

# Etude conceptuelle et fonctionnelle d'un cycle de réfrigération par absorption solaire : caractéristiques générales de performance

**BERRICH E.**<sup>1,2\*</sup>, **FELLAH A.**<sup>3</sup>, **BEN BRAHIM A.**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ecole des Mines de Nantes, Département Systèmes Energétiques et Environnement  
4, rue Alfred KASTLER - BP20722  
44307 Nantes Cedex 03 / France

<sup>2</sup> Université de Nantes, Faculté des Sciences et des Techniques - Département de Physique,  
GEPEA, CNRS - UMR 6144  
2, Rue de la Houssinière BP 92208 - 44322 Nantes Cedex 03 / France

<sup>3</sup> Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès (ENIG) – Département de Génie des Procédés,  
Route Universitaire - 6029 Gabès, Tunisie

\* Auteur correspondant : [emna\\_beriche@yahoo.fr](mailto:emna_beriche@yahoo.fr)

## Résumé

Vu la crise énergétique actuelle et les exigences réglementaires, l'utilisation de l'énergie solaire dans les pays ensoleillés est un moyen efficace pour pallier le manque d'énergie surtout dans les zones rurales où il est parfois difficile et coûteux de les alimenter avec le réseau électrique conventionnel [1]. En effet, dans les pays jouissant d'un ensoleillement important, l'énergie solaire peut être utilisée de deux manières, soit par conversion photovoltaïque, permettant de générer l'électricité directement à partir d'un rayonnement solaire, soit par conversion thermique, en transformant le rayonnement en chaleur ou en froid [2]. Dans le domaine de la conversion thermique, la production du froid est, après le chauffage de l'eau, l'application de l'énergie solaire la plus prometteuse [2].

Dans le cas de la climatisation, le couple Eau/Bromure de Lithium est généralement utilisé. Dans ce papier, une étude d'un cycle de réfrigération par absorption solaire pour des finalités de réfrigération (couple Ammoniac/Eau) est abordée. Nous nous sommes intéressés aux caractéristiques générales de performance de ces machines, principalement les ordres de grandeurs du coefficient de performance, (COP).

---

\* Auteur correspondant - Adresse électronique : [emna\\_beriche@yahoo.fr](mailto:emna_beriche@yahoo.fr)

## 1. Introduction

Produire du froid c'est prendre de la chaleur. Pour refroidir un milieu, il suffit d'y provoquer un phénomène endothermique qui absorbera la chaleur prise à ce milieu. La production du froid suit plusieurs procédés qui diffèrent par leurs efficacités, tel que la fusion d'un solide, la vaporisation d'un liquide (favorisée par une basse pression). Ces procédés absorbent de la chaleur et donc peuvent produire du froid. Dans la pratique, les procédés qui mettent en jeu le phénomène d'évaporation sont prédominants tels que les machines frigorifiques dont la base de leur fonctionnement repose sur l'évaporation d'un fluide frigorigène à basse température. Ces machines, qui fonctionnent à simple effet ou à effet multiple utilisant le plus souvent comme couple de travail un mélange  $\text{NH}_3/\text{Eau}$  (congélation) et  $\text{Eau}/\text{LiBr}$  (simple climatisation) sont généralement des systèmes refroidis par l'eau ou l'air mettant en jeu une tour de refroidissement.

La conception de ce type de machines connaît aujourd'hui une éventuelle évolution.

## 2. Fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption solaire

Le cycle frigorifique à absorption est un cycle tritherme qui nécessite l'utilisation au moins de trois sources de chaleur [3-5] :

- Une source à basse température,  $T_e$  où la chaleur est extraite du milieu à refroidir.
- Une source à température moyenne,  $T_{si}$  où la chaleur est cédée au milieu extérieur.
- Une source à haute température,  $T_{cs}$  où la chaleur est fournie au système pour assurer son fonctionnement.

Le cycle frigorifique à absorption est basé sur l'absorption de la vapeur d'un liquide par une solution. La vapeur d'un corps pur ne peut être absorbée par le même corps à l'état liquide que dans le cas où la température du liquide est inférieure à celle de la vapeur. L'intégration de l'énergie solaire dans l'apport énergétique au niveau du générateur présente un pas très intéressant dans l'utilisation des énergies renouvelables.

Ce cycle peut fonctionner en cycle continu ou intermittent.

## 2.1. Constituants d'une machine frigorifique à absorption solaire

Le cycle à absorption comprend les éléments suivants :

✓ **Un générateur** : La solution riche en frigorigène  $y$  reçoit la quantité de chaleur  $Q_g$  à une température  $T_g$  ce qui provoque la vaporisation d'une partie du frigorigène dissoute dans la solution. En sortie du générateur, on obtient donc de la vapeur du frigorigène et une solution appauvrie en frigorigène. Cet organe effectue donc une séparation.

