

Optimisation des surfaces de captation pour les installations solaires de chauffage d'eau sanitaire

Sabrina Sami-Mecheri¹, Maiouf Belhamel¹, Abdelkader Hamid² et Nouredine Aït Messaoudène²

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

² Institut de Génie Mécanique; Faculté des sciences de l'ingénieur,
Université Saad Dahleb, Route de Soumaa, Blida

(reçu le 20 Septembre 2007 – accepté le 25 Décembre 2007)

Résumé - La détermination d'une surface de captation optimale est devenue un souci primordial dans la conception des systèmes solaires en général. En effet, l'influence du dimensionnement par rapport à la fiabilité des résultats obtenus d'une installation de chauffage d'eau sanitaire est très importante. L'objectif de ce travail est de déterminer la surface optimale d'une installation solaire de chauffage d'eau à partir de la méthode F-Chart, en tenant compte des aspects économiques et thermiques de l'installation. L'étude est réalisée pour différents sites. L'étude a révélé qu'une installation de chauffage d'eau collective avec des prix de capteurs bas était plus rentable.

Abstract - The determination of an optimum catchment area has become a primary concern in the design of solar systems in general. Indeed, the influence of the installation sizing compared to the reliability of the results of a heating installation of sanitary water is very important. The objective of this work is to determine the optimal surface of a solar water heating installation from the F-Chart method, taking into account the thermal and economic aspects. The study was performed for different zones.

Mots clés: Système solaire - Dimensionnement - Chauffage d'eau - Surface optimale - Masse d'eau à chauffer.

1. INTRODUCTION

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 très 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 à certaines discussions qu'aurait entraîné ce système, le Ministère de l'Energie et des Mines [1] a élaboré fin 1990, un document relatif à la tarification des produits

énergétiques basé sur le principe de la vérité des prix. Ce document entre 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 (chauffe-eau solaires) est, sans aucun doute, une des applications les plus maîtrisées. 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 locative fixe que l'on peut inclure dans le budget des ménages, il n'en est pas de même pour les autres charges (chauffage, eau, électricité) qui accusent des variations en fonction de la saison et du coût 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 coût de l'énergie (gaz et 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 dans le budget d'un ménage. Cette dernière pourrait donc être revue à la baisse, grâce à l'introduction de la technologie faisant appel au solaire thermique. En effet, une fois les investissements amortis, le chauffage de l'eau sanitaire par des capteurs thermiques solaires ne représente plus qu'un coût marginal.

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 [2].

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 optimiser 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 [3].

Dans notre étude, nous ne prendrons pas en compte l'inflation, car cela est impossible actuellement du fait de la non disponibilité de ces données.

2.2 Objet de l'optimisation

Le souci le plus important dans la conception des systèmes de chauffage solaire avec appoint est la surface de captation. La surface de captation représente financièrement la plus grande partie de l'investissement d'une installation de chauffage solaire. C'est pour cela qu'il faudrait optimiser la surface de captation. Une étude menée pour le compte de l'Office Fédéral de l'Energie 'OFEN', programme d'action d'Energie 2000, programme d'action 'énergie suisse', sur les installations solaires, affirme ce qui précède.

La figure 1 représente la répartition des coûts pour les installations solaires. On voit clairement que les capteurs représentent un bon tiers de l'investissement solaire. Le stockage solaire représente environ un cinquième des coûts.

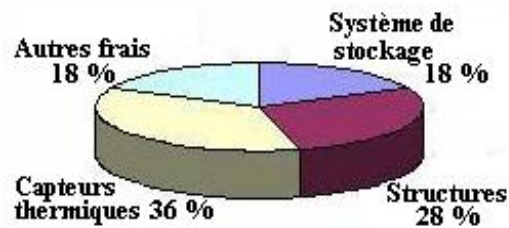


Fig. 1: Structure des coûts pour les installations solaires usuelles (Valeurs moyennes)

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 difficiles, comme l'approche bien connue de Stickford, tandis que d'autres méthodes sont facilement exploitables, mais sont dépendantes du site d'implantation. D'autres méthodes souvent utilisées sont les méthodes empiriques. Les méthodes restantes sont caractérisées par la négligence de certains paramètres complexes, en général, ce qui fausse l'exactitude des résultats [4, 5].

