

# Prédiction de la surface de collecteur thermique d'une installation de climatisation solaire d'un bâtiment à Tlemcen

Bouhelal Guendouz <sup>#1</sup>, Chakib Seladji <sup>\*</sup>, Bechouat Mohcene <sup>#</sup>,

<sup>#</sup> *Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelable URAER., Centre de Développement des énergies renouvelables, CDER, 47 133 Ghardaïa, Algérie.*

<sup>1</sup> *Email : guendouze\_b@yahoo.fr*

<sup>\*</sup> *Laboratoire ETAP (Énergétique et Thermique Appliquée) Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.*

**Résumé--** Une investigation numérique est entamé afin d'optimiser l'énergie consommée dans le domaine de climatisation dans un bâtiment. Une température de confort comprise entre 20 et 26 °C est assurée par une installation hybride, au l'énergie fournie pour ce but a deux sources différentes. La première source d'énergie est fournie par un capteur solaire à vide. Et la deuxième source assure le déficit entre l'énergie totale consommé et l'énergie solaire. Le bâtiment ayant une superficie de 11,5 X 6 m<sup>2</sup> situé à Tlemcen est modélisé sous TRNBuild afin d'estimer les besoins en chauffage et en rafraichissement durant l'année d'étude. Une discussion détaillée des résultats numériques est représenté pour les différentes configurations d'études.

Le but de ce travail est de maîtriser l'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments dans le coté de climatisation afin de dimensionner les éléments de l'installation pour un certain climat (climat de Tlemcen). La méthode employé se base sur l'économisassions de énergie annuel consommé par la climatisation. Ensuite, une étude économique se fait pour optimiser la période de buyback.

**Mot clé** — TRNSYS, climatisation, collecteur thermique, énergie solaire.

## I. INTRODUCTION

La gestion énergétique du bâtiment constitue un enjeu majeur, afin d'une part de tenir les engagements nationaux pris pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et des gaz à effet de serre, et d'autre part d'aller vers une optimisation de la consommation énergétique tout en améliorant leur confort et leur qualité d'utilisation.

En 2010, environ 28 % de l'énergie mondiale finale est consommée par l'industrie, 27 % par les transports, et 36 % par le résidentiel [1]. La climatisation dans les domaines industriels, commerciaux et domestiques occupe 40% - 50% de la consommation mondiale d'énergie [2]. Les secteurs résidentiels responsables de plus de 20% d'émissions de CO<sub>2</sub> dans toute l'Union européenne [3].

La climatisation solaire désigne l'ensemble des techniques de climatisation utilisant l'énergie solaire comme source énergétique primaire. La climatisation solaire est une application relativement nouvelle de la technologie éprouvée de réfrigération thermique et solaire.

Le nombre de dispositifs de climatisation installés en Europe de la capacité de refroidissement plus de 12 kilowatts a augmenté par un facteur de 5 en 20 dernières années [4]. A la fin de 2004, environ 70 machines à refroidissement solaire ont été installées en Europe la majorité en Allemagne (27) et Espagne (19) [5].

Constantinos et al présente un état de l'art de la climatisation solaire en Europe sous le projet SACE (Solar Air Conditioning in Europe), sa recherche s'est concentrée sur les systèmes à absorption, à adsorption, à dessiccation liquide et solide, aux pompes à chaleur chimique, (absorption-diffusion) et aux systèmes à éjection. Il conclut qu'une diminution d'environ 40 à 50% de l'énergie utilisée dans la climatisation pourrait être satisfaite à l'aide de l'énergie solaire et que le coût relatif à l'énergie primaire pourrait être réduit à environ 0,07 €/kWh pour les conditions les plus prometteuses [4].

Parmi les systèmes de climatisation solaire, les systèmes à absorption semblent être la meilleure option avec un COP de 0,6 pour le couple réfrigérant NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O et 0,7 pour H<sub>2</sub>O/LiBr (75% de la machine à absorption utilise H<sub>2</sub>O/LiBr) [6].