✓ **Un condenseur** : C'est un composant analogue à celui des machines à compression de vapeur. C'est la température du fluide caloporteur alimentant le condenseur qui fixe la température de condensation et donc la pression dans l'ensemble générateur/condenseur. La condensation du frigorigène nécessite le rejet de la chaleur de condensation  $Q_c$ .

✓ **Un évaporateur** : C'est le lieu de production de froid. A la sortie du condenseur, le liquide passe à travers le détendeur, puis s'évapore en prenant de la chaleur  $Q_e$  au fluide ou à l'environnement à refroidir. La température d'évaporation, et par suite la pression dans l'ensemble évaporateur/absorbeur est fixée par la température de la source froide  $T_e$ .

✓ **Un absorbeur** : La vapeur sortant de l'évaporateur est absorbée par la solution pauvre en provenance du générateur à la température  $T_a$  et en dégageant une puissance calorifique  $Q_a$ .

## 2.2. Principe du fonctionnement en cycle continu

Le principe de fonctionnement en cycle continu d'une machine frigorifique à absorption solaire repose sur la théorie et les propriétés des mélanges binaires dont l'un des composants est beaucoup plus volatil que l'autre, et constitue le fluide frigorigène et l'autre constituant est appelé absorbant [5]. Le frigorigène est responsable de la production du froid au niveau de l'évaporateur et doit être suffisamment soluble dans l'absorbant. La différence de pression entre l'ensemble absorbeur/évaporateur (B.P) et générateur/condenseur (H.P) nécessite la présence d'une pompe sur le circuit de la solution riche (en frigorigène) et la présence d'un détendeur sur le circuit de la solution pauvre et celui du frigorigène.

Les machines à absorption sont différentes des machines à compression par l'absence de compresseur qui est remplacé par un générateur et un absorbeur. On peut utiliser différentes substances comme agents frigorigènes mais le couple eau /

ammoniac reste le plus utilisé dans le domaine de la réfrigération. Avec le système à absorption, on peut atteindre des températures inférieures à 0 °C en utilisant le couple ammoniac-eau. Pour les températures supérieures à 0 °C (climatisation), on peut employer le couple eau-bromure de lithium, dans lequel l'eau est le fluide frigorigène.

### **3. Modélisation et optimisation**

Une modélisation et une optimisation des paramètres conceptuels et fonctionnels selon le modèle endoréversible ont été élaborées. Une des caractéristiques du modèle mathématique établi est de faire intervenir des surfaces d'échange et donc de permettre une étude de dimensionnement de l'installation basée sur l'optimisation. Ceci permet l'étude de certaines variations sur les performances d'un réfrigérateur solaire par absorption.

L'optimisation est basée sur une modélisation par décomposition hiérarchisée et par sous structuration, sur les principes d'endoréversibilité des systèmes de transformation d'énergie [6-9] et sur la méthode des multiplicateurs de Lagrange pour l'optimisation [10]. Cette méthodologie a été appliquée pour l'étude conceptuelle d'un cycle de réfrigération par absorption solaire composé d'un concentrateur solaire (source chaude), un convertisseur solaire thermique (moteur thermique 1), une source intermédiaire, une source froide et quatre éléments principaux: un générateur, un absorbeur, un condenseur et un évaporateur.

### **4. Résultats et discussions**

Une étude de l'influence de certains paramètres fonctionnels sur les caractéristiques conceptuelles et les performances du cycle frigorifique à absorption solaire est réalisée.

#### **4.1. Coefficient de performance et température de la source froide**

L'effet de la température de la source froide  $T_{sf}$  sur le coefficient de performance COP est représenté par la figure 1. Dans la gamme de température de la source froide choisie, le coefficient de performance COP est très sensible aux variations de  $T_{sf}$ . Il varie entre 32% à 51%.

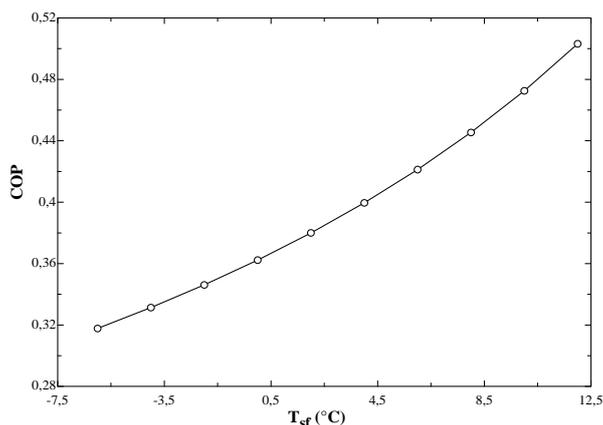


Figure 1. Influence de la température  $T_{sf}$  sur le coefficient de performance  
( $T_{sf}=28^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{sc}=120^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.2. Coefficient de performance et surfaces d'échange

La figure 2. représente la variation des différentes surfaces d'échange des différents éléments, à savoir de l'évaporateur, l'absorbeur, le condenseur et le générateur, couplées aux coefficients d'échange correspondants en fonction des variations du coefficient de performance. On cherche un compromis entre le COP et la surface totale [11-13] c'est à dire, avoir un COP maximal avec de faibles dimensions de l'installation [12]. Cette courbe permet de déduire, à un COP fixé, le produit surface d'échange -coefficient d'échange de chaque élément.