Ces méthodes empiriques sont:

- ◆ Approche de Duffie, Beckmann and Dekker
- ◆ Approche de Barley - Byron
- ◆ Approche de Chang - Minardi.

2.3.1 Approche de Duffie, Beckmann and Dekker

Cette méthode se sert de l'approche bien connue de Duffie, Beckmann and Dekker [5, 6], donnée par les gains annuels:

$$\text{gains} = C_F \cdot F \cdot L - I \cdot (C_C \cdot A_C + C_T \cdot A_C + C_F) \quad (1)$$

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

LCS est le coût de la durée de vie du système.

Les gains annuels actualisés pour le système sont:

$$\text{Gains actualisés} = I \times \text{LCS} \quad (3)$$

avec:

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

A_C : Surface du capteur (m^2)

C_C : Coût du capteur par unité de surface (DA/ m^2)

C_T : Coût de la cuve de stockage par unité de volume (DA/m³)

C_γ : Coût des éléments reliés directement au capteur (DA/m²)

C_F : Coût par unité d'énergie électrique (DA/kJ)

M : Autres coûts indépendants de la surface de captation (DA)

e : Taux d'inflation du coût de l'énergie d'appoint

i_1 : Taux d'inflation du coût des marchandises et services

N : Durée de vie du système (an)

m : Maintenance annuelle, assurance et taxes du système solaire (DA)

r : Taux d'inflation du marché au début de la durée de vie

i : Taux d'intérêt annuel

L : Charge annuelle du chauffage solaire (J).

2.3.2 Approche de Barley - Byron

Cette méthode est basée sur une relation empirique entre F et la surface relative du capteur, définie comme le rapport de 1 avec A_0 , étant la surface du capteur correspondant à une valeur de F de 0,5 [5, 7, 8].

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

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 selon l'expression suivante:

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

où les facteurs E convertissant les 'cash flow' en valeurs actuelles sont donnés ci-après.

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

$$E_2 = \frac{[(1 + r)^N - (1 + i)^N]}{(1 + r)^N \cdot (r - i)} \text{ années}, \quad E_3 = \frac{(1 + r)^P - 1}{r (1 + r)^P} \text{ années}$$

$$E_4 = \frac{[(1 + r)^N - (1 + e)^N]}{(1 + r)^N \cdot (r - e)} \text{ années}, \quad E_5 = \frac{(1 + S)^P - 1}{S \cdot (1 + S)^P} \text{ années}$$

$$E_6 = \frac{[(1 + r)^P - (1 + S)^P]}{(1 + r)^P \cdot (r - S)} \text{ années}, \quad E_7 = \frac{1 - (1 + S)^P}{-S} \text{ années}$$

avec:

α : 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.

En minimisant le coût total du système, on obtient la surface optimale A_{OP} , qui est représentée par l'expression suivante:

$$A_{OP} = \frac{C_2 \cdot L \cdot C_F \cdot E_4}{[(C_C + C_T) \cdot E_1 + C_\gamma \cdot E_2]} \quad (7)$$

avec:

- C_C : Coût du capteur par unité de surface (DA/m²)
- C_T : Coût de la cuve de stockage par unité de volume (DA/m³)
- C_γ : Coût des éléments reliés directement au capteur (DA/m²)
- C_F : Coût par unité d'énergie électrique (DA/kJ)
- L : Charge annuelle du chauffage solaire (J).

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 composée par les systèmes suivants: un système de captation, un système de stockage et un système d'appoint.

Le coût annuel d'une installation d'un tel système solaire est donné par l'expression suivante [5, 9], (le coût de la cuve de stockage est rapporté à la surface de captation):

$$C_{\text{Total}} = [C_C \cdot A_C + C_T \cdot b \cdot A_C + C_\gamma \cdot A_C] \cdot I + Q_{\text{aux}} \cdot C_F + M \quad (8)$$

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

avec

- A_C : Surface du capteur (m²)
- C_C : Coût du capteur par unité de surface (DA/m²)
- C_T : Coût de la cuve de stockage par unité de volume (DA/m³)
- C_γ : Coût des éléments reliés directement au capteur (DA/m²)
- C_F : Coût par unité d'énergie électrique (DA/kJ)
- M : Autres coûts indépendants de la surface de captation (DA)
- i : Taux d'intérêt annuel
- n : Nombre d'année de paiement.