Le but de ce travail est de maîtriser l'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments dans le coté de climatisation afin de dimensionner les éléments de l'installation pour un certain climat (climat de Tlemcen). La méthode employé se base sur l'économisassions de énergétique annuel consommé par la climatisation. Ensuite, une étude économique se fait pour optimiser la période de buyback.

## II. INDICATEURS TECHNIQUES DE PERFORMANCE

### A. Fraction solaire :

La fraction solaire est un coefficient important dans les installations solaires, il représente la part d'énergie solaire gratuite dans la consommation d'énergie globale d'une installation de climatisation. Dans notre cas, la fraction solaire est égale au rapport de l'énergie thermique gagnée par le capteur sur la somme de cette énergie et l'énergie fournie par le chauffage auxiliaire [7] :

$$f = \frac{Q_c}{Q_c + Q_p} \quad (1)$$

$f$ : est la fraction solaire,  $Q_c$  et  $Q_p$  sont respectivement l'énergie capté par le collecteur et la puissance d'appoint.

### B. Consommation d'énergie primaire :

Le capteur solaire est un genre spécial d'échangeur de chaleur qui transforme l'énergie de rayonnement solaire en une énergie interne du milieu de transport. L'utilisation d'un capteur solaire plan ou à air est caractérisé par une basse efficacité ainsi qu'un bas potentiel de captation de l'énergie solaire ce qui influe sur le système global. Un capteur solaire sous-vide est composé de tubes mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur ce qui donne plus de performance.

L'énergie gagnée par le capteur solaire est [7] :

$$Q_c = \eta_{col} \cdot A_{col} \cdot G \quad (2)$$

Avec  $G$  et  $A_{col}$  est respectivement l'irradiation solaire totale sur le plan de capteur et la surface de capteur,  $\eta_{col}$  est le rendement du capteur défini par la corrélation d'Hotal [7] :

$$\eta_{col} = \eta_0 - c_1 \cdot \frac{T_m - T_a}{G} - c_2 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G} \quad (3)$$

$T_m$  : la température moyenne de capteur,  $T_a$  la température ambiante. Les coefficients  $\eta_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  varient d'un capteur à un autre.

### III. LE CLIMAT DE TLEMCCEN

La ville de Tlemcen est située au Nord-Ouest de l'Algérie à 170 km au sud-ouest d'Oran, à 520 km au sud-ouest d'Alger et frontalière du Maroc à 76 km à l'est de la ville marocaine d'Oujda. Tlemcen se trouve à 600 m d'altitude. La proximité de la mer a atténué les influences arides du continent et donne à la région un climat tempéré, méditerranéen qui a pour effet d'atténuer les influences desséchantes du continent.

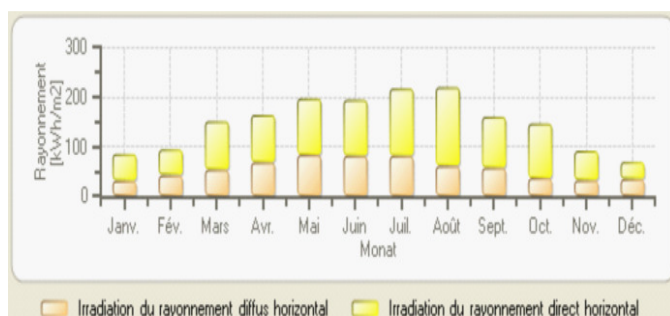


Fig. 1 L'irradiation du rayonnement diffus et direct sur un plan horizontal a Tlemcen.

L'Algérie de par sa situation géographique, constitue sur le globe terrestre une zone particulièrement bien ensoleillée. Aussi les moyennes annuelles d'ensoleillement varient entre

2600 h/an au nord à 3500 h/an au sud. La puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1 kW/m<sup>2</sup>. L'énergie journalière maximale (ciel clair mois de juillet) dépasse les 6 kWh/m<sup>2</sup> et l'énergie annuelle maximale en Algérie dépasse 2500 kWh/m<sup>2</sup>. Soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays [1]. La figure 1 montre la variation du flux d'irradiation solaire mensuelle directe et diffus à Tlemcen.

