

# Modélisation par les réseaux de neurone artificiels d'une machine de production du froid solaire par absorption

D. KHANE<sup>#1</sup>, K. LAMAMRA<sup>#2</sup>, C. BEN SALAH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Science and Technology Department,  
University Centre Morsli Abdallah of Tipaza, Algeria  
khane@ges-engineering.fr; djilkhane@gmail.com*

<sup>2</sup> *Department of Electrical Engineering, University of Oum El Bouaghi.  
Researcher in laboratory of mastering of renewable energies, University of Bejaia, Algeria.*

<sup>2</sup>l\_kheir@yahoo.fr; k.lamamra@ges-engineering.fr

<sup>3</sup>*Control and Energy Management Laboratory (CEMLab), Department of Electrical Engineering,  
National School of Engineers of Sfax, Sfax, Tunisia*

<sup>3</sup>chokribs@yahoo.fr

<sup>#</sup>*Green Energy Solar  
business center; Office No. 13/4, Zéralda - Algiers, Algeria*

contact@ges-engineering.fr

**Résumé**— La représentation d'un phénomène physique par un modèle mathématiques n'est pas une finalité car pour les prédictions des évolutions des paramètres de certains types de phénomène physique et principalement dans les cas non linéaires ou pour des discrétisations temporelles les simulations nécessitent l'introduction de plusieurs expérimentations numériques des modèles mathématiques pour la convergence des résultats; d'où notre choix du modèle neuronale qui nous a permis de constater la convergence des résultats des simulations avec ceux obtenues avec le modèle de Lansing pour la caractérisation du coefficient de performance (COP) des machines à absorption qui produisent le Froid avec l'énergie solaire et l'efficacité énergétique de ce type de machine pour réduire les consommations.

**Keywords**— **machine à absorption, production du froid, réseaux de neurones, modèle de Lansing, modélisation.**

## I. INTRODUCTION

L'énergie solaire est une source quasiment inépuisable. Le soleil envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 15mille fois la consommation énergétique de l'humanité [1]. Cette énergie représente une puissance instantanée reçue de 1 Kilowatt crête par mètre carré (KWc/m<sup>2</sup>) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les études ont montrées que Les déserts de notre planète reçoivent en quelques heures plus d'énergie provenant du soleil équivalent en consommation annuelle de toute l'humanité [2].

La production du Froid avec l'énergie solaire couvre plusieurs aspects positifs principalement de limiter l'utilisation d'une climatisation classique réputée pour ses impacts négatifs sur l'environnement[3, 4]. Un climatiseur traditionnel produit du froid en comprimant un fluide dit «frigorigène» ou «réfrigérant» qui a la capacité d'absorber de grosse quantité de chaleur (calories) lorsqu'il passe de sa

phase liquide à sa phase gazeuse au niveau de l'évaporateur. Il consomme par conséquent de l'électricité pour actionner le compresseur et le fluide frigorigène. En effet, bien qu'il soit en circuit fermé, les fuites de fluide ne sont pas rares [3, 5].

Les impacts sur la consommation d'électricité et l'environnement sont donc loin d'être négligeables sachant que les fluides frigorigènes sont des gaz à effet de serre dont le pouvoir de réchauffement climatique est beaucoup plus élevé que celui du CO<sub>2</sub>: jusqu'à 2 mille fois et plus. Ainsi, l'utilisation de l'énergie solaire pour ces installations vise à limiter ces impacts. Dans le cas de la climatisation solaire, l'énergie calorifique délivrée par le système solaire est utilisée par des machines de production de froid ou de traitement d'air pour produire de l'énergie frigorifique permettant d'assurer le rafraîchissement des locaux [6, 7]. Selon l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), il faut parler plus précisément de «systèmes de conditionnement d'air des bâtiments assistés par le solaire». Autrement dit, l'alimentation de l'installation repose sur un mix énergie solaire/énergie conventionnelle, la contribution solaire pouvant aller jusqu'à 100% théoriquement [ADEME],[3, 8]. «Lorsque l'installation fonctionne uniquement grâce à la ressource solaire, le système ne permet alors d'obtenir qu'une diminution de la température de l'air du local de quelques degrés par rapport à l'air extérieur: on parle alors de rafraîchissement. À l'inverse, une installation associant systèmes solaire et d'appoint permet de maintenir une ambiance thermique et hygrométrique constante dans les locaux, quelles que soient les conditions extérieures : on parle alors de climatisation»[ADEME]. Plusieurs configurations sont possibles sachant qu'il existe plusieurs manières de produire du froid:

- Utiliser le solaire photovoltaïque pour assurer les besoins électriques du climatiseur à compression (climatiseur traditionnel).
- Utiliser de l'énergie solaire thermique et la convertir en énergie mécanique couplée avec un climatiseur à compression.
- Utiliser l'énergie solaire thermique pour alimenter une machine à froid dite à sorption (absorption ou adsorption)
- Utiliser l'énergie solaire thermique pour alimenter un système de conditionnement d'air par rafraîchissement évaporatif (DEC).

Dans ce papier des simulations avec un modèle à réseaux de neurones artificiels (RNA) d'une machine de production du froid solaire par absorption sont présentées dans le but de remplacer les modèles mathématiques par un modèle qui facilite la programmation numérique et qui donne une souplesse dans le choix de plusieurs variables en même temps pour les sorties qui donnent des interprétations pertinentes de cette machine.

## II. LES SYSTEMES FERMES: MACHINES A SORPTION

L'état de l'art en matière de systèmes de rafraîchissement utilisant l'énergie solaire fait apparaître deux grandes familles : les systèmes dits « fermés » et les systèmes « ouverts ». Alors que les systèmes fermés produisent, grâce aux machines à sorption, de l'eau glacée qui est ensuite utilisée pour le refroidissement ou la déshumidification de l'air, les systèmes ouverts refroidissent directement l'air (système DEC). Contrairement à la climatisation électrique traditionnelle qui produit du froid en comprimant un fluide, dans les machines à sorption, la compression mécanique est remplacée par une compression thermique. Ces systèmes utilisent également un fluide frigorigène et ses changements de phase (liquide/vapeur) mais provoquent ces changements grâce à un apport de chaleur. Le fluide frigorigène est dans ce cas de l'eau additionnée d'un second composant. Si ce dernier est un liquide, on parle alors d'absorbant et de machine à absorption, si c'est un solide poreux, on parle alors d'adsorbant et de machine à adsorption (ADEME).

### *Climatisation à Absorption*

Dans les machines frigorifiques à absorption utilisées en climatisation, la substance absorbante est généralement le bromure de lithium (LiBr), le fluide réfrigérant, de l'eau. Le couple ammoniac/eau peut également être utilisé. Ce type de machine permet de refroidir de l'eau jusqu'à 7°C environ. La température de l'eau utilisée pour la décomposition de l'eau et de l'absorbant doit être comprise entre 80 et 120°C (Fig. 1).

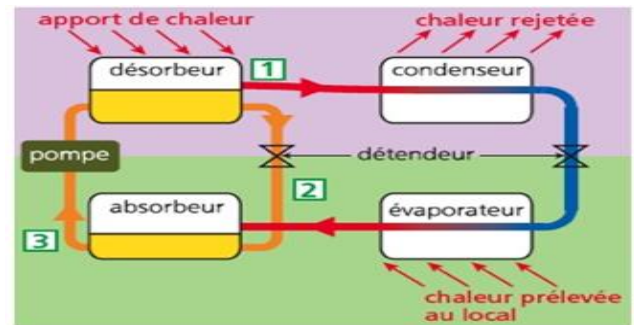


Fig. 1. Fonctionnement d'une machine à absorption [9].