Le critère d'optimisation est la minimisation du coût total. Donc la surface optimum peut être déterminée en résolvant l'équation suivante [5, 9, 10]:

$$\frac{d C_{\text{Total}}}{d A_C} = 0 \quad (10)$$

Dans l'équation (8), Q_{aux} , représentant 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 [10]:

$$Q_{\text{aux}} = (1 - F) \cdot L \quad (11)$$

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 [11].

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

où:

$$\lambda = \frac{-1}{Q_{\text{aux}}} \frac{d Q_m}{d A_C} \quad (13)$$

Les paramètres λ et Q_m sont les caractéristiques du système d'appoint. Ils interviennent dans l'approximation de Q_{aux} par la relation (12). En fait Q_{aux} est donné par la relation (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, pour $T_{DES} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une masse d'eau à chauffer de 1000 litres.

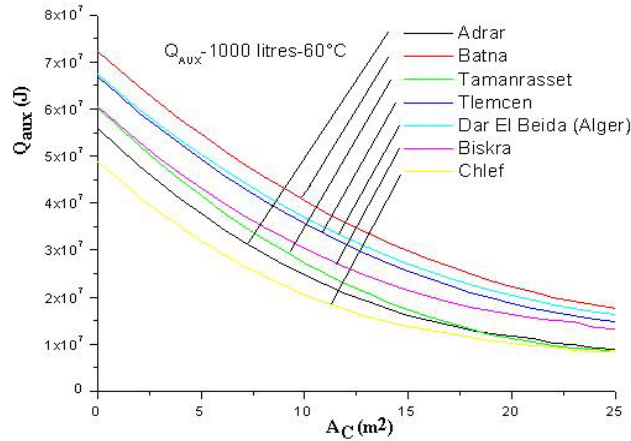


Fig. 2: Evolution de Q_{aux} en fonction de la surface de captation pour toutes les zones climatiques

Le rapport direct entre Q_{aux} et A_C nous permet de déterminer A_{OP} en remplaçant l'équation (12) dans l'équation (8), il en résulte:

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

La surface optimale A_{OP} est la solution de l'équation $\frac{d C_{Total}}{d A_C} = 0$, ceci donne:

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

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 (15) comme suit [6, 9, 12]:

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

γ 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.

3. RESULTATS ET INTERPRETATION

3.1 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. Une ville de chaque zone a été choisie, d'où le **tableau 1** [13]:

Tableau 1: Caractéristiques des zones climatiques

Zone →	A	B	B'	C	D ₁	D ₂	D ₃
Site →	Dar El Beïda-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'O	1°21'E	6°11'E	5°44'E	0°17'O	5°31'E
Altitude (m)	300	806	112	1040	124	286	1400

3.2 Calcul des températures ambiantes mensuelles moyennes

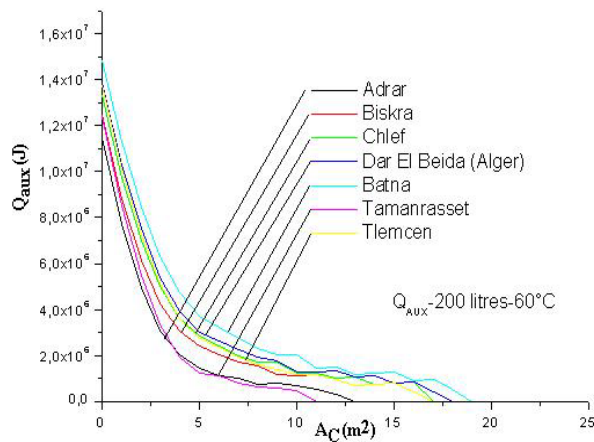
Nous avons besoin de connaître les températures ambiantes moyennes mensuelles de chaque site pour le calcul des facteurs adimensionnels X et Y dans le calcul de la fraction solaire F. Pour cela, nous avons utilisé la méthode de Lazard [3], qui nécessite seulement d'avoir les températures maximales et minimales de chaque site étudié, obtenues auprès de l'Office National de la Météorologie [13]. Le **tableau 2**, représente donc les températures mensuelles moyennes pour les différentes zones climatiques et sites choisis.

