentes températures désirées (Tamanrasset)

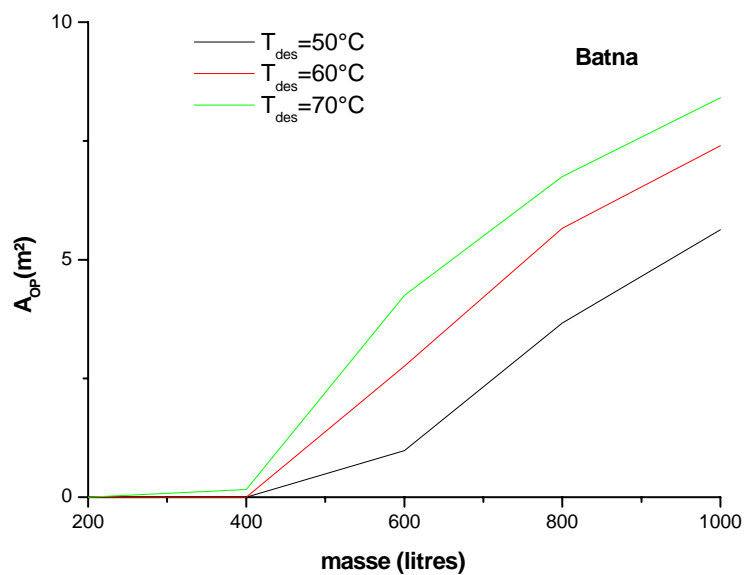


Figure I. 5- variation de la surface optimale en fonction de la masse a chauffer  
Pour différentes températures désirées (Batna)

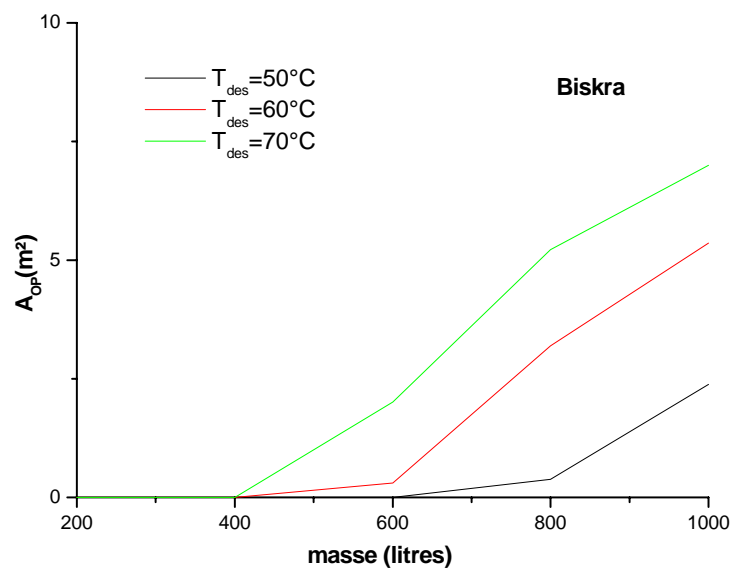


Figure I. 6- variation de la surface optimale en fonction de la masse a chauffer  
Pour différentes températures désirées (Biskra)

## APPENDICE J

MOYENNES PENTADAIRES DES TEMPERATURES MINIMALES ET  
MAXIMALES POUR LES DIFFERENTES ZONES CLIMATIQUES

Station : **Dar El Beida**  
Latitude: **36,72 N**  
Altitude: **24,4 M**

Indicatif : **60390**  
Longitude : **03,25 E**  
Période : **1975 -1984**

## Moyennes pentadaires des températures minimales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	4.6	5.7	6.3	8.0	10.0	14.1	17.9	20.0	17.3	14.3	10.8	6.8
06 au 10	5.1	6.7	6.1	8.0	10.6	14.6	17.5	19.2	17.2	14.0	11.3	7.1
11 au 15	5.6	6.8	6.4	8.5	11.0	15.6	18.6	18.4	16.7	13.4	9.6	8.3
16 au 20	5.7	6.1	6.5	9.1	11.6	15.3	18.8	18.1	17.0	14.0	8.7	7.8
21 au 25	6.0	6.5	7.3	9.0	11.7	16.1	18.9	18.3	16.2	12.7	7.9	6.7
26 au 31	5.6	6.4	7.7	9.8	13.2	16.6	18.4	18.3	15.9	10.4	6.9	6.9
Moyenne	5.4	6.4	6.7	8.7	11.4	15.4	18.4	18.7	16.8	13.1	9.2	7.3