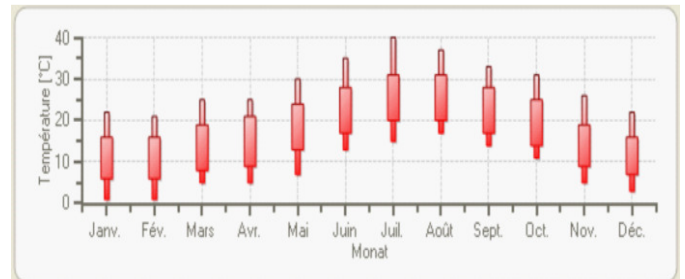


Fig. 2 Valeurs de la température moyenne mensuelle de Tlemcen.

Un climat méditerranéen couvre la région de Tlemcen. Durant l'été, les mois les plus chauds sont juillet et août. Les températures grimpent à 25°C au mois de mai pour atteindre une moyenne de 28°C à 30°C en juillet et août. Durant l'hiver il n'est pas rare que Tlemcen soit couverte de neige, Les températures hivernales varient entre 0 et 15°C. Les données climatiques (fichiers météo) utilisées dans cette simulation proviennent de Meteonorm. La figure 2 montre les valeurs de la température moyenne mensuelle de Tlemcen.

### IV. CONCEPTION DU SYSTEME ET HYPOTHESES

Dans cette étude, une installation de climatisation solaire est proposée en considérant une machine à absorption Type 107 caractérisée par :

1. Un ventilateur Type3a souffle l'air à température ambiante vers l'évaporateur qui le refroidit jusqu'à la température 6,67 °C. L'air froid passe par un déviateur multiple Type647 qui divise le débit sur les chambres selon leurs besoins en froid. Le régulateur Macro compare la température de chaque sale du bâtiment multizone Type56a avec la température de consigne 26 °C. Un signal est ainsi envoyé au déviateur multiple Type647 pour contrôler le débit entrant dans chaque zone.
2. L'eau entre au condenseur à une température constante de 30 °C et un débit de 2000 kg/h.
3. Le générateur a besoin d'une température d'environ 80 °C réalisée essentiellement par le système de captation solaire. Cette partie contient un collecteur solaire sous vide Type538, un réservoir de stockage thermique Type60n et une pompe de circulation Type114 contrôlée par un régulateur différentiel Type2b. Un système d'appoint électrique de chaleur Type6 est également utilisé.

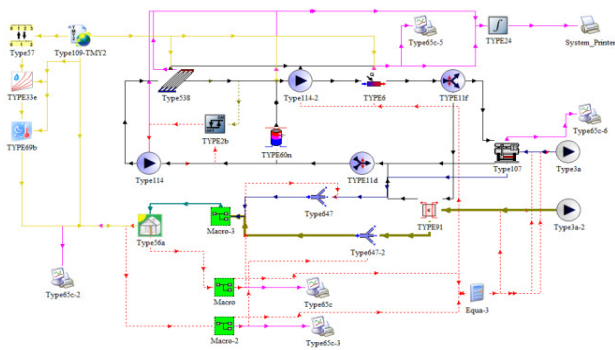


Fig. 3 La configuration de l'installation de climatisation solaire sous TRNSYS.

Dans le cas de chauffage, le déviateur Type11f dirige l'eau chaude (après appoint Type6) à un certain échangeur de chaleur Type91 afin de chauffer l'air ambiant provenant du ventilateur Type3a-2. L'eau retourne au ballon de stockage par le biais d'un mixeur Type11d et l'air chaud gagne les salles à travers un autre déviateur multiple Type647-2 commandé par le régulateur Macro-2 à une température de 20 °C.