Tableau 2: Températures ambiantes moyennes mensuelles (°C) pour les zones climatiques

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

3.3 Calcul de Q_m et λ , caractéristiques du système d'appoint

Nous avons tracé l'énergie d'appoint annuelle en fonction de la surface de captation, pour différentes masses d'eau à chauffer pour une température désirée choisie $T_{DES} = 60$ °C. L'allure des graphes comme le montre les figures 3, 4 et 5 est une exponentielle.

Fig. 3: Evolution de Q_{aux} en fonction de la surface pour toutes les zones climatiques

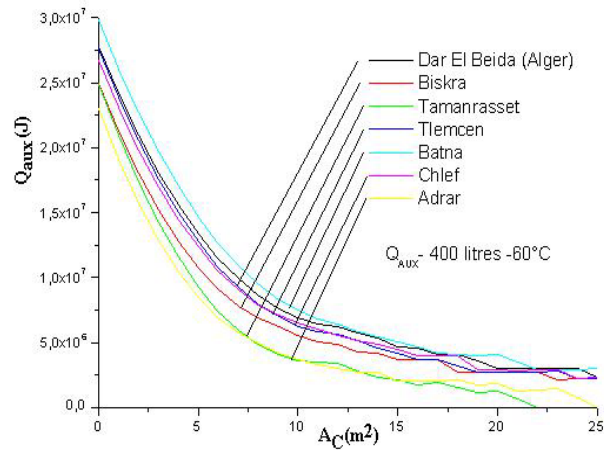


Fig. 4: Evolution de Q_{aux} en fonction de la surface pour toutes les zones climatiques

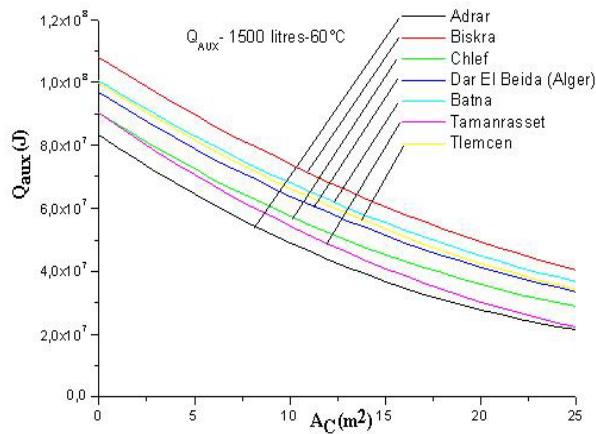


Fig. 5: Evolution de Q_{aux} en fonction de la surface pour toutes les zones climatiques

Le logiciel 'Origine' avec lequel nous avons tracé les figures 3, 4 et 5 nous permet de calculer les deux paramètres caractéristiques du système d'appoint Q_m et λ .

3.4 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 $T_{DES} = 60$ °C.

Nous n'obtenons aucun résultat pour les masses d'eau à chauffer, soit 200 et 400 litres. Pour la masse de 1500 litres d'eau à chauffer, nous avons le tableau suivant:

Tableau 3: Surface optimale pour les zones climatiques
($T_{DES} = 60$ °C, masse = 1500 litres)

	Zone A Dar El BeïdaAlger	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D₁ Biskra	Zone D₂ Adrar	Zone D₃ Tamanrasset
A_{OP} (m ²)	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. On n'obtient aucun résultat, le solaire, dans ces cas-là, n'est donc pas compétitif et qu'il est préférable dans ces cas d'utiliser l'énergie électrique que l'énergie solaire.

On constate aussi que plus les masses à chauffer sont grandes, meilleurs sont les résultats.

3.5 Etude paramétrique

Nous allons étudier l'influence des certains paramètres importants, comme le coût du capteur, la température désirée, la masse d'eau à chauffer et le coût de l'énergie d'appoint, qui interviennent dans le calcul de la surface optimale.

