

## Optimisation des Surfaces de Captation des Installations Solaires de Chauffage d'Eau Collectif

S. Sami<sup>1</sup>, A. Hamid<sup>2</sup>, D. Lafri<sup>1</sup>, D. Semmar<sup>1</sup> et R. Kharchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger

<sup>2</sup> Institut de Mécanique, Université de Blida, B.P. 270, Route de Soumaa, Blida

**Résumé** – *L'objet de ce travail consiste à élaborer un modèle mathématique pour la détermination des surfaces optimales des installations solaires de chauffage d'eau collectif. Le critère d'optimisation est la minimisation du coût total de l'installation. Ceci en tenant compte, non seulement des coûts des différents composants et du prix de l'énergie conventionnelle consommée par le système d'appoint, mais aussi des performances thermiques de l'installation. Le modèle nous a permis de voir l'influence du prix de l'énergie conventionnelle sur les surfaces optimales des différents sites algériens.*

**Mots clés:** Système solaire - Capteur solaire - Surface optimale - Coût minimum - Fraction annuelle - Système d'appoint - Température désirée.

### 1. INTRODUCTION

Les applications de l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau sanitaire sont des plus prometteuses du point de vue technologique et économique, particulièrement dans notre pays où le potentiel énergétique solaire est important. Néanmoins, les installations solaires 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 détermination donc de la surface de captation optimale des installations solaires en général est l'un des soucis primordiales dans la conception des systèmes solaires. En effet, une installation surdimensionnée veut dire des surcoûts, par contre si elle est sousdimensionnée cela veut dire manque de fiabilité.

Cette étude fait l'objet de développement d'un modèle mathématique et l'application de ce dernier pour la détermination de la surface optimale d'une installation solaire de chauffage d'eau pour différents sites Algériens. Son avantage, est de déterminer la surface optimale d'un site donné en tenant compte non seulement des aspects économiques mais aussi des performances thermiques.

### 2. MODELISATION MATHÉMATIQUE

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 :

- 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 [4].

$$C_{TOTAL} = (C_C A_C + C_T b A_C + C_\gamma A_C).I + Q_{aux} C_F + M \quad (1)$$

et

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

Le coût de la cuve de stockage est rapporté à la surface de captation.

Le critère d'optimisation est la minimisation du coût total. Donc la surface optimum peut être déterminée en résolvant l'équation suivante [4] :

$$\frac{dC_{TOTAL}}{dA_C} \quad (3)$$

### 2.1 Détermination de l'énergie consommée par le système d'appoint

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

$$Q_{aux} = (I - F) \cdot L \quad (4)$$

Où F représente la fraction de satisfaction mensuelle des besoins énergétiques grâce à l'apport solaire. Elle est déterminée en fonction des paramètres X et Y.

X : représente les pertes thermiques mensuelles d'un capteur porté à une température de référence (100°C), normalisées par les besoins moyens journaliers. [1]

$$X = \frac{A_C F_R U_L}{L} (100 - T_a) \cdot \Delta T \quad (5)$$

Y : représente l'énergie absorbée en moyenne par jour, normalisée par rapport aux besoins moyens journaliers. [1]

$$Y = \frac{A_C F_R (\tau \alpha)}{L} H_T N \quad (6)$$

et

$$L = C_p N M_L (T_{BES} - T_{RES}) \quad (7)$$

$M_L$  et N : dépendent de la demande [3], [5].

Connaissant X et Y pour chaque mois, F est donnée par une fonction polynomiale [1, 2] :

$$F = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0215 Y^3 \quad (8)$$

$$0 < X < 18 \quad \text{et} \quad 0 < Y < 3$$

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. La représentation graphique de  $Q_{aux}$  montre qu'elle évolue selon une loi proche d'une loi exponentielle (Figure 1).

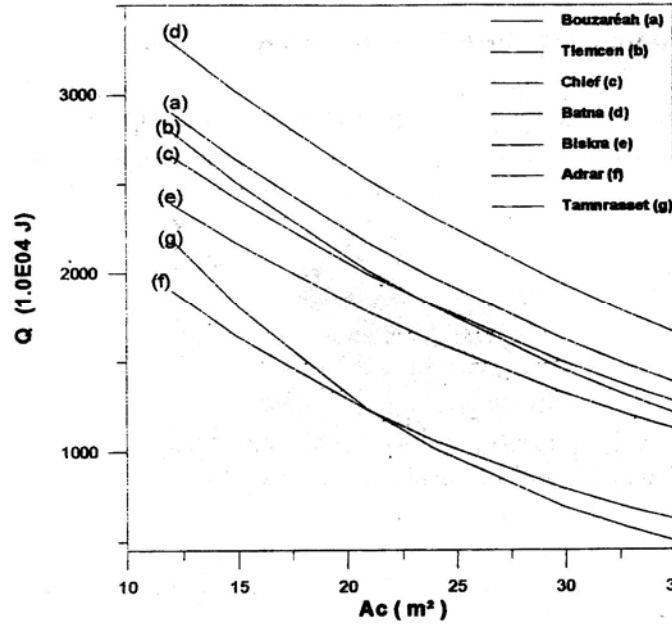


Fig. 1: Evolution de  $Q_{aux}$  en fonction de la surface de captation

On retient de la figure :

