

ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE D'UN SYSTEME DE CLIMATISATION SOLAIRE

Z. Sayadi ^{1*}, S. El May¹ et A. Bellagi¹

¹Unité de Recherche de Thermique et Thermodynamique des Procédés Industriels,
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Av. Ibn Jassar, 5060 Monastir, Tunisie
zouhour.sayadi@gmail.com, sana_helmay@yahoo.fr, a.bellagi@enim.rnu.tn

RESUME

On présente, dans ce papier, l'étude par modélisation et simulation d'un système de climatisation solaire et on discute sa rentabilité économique. Deux machines à absorption à H₂O/LiBr à simple effet de 7kW de puissance, l'une refroidie à l'eau et l'autre, à l'air ambiant, sont envisagées pour la climatisation d'une villa de 170m². Les différentes simulations de l'installation de climatisation solaire sont effectuées à l'aide des logiciels EES et TRNSYS. Les calculs montrent que, dans le cas de refroidissement à l'eau, un système solaire comportant 30m² de capteurs solaires, un ballon de stockage de 1m³ et assurant une température maximale de 95°C de la chaleur motrice, permet de couvrir 87% des besoins en climatisation de la villa. Le deuxième système refroidi à l'air, avec une surface de captation de 32m², un volume de 600l de stockage et une température maximale 110°C, permet de couvrir 88% des besoins en climatisation du même logement.

1. INTRODUCTION

Au vu des besoins croissants en énergie et de l'appel accru à l'électricité pour la climatisation dans la période estivale, la perspective de couvrir au moins une partie des besoins en climatisation par de l'énergie solaire paraît attrayante, surtout dans un pays à fort ensoleillement comme la Tunisie. L'objectif de la présente étude est l'exploration de la possibilité de l'exploitation du gisement solaire en utilisant des capteurs solaires sous vide pour actionner un climatiseur à gaz utilisant la technique d'absorption, et mettant en œuvre le mélange eau/LiBr comme fluide de travail (frigorigène : eau, absorbant : solution aqueuse de LiBr). La viabilité économique de l'installation de climatisation solaire est également discutée. Le choix du mélange de travail (eau/LiBr) repose sur les considérations suivantes. Pour une machine à simple effet comme celle envisagée ici, la température du fluide moteur est de l'ordre de 100°C, température accessible à l'aide de capteurs sous vide usuel [1]. En outre, les performances des climatiseurs à eau/LiBr de faible puissance sont meilleures que celles des machines utilisant le couple ammoniac/eau. Enfin, dans le secteur de la climatisation, des températures d'évaporation inférieures à 0°C ne sont pas nécessaires, ce qui permet l'utilisation de l'eau comme frigorigène.

2. CLIMATISATION SOLAIRE

Un système de climatisation solaire est constitué de trois circuits interconnectés (Figure 1): la boucle solaire, le circuit de refroidissement et le système de climatisation [2].

- Boucle solaire (I). Son rôle est la captation de l'énergie solaire et son stockage sous forme d'énergie thermique. Un appoint d'énergie est prévu en cas d'un niveau thermique et/ou d'une puissance thermique insuffisante (ensoleillement insuffisant, surface de captation insuffisante).
- Circuit de refroidissement (II). La chaleur d'absorption, dégagée dans l'absorbeur, et celle de condensation, libérée dans le condenseur, sont évacuées soit directement (refroidissement à l'air), soit indirectement à l'aide d'une tour de refroidissement (refroidissement à l'eau).
- Circuit de climatisation (III). La climatisation centrale à eau glacée inclue la production d'eau glacée par la machine à absorption, sa distribution par un réseau hydraulique et la climatisation des locaux assurée par les appareils terminaux et les ventilo-convecteurs [2].