3.5.1 Influence du coût du capteur

Le paramètre, C_C , qui est le coût du capteur, n'étant pas fixé, nous le faisons varier pour voir son influence sur les surfaces optimales de captation. On se fixe la masse à chauffer, le coût actuel de l'énergie d'appoint et la température désirée $T_{DES} = 60^\circ\text{C}$.

La figure 6 représente l'évolution de la surface optimale pour différents coûts de capteurs pour les différentes zones climatiques pour une masse d'eau à chauffer de 1500 litres.

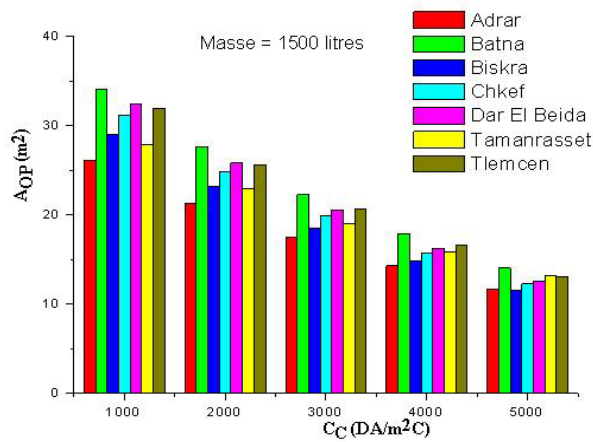


Fig. 6: Variation de la surface de captation en fonction du coût du capteur (masse = 1500 litres)

On remarque qu'il y existe une proportionnalité 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 , et sachant que le coût du capteur actuellement sur le marché vaut plus de 6000 DA/m², l'énergie solaire n'est compétitive qu'à des prix plus bas.

3.5.2 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), qui nous estimons, être le site le plus défavorable compte tenu des premiers résultats obtenus.

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 la figure 7.

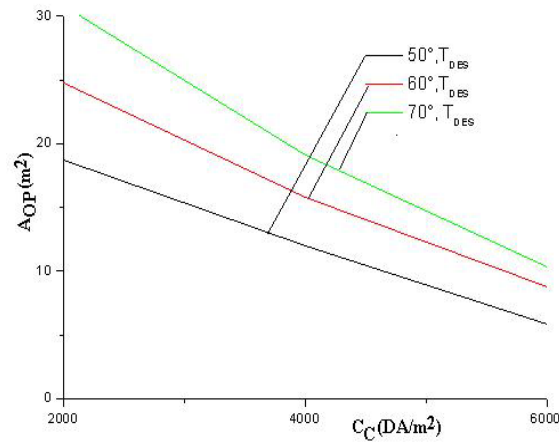


Fig. 7: Variation de la surface optimale en fonction du coût du capteur pour différentes températures désirées (masse = 1500 litres)

Le graphe nous apporte une information importante. 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 m² (de 50 °C à 60 °C) et n'augmente que de 2,5m² (de 60 °C à 70 °C). Ceci montre qu'il est inutile de varier plus que cela la température désirée.

3.5.3 Influence de la masse à chauffer

On représente pour l'ensemble des 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 $T_{DES} = 60$ °C. La figure 8 représente la variation de la surface de captation en fonction de la masse à chauffer.

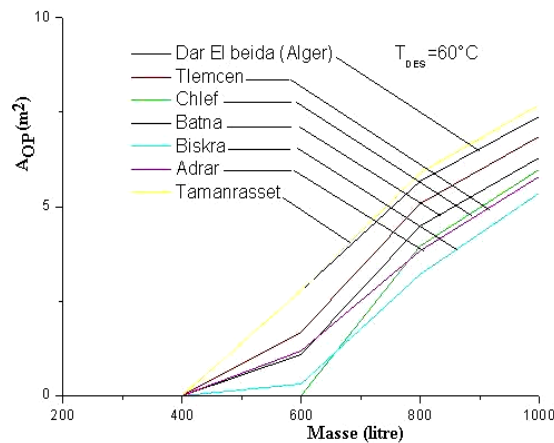


Fig. 8: Variation de la surface optimale en fonction de la masse d'eau à chauffer pour les différentes zones climatiques

La figure 9 représente la variation de la surface de captation en fonction des coûts du capteur pour différentes masses à chauffer, pour le site d'Adrar. Il faut noter que l'allure est la même pour les autres sites.