La figure 3 montre la représentation de l'installation de climatisation solaire dans TRNSYS. Le but de cette étude est de maîtriser l'influence du système de captage solaire sur la consommation énergétique totale.

#### V. CHARGE DE RAFRAICHISSEMENT DU BATIMENT

TRNSYS est un logiciel de simulation du comportement thermique des bâtiments et des systèmes associés en régime dynamique. Dans le cadre de ce projet, le recours à ce type de logiciel est indispensable pour prendre en compte la variabilité temporelle importante des sollicitations et des sources d'énergie. Le début du travail consiste à modéliser la maison avec un module appelé TRNBuild permettant de définir la structure et les dimensions des bâtiments.

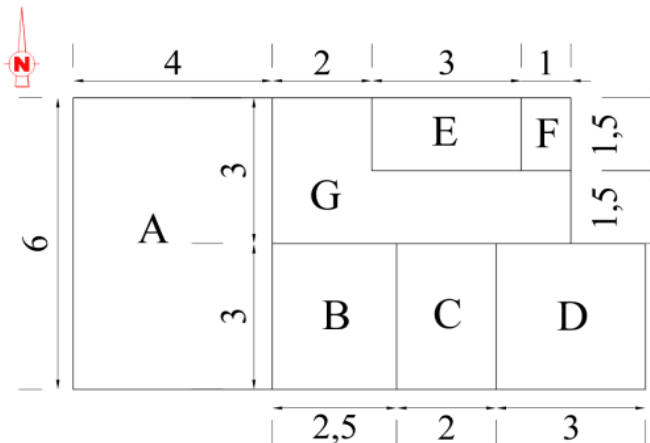


Fig. 4 Modèle du Bâtiment.

La figure 4 montre le modèle de bâtiment étudié ainsi que ses dimensions. Les murs d'une hauteur de 3 m, sont

composés de deux couches de Briques (épaisseur de 10 cm chacune) séparé par un espace d'air de 5 cm d'épaisseur et couvre à l'intérieur et à l'extérieur par une couche de 1 cm d'Enduit.

Le plafond et le plancher sont composés de deux couches, le premier est de 20 cm de Béton lourd et le deuxième de 2 cm de mortier ainsi qu'une autre couche de carrelage de 3 cm. TRNBuild génère un fichier de forme \*.bui prenant en compte toutes les caractéristiques du Bâtiment, ce fichier est utilisé sous TRNSYS à l'aide de l'élément Type56a.

#### VI. ETUDE ECONOMIQUE DE L'INSTALLATION

Le but de l'utilisation de l'énergie solaire est d'optimiser l'énergie consommé pour le système de climatisation ; par ce que on ne peut par jamais éliminer l'énergie d'appoint à cause de la fluctuation de la densité d'irradiation solaire jusqu'à attend le zéro dans les nuits. Dans cette étude, on essaie d'optimiser les dimensions du capteur et du ballon du stockage en fonction nombre des années du buyback qui calculé par l'équation :

$$n = \frac{J_T}{J_{op} - J_m} \quad (4)$$

Avec  $n$  : est le nombre des années du buyback,  $J_m$  (€/année): les coûts de maintenance annuelle,  $J_{op}$  (€/année): le prix d'énergie optimisé par année calculé par l'équation :

$$J_{op} = f \cdot E_T \cdot C_e \quad (5)$$

$f$  : La fraction solaire,  $E_T$  (kWh/année) : l'énergie total consommé par le système de climatisation pendant une année et  $C_e$  (€/kWh) : le prix d'un kWh d'énergie d'électricité.  $J_T$  est le prix totale de l'installation qui égale la somme de prix de tout les éléments :

$$J_T = J_{ab} + J_H + J_{CT} + C_C \cdot A_C + C_T \cdot V_T + J_{PF} \quad (6)$$

Avec :  $A_C$  (m<sup>2</sup>) : est la surface du capteur, et  $V_T$  (m<sup>3</sup>) le volume du ballon de stockage aussi que toute les prix des éléments représenté dans le tableau 1.