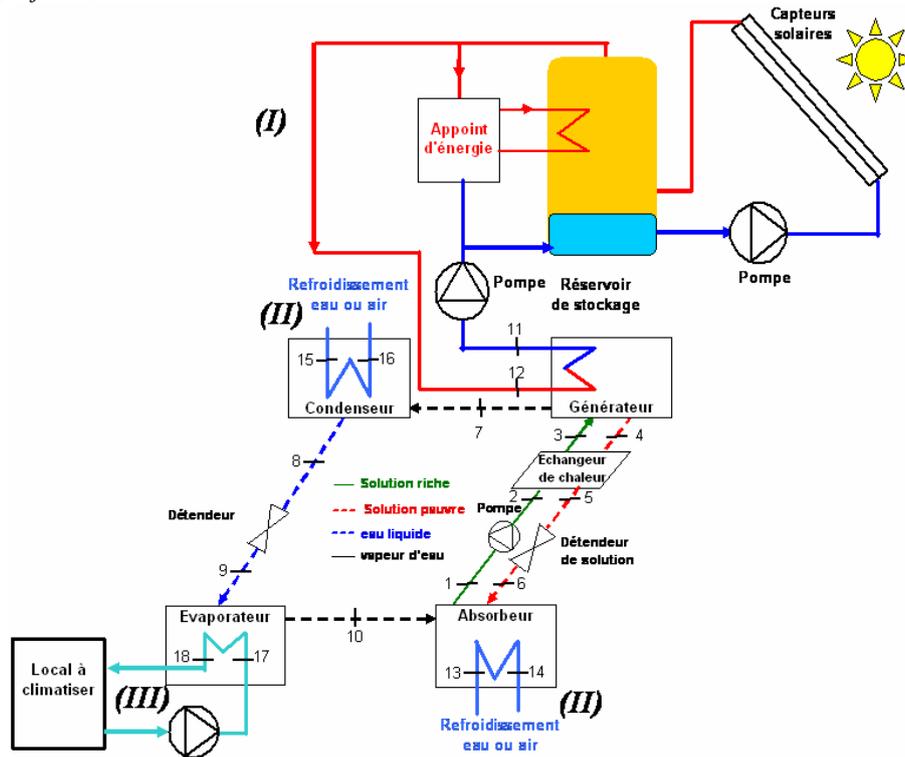


Figure 1 : Principe de la climatisation solaire à l'aide d'une machine à eau/LiBr

3. ETUDE DU SYSTEME

L'étude du système de climatisation solaire envisagé comporte d'abord la modélisation mathématique du climatiseur proprement dit et la simulation numérique de son fonctionnement, effectuée ici à l'aide du logiciel EES, indépendamment de l'origine de la chaleur motrice fournie au générateur. La deuxième étape est la simulation du couplage du climatiseur à la boucle solaire et de l'ensemble du système de climatisation/source de chaleur motrice réalisée en couplant les logiciels EES et TRNSYS. La dernière étape de l'étude est constituée par une analyse économique suivie d'une optimisation technico-économique de toute l'installation. Une phase préliminaire de l'étude consiste à déterminer les besoins en froid du local à climatiser en utilisant l'interface TRNBUILD du logiciel TRNSYS.

3.1 Evaluation des besoins en climatisation

Il s'agit de climatiser pendant la période estivale une villa type de 170m² de surface globale, constituée de trois chambres, un salon et une salle à manger, une salle de bain, une salle d'eau et une cuisine. Les pièces à climatiser pour y réaliser un confort thermique avec une température de consigne de 26°C, sont les trois chambres, le salon et la salle à manger. Ces données sont fournies au logiciel à l'aide de l'interface TRNBUILD en spécifiant pour chaque pièce la composition des parois, leurs propriétés thermo physiques et les caractéristiques des portes et des fenêtres. Le calcul des besoins en froid est basé sur le bilan thermique de chaque pièce et fait intervenir les dimensions, les apports, l'emplacement et le bilan thermique de chaque pièce ainsi que l'orientation du local à climatiser. La villa, modélisée par le type 56 de la bibliothèque de TRNSYS, est supposée localisée dans la région de Tunis. Le cumul des besoins des différentes pièces, calculés pour la période de Mai à Octobre, constitue les besoins en climatisation recherchés. L'évolution de la charge frigorifique totale dans cette période est représentée par la figure 2. Cette figure montre que les besoins peuvent culminer à 11,5 kW au cœur de l'été. Aux fins d'économie d'énergie tout en assurant un confort thermique pratiquement le même, il est d'usage de considérer que la machine couvre les besoins en climatisation de la villa pendant 95% de la période de simulation, ce qui fixe sa capacité nominale à 7 kW.