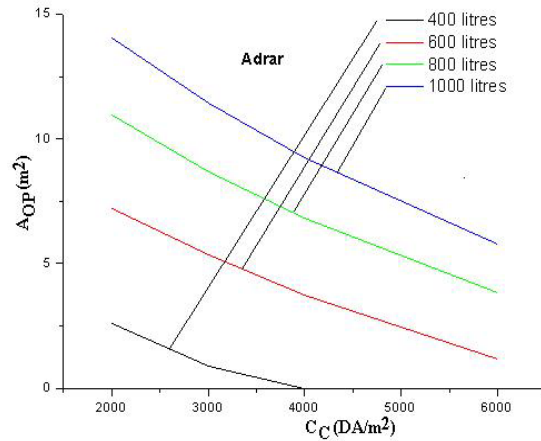


Fig. 9: Variation de la surface optimale en fonction du coût du capteur pour différentes masses à chauffer

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.

3.5.4 Influence du coût de l'énergie d'appoint

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

On s'intéresse ici à la masse de 400 litres, car il n'y a pas eu de résultats satisfaisants en injectant le prix actuel de l'énergie d'appoint comme nous l'avons montré précédemment, nous constatons 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** représente la surface optimale pour différents coûts du système d'appoint; et cela, pour le coût actuel du capteur et une température désirée $T_{DES} = 60^\circ\text{C}$, et pour une masse d'eau à chauffer de 400 litres.

Tableau 4: Influence du coût de l'énergie électrique sur la surface de captation ($T_{DES} = 60^\circ\text{C}$, masse = 400 litres)

Surface optimale pour les différentes zones							
C_f	Zone A Dar El Beida/Alger	Zone B Tlemcen	Zone B' Chlef	Zone C Batna	Zone D ₁ Biskra	Zone D ₂ Adrar	Zone D ₃ Tamanrasset
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 (**Tableau 3**).

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 le site de Chlef, représentée par la figure suivante. (L'allure étant la même pour les autres sites)

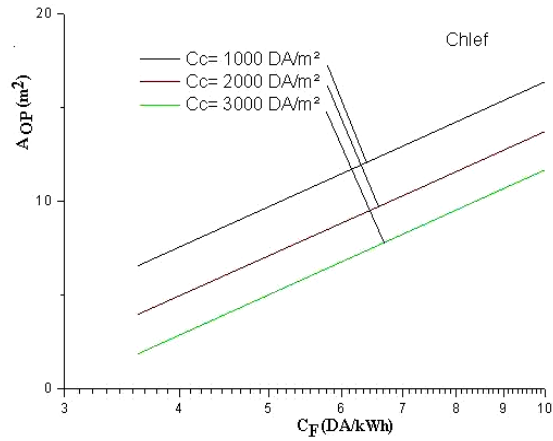


Fig. 10: Variation de la surface optimale en fonction du coût de l'énergie d'appoint pour différents coûts de capteur (Chlef, $T_{DES} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

La figure permet 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.

3.6 Présentation synthétique des résultats

La figure 11 est une représentation synthétique des résultats pour le site de Chlef, qui est le site 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 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

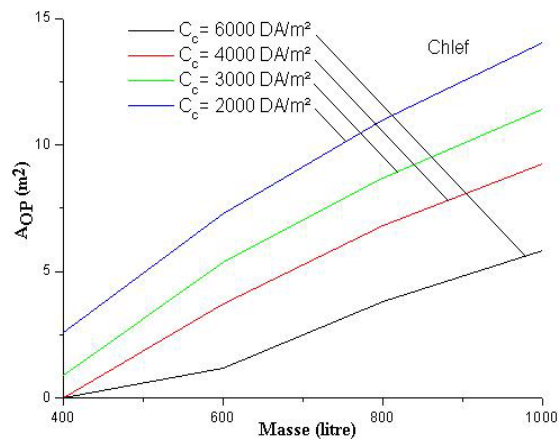


Fig. 11: Variation de la surface optimale en fonction de la masse d'eau à chauffer pour différents coûts de capteur (Chlef, $T_{DES} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

On remarque que pour un coût de capteur à 3000 DA/m² de capteur, nous n'avons pas pu avoir de résultats pour de faibles masses à chauffer. On constate aussi que plus les masses à chauffer sont grandes, plus les résultats obtenus deviennent intéressants.