$$Q_{aux} = Q_m \exp(-\lambda A_C) \quad (9)$$

D'où :

$$\lambda = \frac{-1}{Q_{aux}} \frac{dQ_{aux}}{dA_C} \quad (10)$$

Les paramètres  $\lambda$  et  $Q_m$  sont les caractéristiques du système d'appoint.

Le rapport direct entre  $Q_{aux}$  et  $A_C$  nous permet de déterminer  $A_P$  en remplaçant l'équation (9) dans l'équation (1), il en résulte :

$$C_{TOTAL} = (C_C A_C + C_T b A_C + C_\gamma A_C) \cdot I + [Q_m \exp(-\lambda A_C)] C_F + M \quad (11)$$

La solution de l'équation (3) donne :

$$A_P = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{Q_m C_F \lambda}{(C_C + b C_T + C_\gamma) \cdot I} \right] \quad (12)$$

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

On peut écrire l'équation (12) comme suit :

$$A_P = \frac{1}{\lambda} \ln \gamma \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{Q_m C_F \lambda}{(C_C + b C_T + C_\gamma) \cdot I} \quad (14)$$

## 2.2 Calcul de la surface optimale pour différentes zones en Algérie

Pour le calcul de la surface optimale nous avons constaté que le climat est un paramètre important  $A_p$  dépend de la fraction solaire  $F$  qui dépend à son tour du climat.

Pour traiter tout le territoire national, nous avons utilisé le zonage utilisé par Borel.

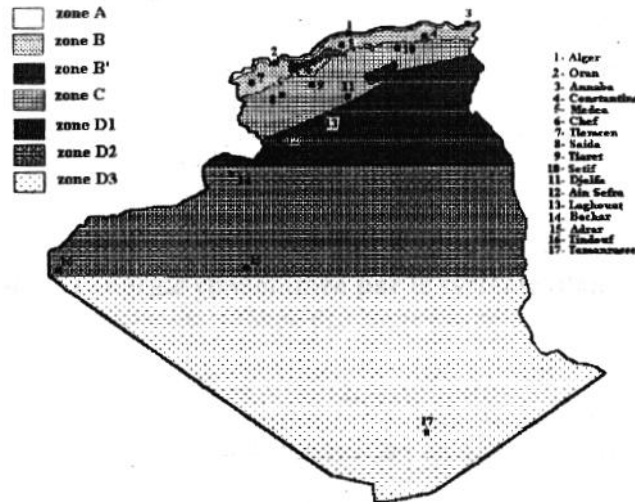


Fig. 2: Les zones climatiques en Algérie

Il définit pour l'Algérie les zones suivantes [6] :

- 4 zones climatiques et une sous zone au Nord.
- 3 zones climatiques au Sud.

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.

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.

La zone B': Elle comprend la vallée de Chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouassenis et les montagnes du Dahra 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.

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 est très faible. Le climat est moins variable qu'en zone B ou A.

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.

### 3. INTERPRETATION DES RESULTATS

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

L'installation étudiée comporte une cuve d'une capacité de 1500 litres. L'étude porte sur des sites du nord et du sud suivant les zones climatiques. Une ville de chaque zone a été étudiée. Les valeurs des coûts des différents composants sont :

$$\begin{aligned} C_C &= 1000 \text{ DA/m}^2 \\ C_T &= 8000 \text{ DA/m}^3 \\ C_\gamma &= 250 \text{ DA/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_F &= 3 \text{ DA/kWh} = 8.3 \cdot 10^{-4} \text{ DA/kJ} \\ I &= 0.125 \text{ ( } i = 11 \% ; n = 20 \text{ ans )} \\ B &= 0.06 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

**Tableau 1:** Résultats obtenus pour les différentes zones

	Zone A Bouzaréah	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> Tamanrasset
$Q_m$ ( $10^7$ J)	4,28	4,33	3,90	4,71	3,59	3,41	4,71
$\lambda$ ( $10^{-2}$ m <sup>2</sup> )	3,32	3,64	3,19	3,97	3,41	4,87	6,44
$\gamma$	1,13	1,29	1,02	1,14	1,00	1,36	2,51
$A_P$ (m <sup>2</sup> )	3,92	7,09	0,68	4,67	0,16	6,33	14,33
Nc	2	4	0	3	0	4	9