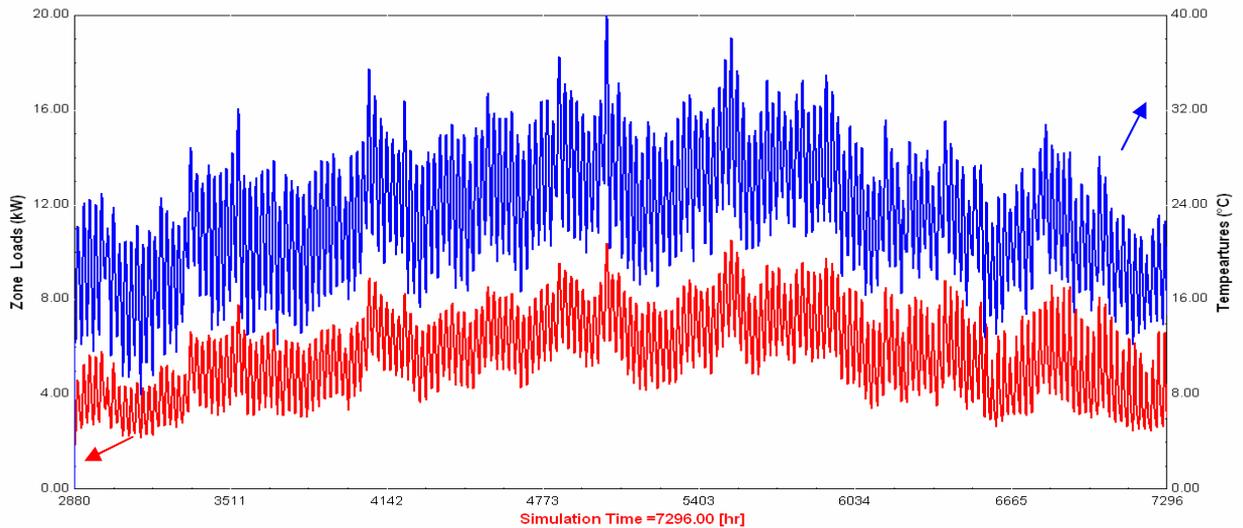


Figure 2 : Variation des besoins en climatisation avec la température ambiante

3.2 Conditions opératoires

Comme indiqué plus haut, deux scénarios alternatifs de refroidissement de la machine sont envisagés : refroidissement à l'eau via une tour de refroidissement et le refroidissement à l'air. Le premier scénario est plus favorable sur le plan thermodynamique mais présente, d'un côté, l'inconvénient de faire appel à l'eau pour refroidir l'appareil et ce dans un pays semi-aride, et la mise en place d'une tour de refroidissement, source éventuelle de problèmes de santé (Légionellose), de l'autre. Le deuxième scénario, même thermodynamiquement moins favorable et présentant en outre le risque accru de la cristallisation du sel dans les conduites ramenant la solution saline du générateur vers l'absorbeur est en contre partie mieux adapté au climat de notre pays.

3.2.1 Refroidissement à l'eau

La température de l'eau de refroidissement et la température d'évaporation sont prises respectivement de 29°C et 5°C. Une étude préliminaire a été menée en vue de dégager l'effet sur les performances de la machine de la température T_{11} de l'eau chaude alimentant le générateur d'un côté, et de son débit massique (m_{11}), de l'autre, ces deux facteurs spécifiant la puissance thermique à fournir au générateur du climatiseur. Les résultats de cette étude sont représentés sur la figure 3. Il en ressort qu'un choix d'une température de 95°C est approprié. Le débit massique correspondant est de 0,8 kg/s.

3.2.2 Refroidissement à l'air

Le refroidissement à l'air ambiant dont la température, pendant la saison estivale, est élevée et peut même dépasser 40°C (Figure 2), augmente le risque de cristallisation de bromure de lithium de la solution riche en sel revenant vers l'absorbeur [3]. Pour diminuer ce risque, nous fixons dans ce cas la température d'évaporation à 10°C au lieu de 5°C comme préconisé pour le refroidissement à l'eau. Les machines à absorption refroidies à l'air travaillent avec des températures de condensation plus élevées que celles refroidies à l'eau. De ce fait, les températures nécessaires à la séparation dans le générateur sont plus élevées [3] (supérieures à 95°C). Par ailleurs, si l'on considère que la pression dans les conduits du circuit solaire ne doit pas dépasser 2,5bars, la température d'ébullition de l'eau caloporteuse correspondante étant alors de 120°C, on arrive ainsi à la conclusion que la température du fluide moteur doit être comprise entre 95°C et 120°C. Ces hautes températures combinées aux températures élevées régnant dans l'absorbeur, augmentent le risque de la cristallisation du LiBr. On doit donc tenir compte de toutes ces contraintes avant de fixer les conditions opératoires du climatiseur. Sur la figure 4 sont représentés les tracés du cycle thermodynamique de la machine pour le refroidissement à l'air (35°C et 40°C) et pour deux