On propose donc des installations de chauffage d'eau sanitaire avec des coût de capteur ne dépassant pas les 3000 DA/m² de capteur. Les figures 12, 13 et 14 représentent respectivement la variation de la surface optimale en fonction de la masse d'eau à chauffer pour des coûts de capteur de 3000 DA/m², 2000 DA/m² et 1000 DA/m².

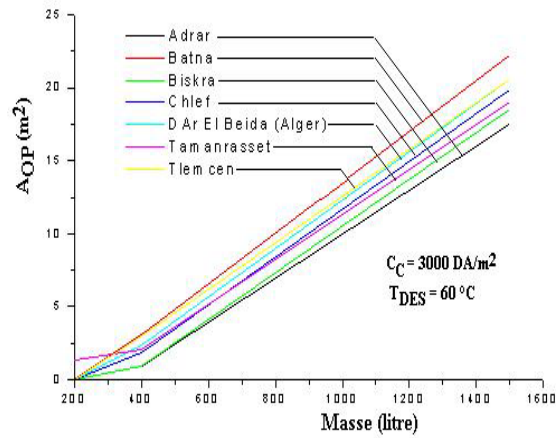


Fig. 12: Variation de la surface optimale en fonction de la masse d'eau à chauffer ($C_F = 3611$ DA/kWh, $C_C = 3000$ DA/m², $T_{DES} = 60$ °C)

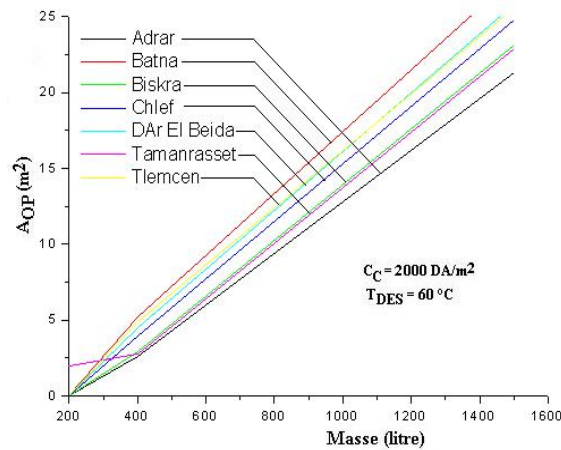


Fig. 13: Variation de la surface optimale en fonction de la masse d'eau à chauffer ($C_F = 3611$ DA/kWh, $C_C = 2000$ DA/m², $T_{DES} = 60$ °C)

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

On peut dire que c'est à partir de masse d'eau à chauffer de 600 litres que les résultats deviennent intéressants et satisfaisants, et que l'utilisation de l'énergie solaire a un sens.

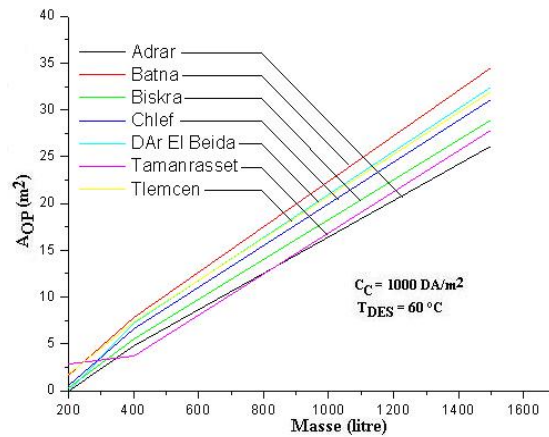


Fig. 14: Variation de la surface optimale en fonction de la masse d'eau à chauffer ($C_F = 3611 \text{ DA/kWh}$, $C_C = 1000 \text{ DA/m}^2$, $T_{DES} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)

4. CONCLUSION

1. Un modèle pour le calcul de la surface optimale, adapté à l'Algérie, a été développé.
2. Une relation exponentielle entre la surface de captation et l'énergie d'appoint a été constatée. Ceci implique que deux points seulement sont nécessaires pour trouver la surface optimale.
3. 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.
4. Plus le coût du capteur augmente, plus la surface de captation A_{OP} diminue jusqu'à être nulle.
5. On constate que le coût de l'énergie d'appoint influe énormément sur la surface optimale de captation.
6. 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 effectuées de par le monde et qui affirment que 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 .