TABLE I

LES PRIX DE CHAQUE ELEMENT

	Elément	Prix	Unit	Référence
$C_T$	Ballon de stockage	500	€/m <sup>3</sup>	[5]
$C_C$	Capteur solaire (à vide)	700	€/m <sup>2</sup>	[8]
$J_{ab}$	Machine à absorption (LiBr-H <sub>2</sub> O, 12 kW)	4800	€	[4]
$J_H$	Appoint (278 kW électrique)	1658	€	[8]
$J_{CT}$	Tour de refroidissement	5000	€	[5]
$J_{PF}$	Pompe, ventilateur, valves ...	$J_T \cdot 0.2$	€	[9]

## VII. RESULTATS AND DISCUSSION

La présentation sous forme d'histogramme (figure 5) montre la consommation énergétique annuelle d'appoint en bâton bleu (en MJ) et l'énergie gagnée par le collecteur en bâton blanc (en MJ) pour différent angle d'inclinaison (de collecteur). Sur cette figure en remarque que la nécessité en énergie d'appoint est maximal pour un angle d'inclinaison de 50°. On observe que la production maximum du collecteur se voie pour un angle d'inclinaison de 35° mais la consommation énergétique annuel d'appoint est élevé par rapport a un angle d'inclinaison 20° ou le minimum de la consommation est remarqué, ce que en considéré pour notre étude comme angle d'inclinaison optimal.

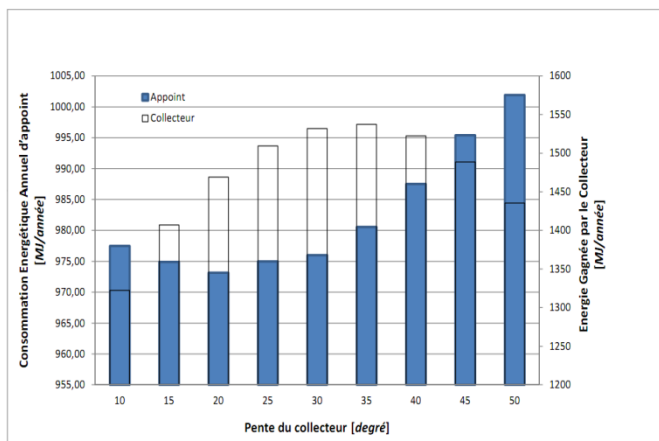


Fig. 5 l'influence de la pente de collecteur sur la consommation énergétique annuel et énergie gagnée par le collecteur en fonction de la pente.

La figure 6 montre la variation mensuelle durant une année de la consommation de l'énergie, représentée par des bâtons bleu, sur cette figure en remarque que les pics de cette consommation est observée en moins de Janvier et Août se qui traduit les besoins en chauffage (Janvier) et en froid (Août). Les plus faibles consommations sont localisées en mois de Mai et Novembre, exprimant un climat de confort.

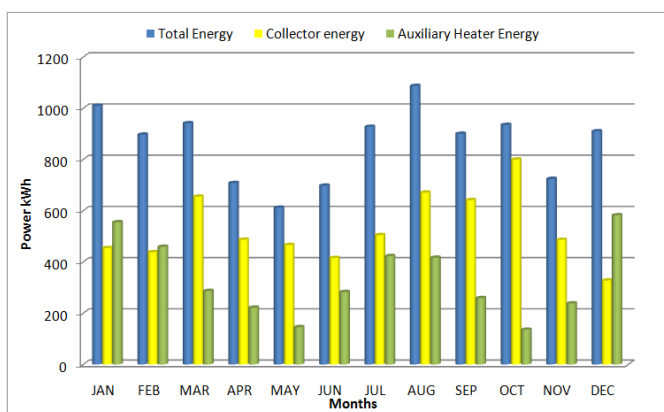


Fig. 6 Energie consommée par le système de climatisation.