températures de la chaleur motrice (100°C et 110°C). On remarque, d'une part, que l'augmentation de la température de l'air fait approcher le tracé du cycle de la ligne de cristallisation, ce qui a été par ailleurs constaté par d'autres chercheurs [3]. Inversement, une température d'alimentation du générateur de 100°C, ou mieux encore de 110°C le fait éloigner de cette limite pour les deux niveaux de température de l'air envisagées. On optera donc pour une température d'eau chaude de 110°C alimentant le générateur avec un débit d'eau chaude correspondant de 0,2 kg/s.

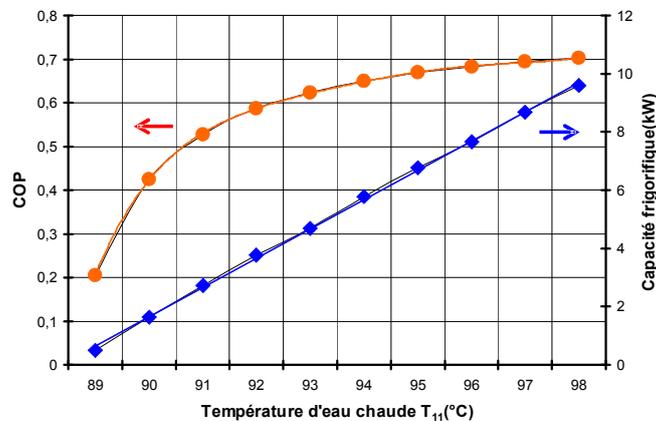


Figure 3 : Effet de la température de l'eau chauffant le générateur

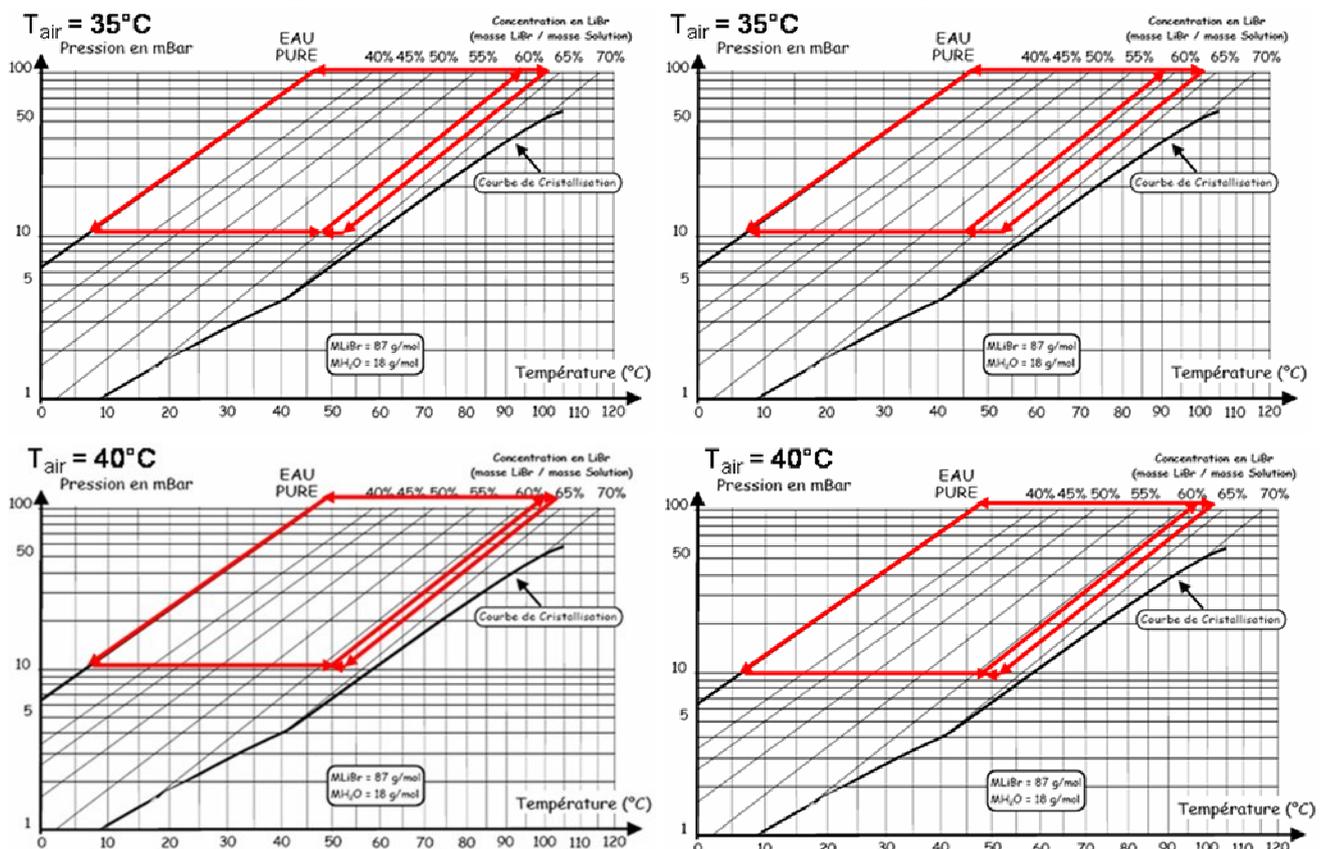


Figure 4 : Tracé du cycle dans le diagramme d'Oldham pour deux niveaux de température de l'air (35°C et 40°C) et de la chaleur motrice (100°C et 110°C)

3.3. Simulation de l'installation de climatisation solaire sur TRNSYS