**Tableau 2:** Influence du coût de l'énergie électrique sur la surface de captation

$C_f$ (DA/kWh)	Nombre de capteurs pour les différentes zones						
	Zone A Bouzaréah	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> Tamanrasset
3.0	2	4	0	3	0	4	9
4.5	11	12	9	12	7	9	14
6.0	17	17	15	19	13	13	17
9.0	25	25	23	28	21	19	21
12.0	31	30	30	34	27	23	24

Pour la détermination des surfaces optimales des différentes zones de notre pays, nous avons eu recours à une méthode qui ne tient compte que des coûts actuels sans s'intéresser au taux d'inflation et aux différentes fluctuations du marché algérien et cela vu l'instabilité économique de notre pays.

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau 1; on remarque qu'en prenant le coût actuel de l'énergie d'appoint (électricité), la surface optimale de captation est nulle pour les zones B' (Chlef) et D<sub>1</sub> (Biskra).

Par contre si on fait varier le coût de l'électricité, les surfaces optimales deviennent plus importantes (voir tableau 2). On en déduit que le coût du système d'appoint influe énormément sur la surface de captation et on remarque qu'avec les coûts actuels pour certaines zones notamment B' (Chlef) et D<sub>1</sub> (Biskra), il est préférable d'utiliser l'énergie électrique que l'énergie solaire.

#### 4. CONCLUSION

La mise en place des prix énergétiques en 1968 de la politique des prix bas 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 des vérités des prix. Ce dernier est l'adaptation progressive de l'économie nationale aux conditions et des 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. L'adoption la plus plausible est le développement des différentes filières énergétiques (en particulier l'énergie solaire). Des moyens importants doivent être déployés. Outre l'environnement économique et social une action de l'état envers cette filière d'énergie par des mesures incitatives permettra son développement et sa diffusion dont les avantages tant économiques qu'écologiques ont été déjà vérifiés.

#### NOMENCLATURE

$A_C$	Surface de captation ( $m^2$ )	$C_P$	Chaleur massique de l'eau ( $J/kg.K$ )
$F_R$	Facteur de conductance de l'absorbeur	$C_C$	Coût du capteur par unité de surface ( $DA/m^2$ )
$U_L$	Coefficient des pertes globales ( $W/m^2.°C$ )	$C_T$	Coût de la cuve de stockage par unité de volume ( $DA/m^3$ )
$\Delta T$	Nombre total de secondes dans le mois (s)	$C_\gamma$	Coût des éléments reliés directement au capteur ( $DA/m^2$ )
$T_a$	Température moyenne mensuelle ambiante ( $°C$ )	$C_F$	Coût par unité de l'énergie électrique ( $DA/m^2$ )
$L$	Besoins mensuel en eau chaude (J)	$M$	Autres coûts indépendants de la surface de captation (DA)
$H_T$	Irradiation incidente mensuelle ( $J/m^2$ )	$I$	Taux d'intérêt annuel
$N$	Nombre de jours dans le mois	$N$	Nombre d'années de paiement
$(\tau \alpha)$	Facteur de transmittance-absorbance mensuel	$M_L$	Besoins journaliers en eau chaude (l)

**REFERENCES**

- [1] J.A. Duffie, W.A. Beckmann, '*Solar Engineering of Thermal Processes*', 2<sup>nd</sup> Edition.
- [2] A.A. Sfier, G. Guarrcino, '*Ingénierie des Systèmes Solaires - Applications à l'Habitat*'.
- [3] M. Merzouk, N. Rahni et N. Kasbadji-Merzouk, '*Influence de la Stratification sur les Performances à Long Terme d'un Chauffe-eau Solaire à Effet Thermosiphon*'.
- [4] Kwei-Kwang Chang and Antonio Minardi, '*An Optimisation Formulation for Solar Heating Systems*', Solar Energy, Vol. 24.
- [5] N. Rahni, '*Estimation des Performances à Long Terme d'un Chauffe Eau Solaire à Thermosiphon par la Méthode F Chart*', PFE, ENITA, 1990.
- [6] S. Djenas, '*Elaboration des Zones Climatiques en Algérie*', PFE, CSTB, 1984.
- [7] World Energy Council – 1<sup>er</sup> Symposium du Comité Algérien de l'Energie, '*Le Secteur de l'Energie en Algérie face aux Défis du XXI<sup>ème</sup> Siècle*', Alger, 25-26 Novembre 1996