## Moyennes pentadaires des températures maximales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	16.7	17.4	18.0	19.7	21.4	25.0	28.3	31.9	29.1	27.4	22.2	17.0
06 au 10	16.6	17.9	18.0	19.4	21.2	26.5	30.4	31.3	29.6	26.2	22.5	19.1
11 au 15	15.8	15.8	18.9	19.1	22.4	27.1	30.9	31.1	29.0	25.5	20.6	18.9
16 au 20	16.5	16.6	18.4	20.2	23.7	27.4	31.2	30.5	28.8	24.5	19.1	17.5
21 au 25	16.4	17.0	19.2	20.6	23.3	27.7	31.2	30.1	28.2	23.1	19.3	16.4
26 au 31	17.1	17.9	19.0	20.9	23.4	27.8	31.8	29.6	27.9	21.9	17.9	17.1
Moyenne	16.5	17.1	18.6	20.0	22.6	26.9	30.6	30.7	28.8	24.8	20.3	17.6



Station : **Tlemcem Zenata**  
 Latitude: **35,00 N**  
 Altitude: **248,5 M**

Indicatif : **60531**  
 Longitude : **01,45 W**  
 Période : **1981- 1984**

Moyennes pentadaires des températures minimales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	2.6	3.2	5.9	9.3	10.6	13.5	17.3	18.7	16.8	14.5	10.5	4.9
06 au 10	4.2	5.1	4.3	8.5	11.9	15.3	17.5	18.2	18.1	12.3	11.0	5.9
11 au 15	2.8	4.6	7.7	11.2	10.4	16.8	17.9	17.7	17.2	12.2	9.2	7.7
16 au 20	4.2	5.3	7.0	9.7	10.9	17.1	17.3	18.3	17.4	12.7	10.0	7.6
21 au 25	5.4	6.2	9.3	9.8	11.1	16.7	17.9	17.8	16.3	11.5	8.6	7.4
26 au 31	3.3	6.9	7.8	9.7	13.0	15.8	17.7	17.7	15.0	9.7	7.6	4.2
Moyenne	3.7	5.2	7.0	9.7	11.3	15.9	17.6	18.1	16.8	12.1	9.5	6.3

Moyennes pentadaires des températures maximales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	16.3	16.8	19.8	20.6	23.6	25.8	29.0	30.8	31.0	28.0	23.5	17.1
06 au 10	16.8	16.5	19.9	25.5	20.8	28.5	32.7	31.3	32.4	26.1	22.4	18.3
11 au 15	14.3	15.4	20.7	22.0	21.9	31.1	32.1	31.4	30.4	28.3	20.1	17.8
16 au 20	15.6	14.8	19.4	21.2	23.1	29.6	31.2	33.7	30.9	25.8	21.1	17.2
21 au 25	16.3	15.7	20.9	20.5	24.4	27.9	34.1	30.4	29.8	24.3	21.5	16.8
26 au 31	15.8	19.1	19.7	20.0	24.3	28.7	32.3	30.0	27.6	23.4	19.8	16.4
Moyenne	15.9	16.4	20.1	21.7	23.0	28.6	31.9	31.3	30.3	26.0	21.4	17.3