Les différentes simulations ont été effectuées pour un volume du réservoir de stockage de 1m³ dans le cas de refroidissement à l'eau et 600l pour celui de refroidissement à l'air, une densité de flux d'eau parcourant les capteurs solaires en boucle fermée (circuit primaire) de 50l/hm², et un appoint en gaz. Les résultats de l'effet de la surface totale des capteurs sur les performances du système sont représentés sur la figure 5. La surface de captation est variée dans l'intervalle 5m² à 40m². Lorsque

cette surface augmente, l'énergie gagnée par les capteurs croît également et les besoins en énergie auxiliaire diminuent, celle-ci variant entre 0,84kW et 8kW pour le cas de refroidissement à l'eau et 0,68kW et 9,4kW pour le cas de refroidissement à l'air. Les graphes de la figure 6 mettent en relief l'évolution quasi linéaire de la fraction solaire avec la surface de captation (Eq. 1). Il faut noter, toutefois, que l'étude thermique décrite précédemment, à elle seule, ne permet pas de choisir une surface de captation particulière. Seule une optimisation technico-économique permettra de le faire.

$$f = \frac{\text{Production solaire utile}}{\text{Besoins du générateur}} \quad (1)$$

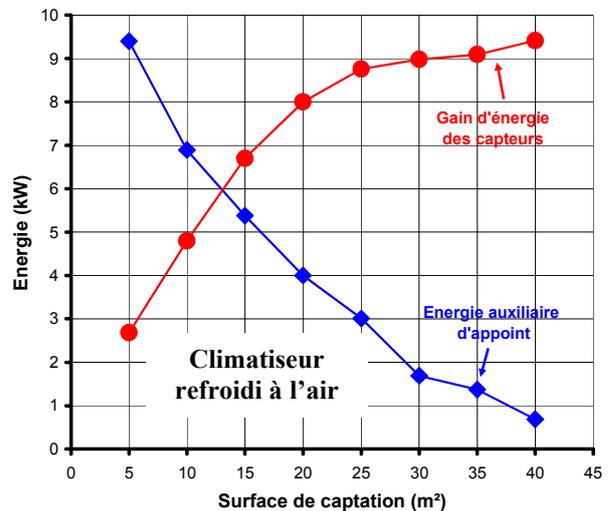
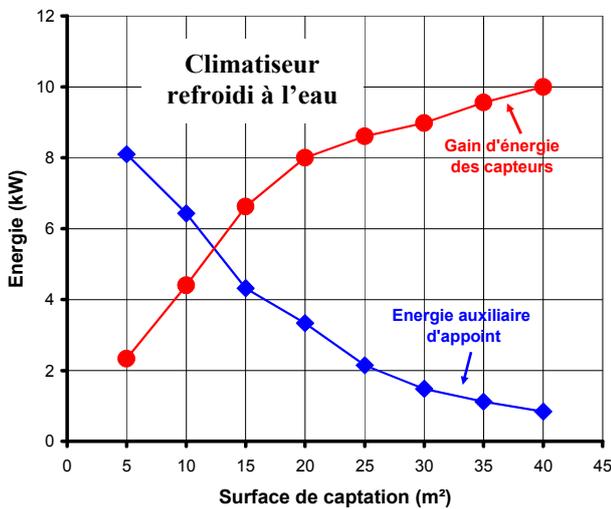