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, mais on recommande donc que l'on étende l'application de cette méthode d'optimisation aux autres systèmes solaires.

Le fait que les technologies solaires exigent un investissement initial élevé et entraînent des charges récurrentes faibles ne sera un argument recevable par le grand public que si des procédures de financement sont mises en place pour aider à couvrir l'investissement initial.

On recommande donc une implication de l'état Algérien dans la mise au point d'un programme spécial d'aide aux particuliers qui souhaiteraient investir dans des installations solaires, comme cela se fait pratiquement dans les autres pays du monde.

REFERENCES

- [1] S. Sami, D. Lafri et A. Hamid, 'Etude du Comportement Thermique d'une Installation de Chauffage d'Eau Collective', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, Energies Renouvelables – Valorisation, JNVER, pp. 255 – 260, Tlemcen, 1999.
- [2] Document, 'Cours d'Orientation sur les Applications Pratiques des Sources d'Energie Renouvelables, Partie II: Conversion Thermique de l'Energie Solaire', Présenté au 2^{ème} stage de Formation à l'Exploitation des Sources d'Energie Renouvelables dans la Région Méditerranéenne, organisé par le PNUE et le CIEMAT, Laboratoire Solaire de l'Université de Split, 1999.
- [3] M. Boumahrat et A. Gourdin, 'Méthodes Numériques Appliquées', Office des Publications Universitaires, Alger, 1993.
- [4] S. Sami-Mecheri, A. Hamid, D. Lafri et D. Semmar, 'L'Appoint pour les Installations Solaires de Chauffage d'Eau Sanitaire', 2^{ème} Symposium du Comité Algérien de l'Energie, Economie d'Energie et Environnement, Alger, 15 -16 Novembre 2000.
- [5] L. Gladus, 'Optimal Sizing of a Collector for a Domestic Water Heating System', Solar and Wind Technology, Vol. 4, N°3, pp. 411 – 414, 1987.
- [6] S. Sami-Mecheri, A. Hamid, M. Belhamel et N. Aït Messaoudène, 'Etude de la Rentabilité d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collective, Application à Différents Sites Algériens', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, JITH'03, Alger, pp. 53 – 57, 2003.
- [7] C.D. Barley and C.B. Winn, 'Optimal Sizing of Solar Collectors by the Method of Relative Areas', Solar Energy, Vol. 21, N°4, pp. 279 – 289, 1978.
- [8] A. Kumar, A.K. Goyal and M.S. Sodha, 'Technico Economic Optimization of Solar Natural Convection Hybrid Hot Water Systems', International Journal of Energy Research, Vol. 12, N°4, pp. 661 – 678, 1988.
- [9] K.K. Chang and A. Minardi, 'An Optimization Formulation for Solar Heating Systems', Solar Energy, Vol. 24, N°1, pp. 99 -103, 1980.
- [10] A. Hamid, S. Sami-Mecheri, D. Lafri and D. Semmar, 'Study and Realization of a Solar Water Heating Installations for Different Remote Sites of Algeria', Emirats Arabes Unis, 19 - 22 February, 2001.
- [11] J.A. Duffie and W.A. Beckmann, 'Solar Energy Thermal Process', 2nd Edition, Wiley, 1996.
- [12] S. Sami, A. Hamid, D. Lafri, D. Semmar et R. Kharchi, 'Optimisation des Surfaces de Captation des Installations Solaires de Chauffage Collectif', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, Colloque sur l'héliotechnique, l'Environnement et la Maîtrise des Systèmes Solaires, CHEMSS'00, pp. 25 – 31, Alger, 13 – 15 Mai 2000.
- [13] Document, 'Atlas Climatique, Recueil de Données, 1974 – 1984', Office National de la Météorologie', Publiés en 1995.