Station : **Adrar**  
 Latitude: **27,82 N**  
 Altitude: **263,9 M**

Indicatif : **60620**  
 Longitude : **00,18 W**  
 Période : **1975 - 1984**

Moyennes pentadaires des températures minimales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	5.1	5.3	9.3	12.2	17.7	22.7	26.6	26.7	25.6	19.6	12.0	5.3
06 au 10	4.5	7.7	8.3	15.3	19.0	24.2	27.1	26.2	24.9	18.0	11.6	6.7
11 au 15	4.1	7.1	10.5	16.1	18.1	24.5	27.0	27.7	23.3	16.9	9.7	7.0
16 au 20	4.4	6.7	11.3	16.1	18.9	25.1	26.6	27.0	23.3	16.5	9.1	7.2
21 au 25	4.0	7.9	11.8	16.5	20.4	26.5	26.8	26.7	22.1	14.9	8.7	4.0
26 au 31	5.1	8.5	13.5	17.5	21.8	26.0	26.4	25.8	19.9	12.7	5.9	3.4
Moyenne	4.5	7.2	10.8	15.6	19.3	24.8	26.8	26.7	23.2	16.4	9.5	5.6

Moyennes pentadaires des températures maximales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	21.0	22.5	26.6	30.1	33.9	40.2	44.6	44.5	42.7	35.8	27.1	21.8
06 au 10	19.3	24.3	25.9	32.8	35.4	41.7	45.5	44.8	40.6	34.6	27.6	23.0
11 au 15	19.2	22.6	27.6	31.6	35.1	42.0	44.5	45.0	40.5	34.3	26.1	23.1
16 au 20	20.4	23.4	27.9	31.8	36.4	43.0	45.2	44.4	39.8	32.6	24.5	21.5
21 au 25	20.2	24.6	28.8	33.3	37.9	44.0	44.9	43.9	38.0	30.9	24.7	19.9
26 au 31	21.5	25.4	29.8	33.7	38.6	44.1	44.5	43.0	36.9	28.6	22.2	20.4
Moyenne	20.3	23.8	27.8	32.2	36.2	42.5	44.9	44.3	39.8	32.8	25.4	21.6

Station : **Tamanrasset**  
 Latitude: **22.78 N**  
 Altitude: **1377,0 M**

Indicatif : **60680**  
 Longitude : **05,52 E**  
 Période : **1975 -1984**

Moyennes pentadaires des températures minimales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	6.1	5.8	8.4	11.6	18.4	22.0	23.1	22.4	22.3	18.2	12.1	7.2
06 au 10	5.7	7.2	8.2	14.0	18.4	22.3	22.5	22.2	21.3	17.9	11.6	7.8
11 au 15	6.0	7.9	10.0	15.2	19.3	23.0	23.2	22.9	20.6	17.2	11.5	6.7
16 au 20	4.8	7.1	11.2	16.1	19.1	22.4	22.8	22.3	20.2	15.4	9.9	6.5
21 au 25	4.3	7.1	12.0	16.6	20.9	22.7	22.6	22.3	20.1	14.7	8.4	5.9
26 au 31	5.4	7.4	12.1	17.6	21.5	23.5	22.5	22.0	19.1	13.7	7.4	4.9
Moyenne	5.4	7.1	10.3	15.2	19.6	22.7	22.8	22.4	20.6	16.2	10.1	6.5

Moyennes pentadaires des températures maximales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	19.9	21.0	23.7	27.1	31.3	34.8	35.0	33.9	33.7	30.3	25.4	22.0
06 au 10	19.6	21.7	23.1	29.3	32.4	34.9	34.9	34.0	33.0	30.7	25.8	21.6
11 au 15	19.5	21.6	24.0	29.7	32.8	34.9	34.8	34.6	32.4	30.3	25.2	21.9
16 au 20	19.8	21.6	25.7	30.3	33.2	34.4	34.6	34.4	32.4	29.1	24.1	21.3
21 au 25	19.3	22.2	25.6	30.1	34.1	35.4	34.1	34.6	32.2	28.4	22.3	19.9
26 au 31	20.5	22.9	26.7	31.4	35.0	36.0	34.4	34.1	30.9	26.6	21.0	20.0
Moyenne	19.8	21.8	24.8	29.6	33.1	35.0	34.6	34.3	32.4	29.2	23.9	21.1