Figure 5 : Effet de la surface de captation sur l'énergie d'appoint et le gain énergétique

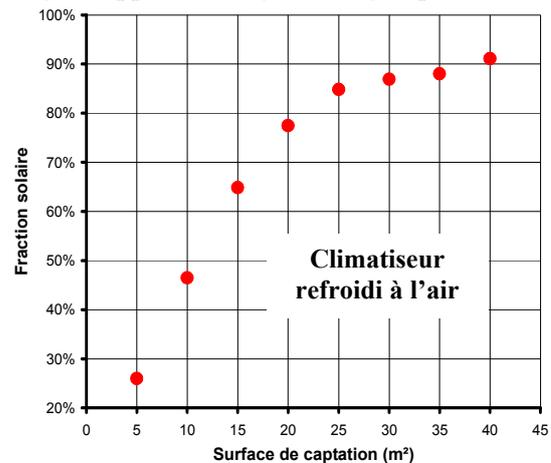
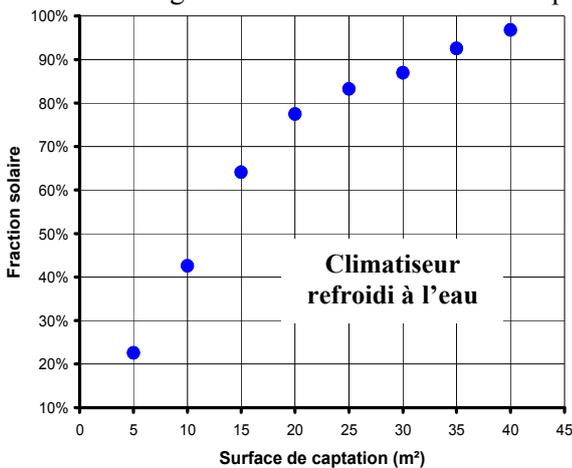


Figure 6 : Evolution de la fraction solaire avec la surface de captation

4. OPTIMISATION TECHNICO-ECONOMIQUE

Le but recherché est la détermination des caractéristiques optimales de l'installation de climatisation solaire (refroidissement à l'eau et refroidissement à l'air) dans le sens de sa viabilité économique. Les composantes de cette étude sont les frais d'investissement représentant la somme des coûts de chaque composant de l'installation et les frais courants englobant le coût actuel de l'énergie et les frais d'entretien. Les dépenses énergétiques sont constituées par le prix du gaz. Les frais d'entretien sont estimés usuellement à 2% de l'investissement. Les frais courants ne sont pas constants. En effet, ils dépendent du taux d'actualisation sur chaque année et du taux d'augmentation annuel de l'énergie estimés pour une durée de vie de 15 ans. La figure 7 représente les résultats de l'étude technico-économique. On constate que dans le cas de refroidissement à l'eau, les frais courants atteignent un minimum de 1930DT pour une surface de captation de 30m² permettant de couvrir 87% des besoins énergétiques nécessaires à la climatisation de la villa par de l'énergie solaire. Pour

un climatiseur refroidi à l'air, ces frais atteignent un minimum pour 32m² de surface de captation. Une telle surface permet de couvrir, par de l'énergie gratuite et renouvelable, 88% des besoins de climatisation du même logement, pour des frais totaux annuels évalués à 1780 DT. Cette installation est non seulement moins coûteuse mais aussi elle ne requiert pas l'utilisation de la tour de refroidissement.