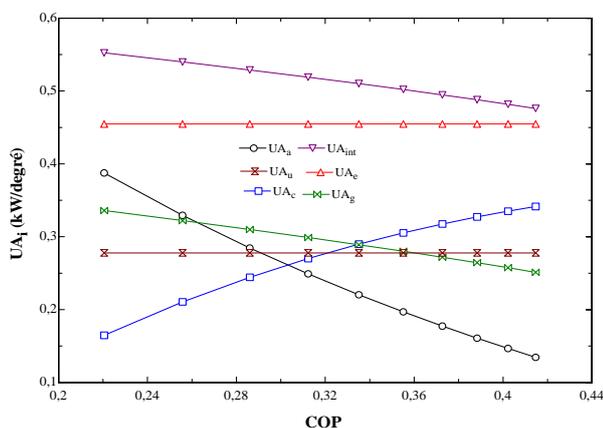


Figure 2. Influence du coefficient de performance sur  $UA_i$

### 5. Conclusion

Les cycles frigorifiques présentent deux catégories : à compression de vapeur et à absorption. Dans le présent papier, une étude d'un cycle de réfrigération par absorption solaire est présentée. Le développement des modèles thermodynamiques

d'une machine à absorption selon la nature du transfert est fréquemment étudié. Dans cette étude, une attention spécifique a été donnée au modèle de fonctionnement. On a constaté que pour se rapprocher du modèle réel, il est nécessaire de passer par l'étude des modèles intermédiaires entre le modèle réversible, dit modèle de Carnot, et le modèle irréversible (le modèle réel). Nous nous sommes alors intéressés aux modèles endoréversibles des machines frigorifiques à absorption simple effet. Une modélisation et une optimisation des paramètres conceptuels et fonctionnels ont été élaborées à fin d'étudier les performances d'une machine frigorifique à absorption solaire. Cette étude permet de concevoir une installation, de comparer la fiabilité du modèle endoréversible, et de prévoir une approche au modèle réel.

## 6. Références bibliographiques

- [1] F.LEMMINI, A. ERROUGANI, F. BENTAYEB "Experimentation of an adsorption solar refrigerator in RABAT". FIER', (2002), 260- 265
- [2] F. BENTAYEB, F. LEMMINI. "Simulation of Solar adsorptive Cold Warettonses in a dry and hot Moroccan climate". FIER', (2002), 24-32
- [3] A.BEN BRAHIM "Contribution à l'étude des cycles à absorption: performances du mélange eau-ammoniac de lithium-chlorure de calcium et un absorbeur composite pulvérisation-ruisellement", Thèse de Docteur es-Sciences physique, Toulouse-France, (1988), 25-31.
- [4] J.RAPIN "Formulaire de froid", Technique et vulgarisation, Paris, (1980), 152-166.
- [5] Chercheurs et ingénieurs "La production du froid par l'énergie solaire", Edition Européenne Thermique et Industrie, Paris (1978), 88-105, 77, 50, 123.
- [6] J.CHEN "The equivalent Cycle System of an Endoreversible Absorption Refrigerator and its general performance characteristics", Energy, vol 20, N°10, (1995), 995-1003.
- [7] P.J.MARTINEZ, J.M.PINAZO "A method for design analysis of absorption machines", Int.J.Ref, vol 25, (2002), 634-639.
- [8] K.H.HOFFMANN, J.M.BURZLER, S.SCHUBERT "Endoreversible Thermodynamics", J.Non-Eq.Th., vol 22, N°4, (1997), 311-355.
- [9] P.SALAMON, J.D.NULTON, G.SIRAGUSA, T.R.ANDRSEN, A.LIMON "Principles of Control Thermodynamics", Energy, vol 26, (2001), 307-355.
- [10] M.FEIDT, "Thermodynamique et Optimisation énergétique des systèmes et procédés", Technique et Documentation, (Lavoisier), Paris, (1987)
- [11] T.ZHENG, L.CHEN, FENGRUI, CHIH WU, "Performance optimization of an irreversible four-heat-reservoir absorption refrigerator", Applied Energy, vol 76, (2003), 391-414.
- [12] A.FELLAH, A.BEN BRAHIM, M.BOUROUIS, A.CORONAS "Analyse conceptuelle basée sur l'optimisation d'un cycle de réfrigération par absorption solaire", 16<sup>ème</sup> Congrès National de Génie Mécanique, Léon-Espagne, (2007)
- [13] GIUSEPPE.GRAZZINI, RINALDO RINALDI "Thermodynamic optimal design of heat exchangers for an irreversible refrigerator", Int. J. Therm. Sci, vol 40, (2001), 173-180