Station : **Biskra**  
 Latitude: **34,80 N**  
 Altitude: **87,0 N**

Indicatif : **60525**  
 Longitude : **05,73 E**  
 Période : **1975 - 1984**

Moyennes pentadaires des températures minimales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	6.9	8.5	9.7	12.5	16.4	21.6	26.2	27.4	24.7	19.3	13.4	8.3
06 au 10	7.1	9.4	9.4	14.3	18.0	21.9	26.6	27.4	23.4	18.2	13.3	7.6
11 au 15	6.3	8.4	10.7	13.3	18.2	23.5	26.6	26.4	23.1	17.5	12.0	8.6
16 au 20	7.0	8.2	10.4	14.2	18.6	24.4	27.3	26.0	23.0	17.2	11.0	8.4
21 au 25	7.3	9.5	12.2	14.9	19.2	25.1	27.2	25.4	21.5	15.4	10.0	7.6
26 au 31	7.2	9.2	13.3	15.9	20.5	25.0	26.7	25.7	20.2	14.0	8.6	7.3
Moyenne	7.0	8.9	11.0	14.2	18.5	23.6	26.8	26.4	22.7	16.9	11.4	8.0

Moyennes pentadaires des températures maximales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	17.3	18.7	20.2	24.1	27.7	34.0	39.0	40.3	35.6	30.4	23.2	17.6
06 au 10	16.8	18.6	20.7	26.0	28.7	34.4	39.4	40.1	34.4	29.0	23.3	17.9
11 au 15	15.9	17.3	22.1	24.6	29.5	36.3	39.5	38.7	34.5	27.7	21.3	18.4
16 au 20	16.8	18.1	21.7	25.1	30.5	37.4	40.1	37.8	33.9	26.3	19.6	17.3
21 au 25	16.9	19.0	23.0	26.1	31.3	37.3	40.2	17.1	32.2	25.3	19.5	17.1
26 au 31	17.4	19.0	23.8	27.2	32.2	37.9	39.5	37.3	32.2	18.9	17.9	17.1
Moyenne	16.8	18.6	21.9	25.5	30.0	36.3	39.6	38.5	33.6	27.1	20.8	17.5

Station : **Echellif**  
 Latitude: **36,22 N**  
 Altitude: **103,0 M**

Indicatif : **60425**  
 Longitude : **01,33 E**  
 Période : **1975 - 1984**

Moyennes pentadaires des températures minimales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	4.7	6.1	6.7	8.2	11.1	15.1	19.1	21.6	19.1	15.1	11.0	6.4
06 au 10	4.5	6.6	6.4	9.2	11.9	16.9	19.9	21.0	19.2	14.8	11.1	7.2
11 au 15	5.0	6.5	7.0	9.4	12.2	17.6	20.5	20.8	18.0	13.8	9.4	8.5
16 au 20	5.6	5.9	6.9	9.9	12.7	17.6	21.2	20.2	17.7	14.3	8.9	7.4
21 au 25	5.6	6.7	7.6	10.2	13.4	17.9	21.4	19.9	17.1	13.2	7.8	6.4
26 au 31	5.4	6.8	8.2	10.9	14.6	18.4	20.7	19.3	16.1	11.1	6.4	6.1
Moyenne	5.1	6.4	7.1	9.6	12.7	17.3	20.5	20.5	17.9	13.8	9.1	7.0

Moyennes pentadaires des températures maximales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	16.2	17.4	18.8	20.9	24.1	29.7	34.5	37.5	33.6	29.6	22.9	16.5
06 au 10	15.5	17.9	19.3	22.3	23.6	31.8	36.9	37.2	34.0	28.2	21.9	18.0
11 au 15	14.7	15.2	19.4	21.5	25.9	32.0	37.4	37.4	33.2	26.9	20.5	17.8
16 au 20	15.6	16.5	19.4	22.0	26.3	32.8	35.0	35.8	32.6	25.0	19.2	16.0
21 au 25	15.8	16.7	20.1	23.5	27.1	33.0	38.7	34.6	31.2	24.4	18.7	15.1
26 au 31	16.4	18.2	20.5	23.1	27.1	33.9	37.8	33.6	29.8	23.1	17.2	15.7
Moyenne	15.7	17.0	19.6	22.2	25.7	32.2	37.2	36.0	32.4	26.2	20.1	16.5