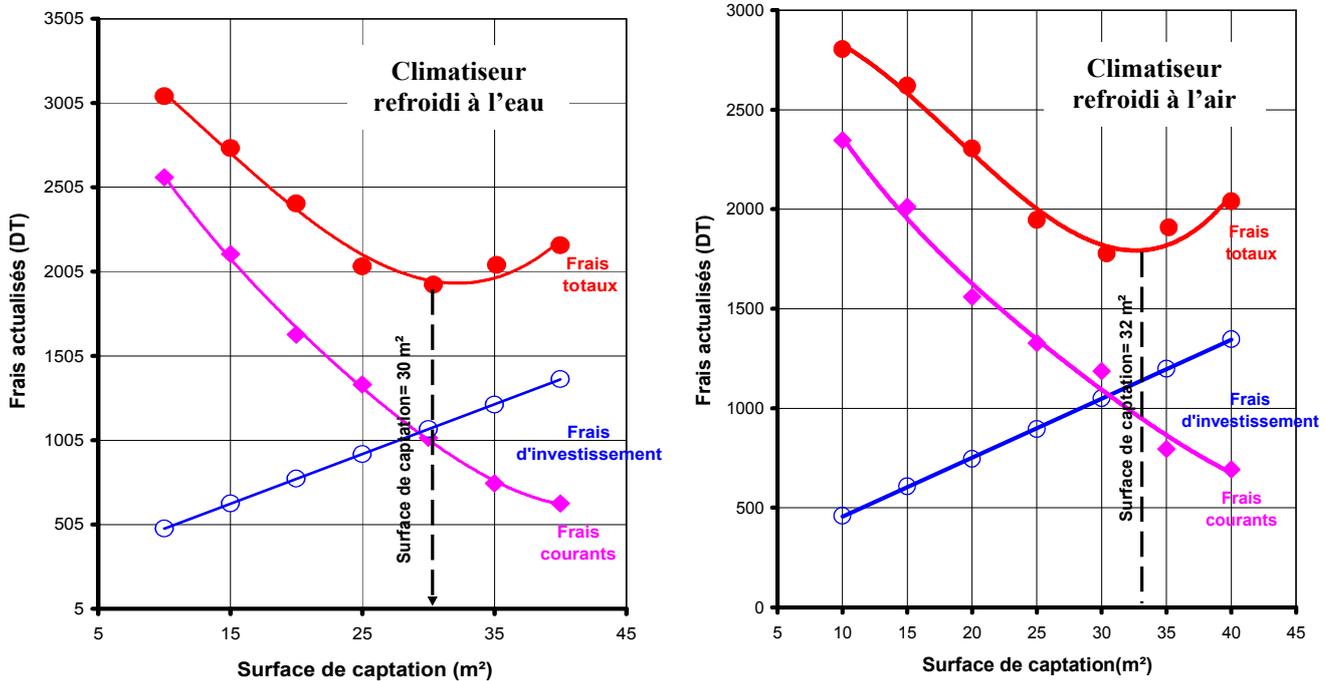


Figure 7 : Résultats de l'étude technico-économique

5. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons étudié par simulation deux systèmes de climatisation solaire comprenant des machines à absorption à eau/LiBr, l'une refroidie à l'eau et l'autre à l'air, pour climatiser une villa de 170 m² de superficie sous les conditions climatiques tunisiennes. Les calculs montrent qu'une installation où le climatiseur est refroidi à l'eau incorporant 30m² de capteurs solaires sous vide, un ballon de stockage de 1 m³ et assurant une température de 95°C de la chaleur motrice, permet de couvrir 87% des besoins en climatisation de la villa pour des frais totaux annuels, en supposant une durée de vie de 15 ans, évalués à 1930 DT. Le système avec refroidissement à l'air, avec une surface des capteurs de 32m², un volume du ballon de 600l et une température du fluide moteur de 110°C, couvre 88% des besoins en climatisation pour des frais de 1780 DT par an. Le choix de ce deuxième scénario, moins coûteux, serait le meilleur. Toutefois, il s'agit comme on le remarque de coûts élevés comparés à ceux d'une installation classique utilisant un climatiseur à compression mécanique. Cette étude n'est pas terminée. Nous envisageons la possibilité de mettre à profit l'installation solaire pour couvrir les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire pendant les périodes froides de l'année. Ce travail est en cours de réalisation.

REFERENCE

1. J. Castaing-Lasvignottes, Aspects Thermodynamiques et Technico-économique des Systèmes à Absorption liquide, 2001, *Institut Français du Froid Industriel*, France (www.jc.castaing.free.fr)
2. F. Assilzadeh, S.A. Kalogirou, Y.Ali, K.Sopian, 2004, *Journal of Renewable Energy*, vol. 30, pp. 1143-1159
3. R.A. Zogg, M. Feng, D. Westphalen, Guide to Developing Air-cooled LiBr Absorption for Combined Heat and Power applications, 2005, *Energy Efficiency and Renewable Energy*, US Department of Energy