Les bâtons jaunes montrent la production de l'énergie a partir du collecteur solaire durant cette année d'étude au en remarque l'existence d'un pic saisonnières en mois de Aout, Septembre et Octobre, ce qui traduit l'importance du gisement solaire dans l'été ainsi que la durée d'ensoleillement, un autre pic au moins de Mars mais il reste moins significative. En outre, cette source d'énergie reste toujours au dessous des besoins énergétique total.

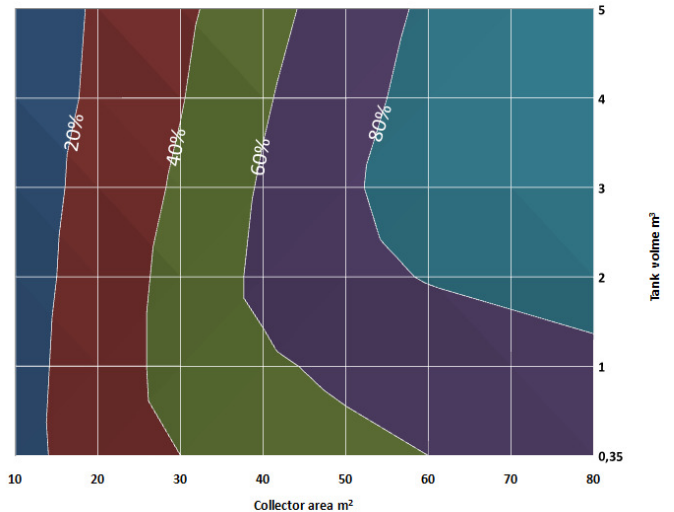


Fig. 7 Fraction solaire en fonction du volume du ballon de stockage et de la surface du capteur.

Les bâtons verts montrent la compensation à l'énergie produit par le collecteur pour atteindre les besoins totales. Cette addition d'énergie (énergie d'appoint) est importante dans les moins là où la consommation totale est maximales.

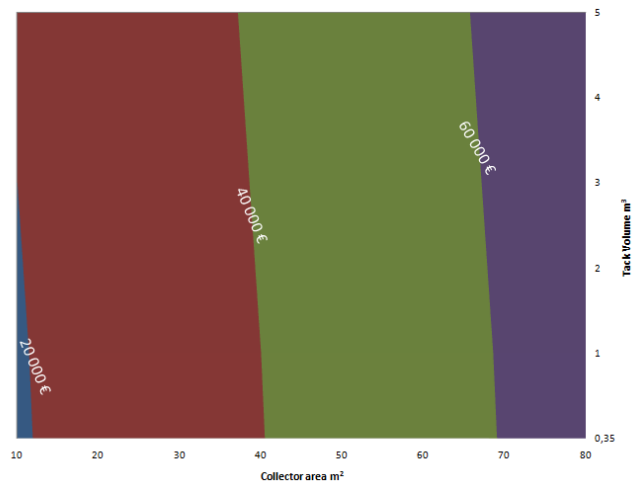


Fig. 8 Prix initiale de l'installation de climatisation

A fin d'enrichir notre travail, on a tracé la variation de la fraction solaire en fonction de la surface du capteur solaire et le volume du ballon du stockage (figure 7), cette fraction solaire est estimer pour la même puissance frigorifique durant cet année d'étude. La figure 6 est tracée pour un collecteur

ayant une surface de 40 m<sup>2</sup> et un ballon de stockage de capacité de 0,35 m<sup>3</sup>, se qui donne une fraction solaire d'environ 50%.