Station : **Batna**  
 Latitude: **35,55 N**  
 Altitude: **1051,9 M**

Indicatif : **60468**  
 Longitude : **06,18 E**  
 Période : **1975 - 1984**

Moyennes pentadaires des températures minimales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	0.5	1.6	1.7	3.7	7.8	12.0	16.9	18.2	15.0	10.7	5.6	1.9
06 au 10	0.4	2.5	2.2	5.4	8.7	12.6	17.3	17.6	14.2	9.7	6.0	1.6
11 au 15	0.3	1.6	2.4	5.3	8.4	14.2	17.0	16.8	13.9	9.3	4.6	2.4
16 au 20	0.7	1.0	2.8	6.0	9.5	14.1	16.7	16.5	13.8	9.1	4.0	1.9
21 au 25	1.0	2.1	3.7	6.0	9.6	15.3	17.4	16.5	12.5	7.4	2.6	1.7
26 au 31	1.2	1.8	4.5	7.0	11.5	15.6	16.6	16.2	11.4	6.1	1.6	2.0
Moyenne	0.7	1.8	2.9	5.6	9.3	13.9	17.0	17.0	13.5	8.7	4.1	1.9

Moyennes pentadaires des températures maximales (°C)

PENTADE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
01 au 05	11.1	11.1	12.9	15.7	19.5	25.8	32.1	34.4	28.6	23.0	16.1	10.3
06 au 10	10.2	12.8	12.7	17.7	20.2	27.7	32.8	33.3	27.4	22.2	16.7	12.3
11 au 15	9.4	9.4	14.6	16.6	20.5	29.1	33.2	33.2	27.6	21.1	14.3	12.7
16 au 20	9.6	10.5	14.1	16.3	22.8	29.9	33.4	30.8	27.1	19.2	12.2	11.3
21 au 25	9.9	11.2	14.5	18.2	23.4	30.2	33.4	30.3	25.2	18.3	12.6	9.9
26 au 31	10.5	11.3	15.5	19.6	24.2	30.6	32.9	30.2	23.8	16.4	10.8	10.3
Moyenne	10.1	11.1	14.0	17.4	21.8	28.9	33.0	31.8	26.6	15.0	13.8	11.1

## REFERENCES

1. Belhamel, M., “Les énergies renouvelables : perspectives Algérienne à l’horizon 2020”, 2<sup>e</sup> Symposium du comité Algérien de l’énergie- Economie d’énergie et environnement- Alger 15 & 16 Novembre (2000).
2. Chergui, B. “Economie d’énergie pour un partenariat Euroméditerranéen” 2<sup>e</sup> Symposium du comité Algérien de l’énergie- Economie d’énergie et environnement- Alger 15 & 16 Novembre (2000).
3. Gilles, R. “Production d’eau chaude sanitaire par énergie solaire : dimensionnement des installations, paramètres de fonctionnement Chauffage, ventilation et conditionnement” Edition Edisud, Octobre (1978).
4. Cabirol, T, Pelissou, A et Roux, D., “Le chauffe eau solaire”. Edition Edisud, (1982).
5. Revue générale de thermique- Tome XXI – N: 246-247- Juin – Juillet, (1982).
6. Ouzzane, M, Makhlouf, H., “Chauffage solaire de l’eau, installation collective 1500 litres” Rapport interne CDER, (1992)
7. Sami, S, Lafri, D et Hamid, A., “Etude du comportement thermique d’une installation de chauffage d’eau collective”, Revue des Energies. Renouvelables, Numéro spécial- Energies Renouvelables- Valorisation- pp 255 –260 – Tlemcen,(1999).
8. Sami, S., “Etude et réalisation d’une installation de chauffage d’eau sanitaire d’une capacité de 1500 litres”, Rapport interne -CDER- Décembre (2000).
9. Chateauminois, M, Mandineau, D et Roux, D., “ Calcul d’installations solaires à eau” Edition Edisud, (1982).
10. Sfier, A.A, Guarracino, G., “ Ingénierie des systèmes solaires”. Application à l’habitat. Edition technique et documentation, Paris (1981).
11. Duffie, J.A, Beckman, W.A, . “ Solar energy thermal process”. Edition Wiley. (1996). 2<sup>nd</sup> edition
12. Chang, K.K, Minardi, A. “An optimization formulation for Solar heating systems”, Solar energy Vol. 24 pp, 99 to 103. (1980).

13. Sami-Mecheri ,S,Hamid,A,Lafri,D et Semmar,D. ‘‘L’appoint pour les installations solaires de chauffage d’eau sanitaire’’. 2<sup>e</sup>Symposium du comité Algérien de l’énergie- Economie d’énergie et environnement- Alger 15 & 16 Novembre (2000).
14. Gladius,L., ‘‘optimal sizing of a collector for a domestic water heating system’’solar & wind technology vol .4 , N°3, pp 411- 414 (1987).
15. Sami-Mecheri,S,Hamid,A ,Belhamel,M etAit Messaoudenne,N,. ‘‘Etude de la rentabilité d’une installation solaire de chauffage d’eau collective application à différents sites Algériens’’. Rev. Energ. Re. Numéro spécial JITH (2003), pp: 53 – 57.
16. Hamid ,A, Sami-Mecheri ,S, Lafri,D et Semmar,D,. ‘‘study and realization of a solar water heating installations for different remote sites of Algeria’’. Emirats Arabes Unis - 19-22 february (2001).
17. Sami ,S, Hamid,A, Lafri,D et D.Semmar. ‘‘Optimisation des surfaces de captation des installations solaires de chauffage collectif ‘’. Rev. Energ. Rn. Numéro spécial- l’Heliothermie, Environnement Et La Maîtrise Des Systèmes Solaires- pp : 160-167 -Alger- 13 – 15 Mai (2000).
18. Hamid,A, Sami ,S, Lafri,D, Semmar,D et Kharchi,R,. ‘‘ Etude et réalisation d’une installation de chauffage d’eau collective’’ Rev. Energ. Rn. Numéro spécial- Zones Arides- pp : 95-100, CSTR (2002).
19. Barley, C. D et Winn,B,. ‘‘Optimal sizing of solar collectors by the method of relative areas’’. Solar energy Vol 21 pp 279-289- (1978) .
20. Hamid, D et Bendrihem,H,. ‘‘Influence du système de chauffage solaire sur la consommation Energétique du pays’’. 1<sup>er</sup>Symposium du comité algérien de l’énergie, "le secteur de l’énergie en Algérie face aux défis du XXI<sup>ème</sup> siècle". Alger: 25-26 Novembre (1996).
21. Michel,E, Espic,R et Isoardi,JP. ‘‘Eau chaude sanitaire solaire : le calcul des économies’’Promoclim. Etudes thermiques et aérauliques. Tome 13<sup>E</sup>-N°5-décembre (1982).
22. Kumar,A, Goyal,A et Sodha,M.S. ‘‘Technicoeconomic optimization of solar natural convection hybrid hot water ’’.international journalof energy research, vol. 12, pp 661-678- (1988).
23. Raznjevic,K. ‘‘Tables et diagrammes thermodynamiques’’ Editions Eyrolles,(1970).



24. Djenas,N. “Elaboration des zones climatiques en Algérie”. Thèse de fin d'études pour le diplôme de DEA,(1984).
  
25. Cours d'orientation sur les applications pratiques des sources d'énergie Renouvelables. Partie II- Conversion thermique de l'énergie solaire. Laboratoire solaire de l'université de Split- (1999).document présenté au 2eme stage de formation à l'exploitation des sources d'énergie Renouvelables dans la région méditerranéenne, organisé par le PNUE et Le CIEMAT.
  
26. Boumerhat, M et Gourdin,A. “Méthodes numériques appliquées”. Office Des publications universitaires-10-(1993).
  
27. Office national de météorologie. " Atlas climatique"- Recueil de données- 1974-1984. Publiés en (1995).