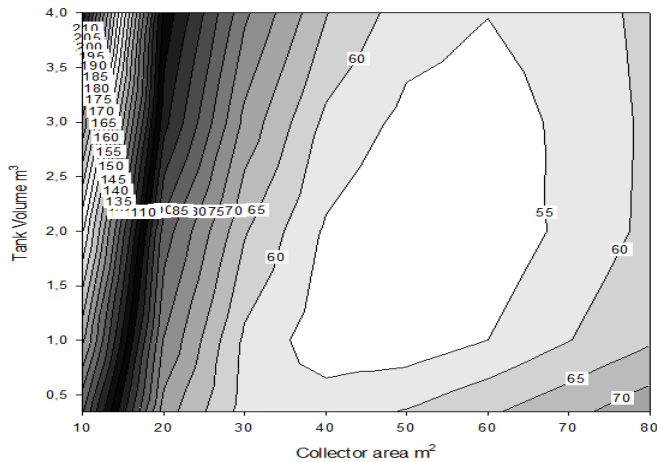


Fig. 9 Nombre d'année de buyback.

La figure 7 montre aussi que ce n'est pas évident d'augmenter le volume du ballon de stockage pour avoir une meilleure fraction solaire ou cette variation a des limites ; par exemple, pour une surface du collecteur de solaire de 40 m<sup>2</sup>, la valeur de la fraction solaire varie entre 50% à 62% lorsque le volume du ballon de stockage augmenté de 0,35 m<sup>3</sup> à 1,75 m<sup>3</sup> au dessus de ce volume la fraction solaire diminue, ce qui est revient aux perte thermique au niveau du ballon de stockage (augmentation du volume indique une augmentation du surface externe).

Par contre, l'augmentation de la surface du capteur solaire donne toujours une meilleure fraction solaire, mais ce dernier va élever fortement le cout d'investissement (Figure 8).

Sur la figure 9, On montre les années d'amortissement du système solaire employé en fonction de la surface du capteur solaire et le volume du stockage, on remarque l'existence d'un cercle optimale de 55 ans. L'utilité de cette figure quelle résume le choix de dimensions du collecteur et du ballon de stockage en fonction du l'étude économie de cette installation et le durée d'amortissement minimal de l'installation.

### VIII. CONCLUSION

Il apparaît clairement que les systèmes solaires thermiques seront nécessaires pour fournir une part importante de la chaleur basse température. Les résultats obtenus montrent que la valeur minimale de buyback contient entre une surface de 35 et 65 m<sup>2</sup> et un volume de stockage entre 0.5 et 4 m<sup>3</sup> avec une valeur de 51 année.

### REFERENCES

[1]. A. Mefti et M. Bouroubi, "Estimation et cartographie du Rayonnement solaire", Rapport technique CDER, Bouzareah, Alger, 1992.

[2]. S. ZhaoPei, WANG RuZhu et ZHAI XiaoQiang, "Solar-driven high temperature radiant cooling", Chinese Science Bulletin, Springer, 2009.

[3]. H. Henning et E. Wiemken, "SOLAR COOLING", Proceedings of ISES Solar World Congress: Solar Energy and Human Settlement, Germany, 2007.

[4]. Constantinos, Balaras, Gershon Grossman, Hans-Martin Henning, Carlos A. Infante Ferreira, Erich Podesser, Lei Wang, Edo Wiemken, "Solar air conditioning in Europe-an overview". Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 299–314, 2007.

[5]. U. Desideri, Stefania Proietti, Paolo Sdringola, "Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications". Applied Energy 86, 1376–1386, 2009.

[6]. D.S. Kim, C.A. Infante Ferreira, "Solar refrigeration options - a state-of-the-art review". international journal of refrigeration 31, 3-15, 2008.

[7]. J.A. Duffie, William A. Beckman, "Solar engineering of Thermal Processes". Madison, Wisconsin: John Wiley & Sons, INC. 3ème Edition, 2006.

[8]. F. Calise, M. Dentice d'Accadia, A. Palombo, "Transient analysis and energy optimization of solar heating and cooling systems in various configurations". Solar Energy 84, 432–449, 2010.

[9]. Z. Sayadi, Nizar Ben Thameur, Mahmoud Bourouis, Ahmed Bellagi, "Performance optimization of solar driven small-cooled absorption-diffusion chiller working with light hydrocarbons". Energy Conversion and Management 74, 299–307, 2013.