Une machine frigorifique est énergétiquement efficace si elle demande peu d'énergie pour fournir une puissance frigorifique donnée. On évalue son efficacité par le calcul du coefficient de performance (COP): rapport entre la puissance frigorifique produite et la puissance fournie au compresseur. Dans le cas d'une machine frigorifique traditionnelle, la puissance fournie est électrique. Le COP d'une telle machine peut atteindre la valeur de 3 voire plus. Dans le cas d'une machine frigorifique à absorption, le COP thermique tourne autour de 0,7 ; celui d'une machine à adsorption varie entre 0,5 et 0,6. Ces machines à sorption sont déjà répandues dans le secteur industriel car certains procédés libèrent une chaleur importante dont il est possible de tirer une puissance frigorifique utile par ailleurs. Dans le secteur du bâtiment, l'idée est de coupler ces machines avec un Co-générateur ou des panneaux solaires. La chaleur nécessaire pour séparer les deux produits proviendrait par conséquent d'un Co-générateur ou de panneaux solaires thermiques. Le défi consiste désormais à réduire la taille et la puissance des machines pour pouvoir les intégrer dans le domaine du bâtiment. Généralement, les systèmes fermés actuels représentent la majorité des installations existantes de rafraîchissement solaire, avec une part prépondérante pour les systèmes à absorption [3, 7, 10].

La possibilité de production de froid à partir de l'énergie solaire a été initiée par les développements technologiques dans la filière solaire.

Les recherches dans ce domaine sont motivées par les besoins de climatisation pour le confort thermique dans les bâtiments. La croissance de cette demande, en particulier dans les régions chaudes imposent de s'orienter vers de nouvelles solutions. De ce fait, le rafraîchissement solaire de bâtiment est une des solutions les plus attractives à l'heure actuelle. Contrairement aux autres applications solaires telles que l'eau chaude, la demande en climatisation est en adéquation avec la période où le rayonnement solaire est le plus intense.

Le calcul de tout cycle frigorifique doit aboutir à la détermination des différents débits du mélange ainsi que les conditions opératoires telles que la température, la pression et la composition, et cela dans chaque partie du système.

Dans ce travail, la machine étudiée est à absorption utilisant le couple LiBr-H<sub>2</sub>O et l'étude thermodynamique du cycle à absorption avec un échangeur de chaleur (Absorbant-générateur).

### III. MACHINES FRIGORIFIQUES A ABSORPTION UTILISANT LE COUPLE (LiBr-EAU)

Les puissances frigorifiques de ces machines sont très élevées, leurs gammes s'étendent de 1 KW à 3,5 KW environ, elles sont très utilisées en Conditionnement d'Air [5, 11].

La Fig. 2 représente un schéma d'une installation à absorption H<sub>2</sub>O/LiBr. Dans cette installation, l'eau représente le fluide frigorigène alors que l'agent absorbant est le LiBr. Le LiBr est un sel solide mais quand il est mélangé avec suffisamment l'eau on obtient une solution liquide homogène. L'avantage principal de ce système est que le LiBr n'est pas volatil. Donc dans le générateur, il n'y aura que de la vapeur d'eau qui se forme, cependant l'inconvénient principal est l'alimentation de la température de solidification de 0°C. Ces installations sont utilisées en climatisation (> 0 °C) [5, 12].

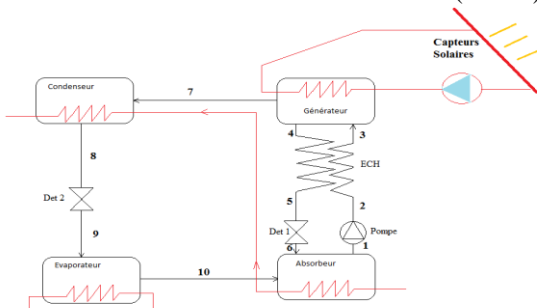


Fig. 2. Schéma de principe d'une machine à absorption solaire (H<sub>2</sub>O/LiBr) [9]

#### A. Fonctionnement

La solution H<sub>2</sub>O/LiBr chauffée dans le générateur, l'eau se sépare sous forme de vapeur, la solution reste diluée en LiBr (contrairement à la solution NH<sub>3</sub> qui elle s'appauvrit dans le bouilleur). La vapeur d'eau libre est condensée dans le condenseur et ensuite elle passe vers l'évaporateur où elle se vaporise. La vapeur d'eau produite est absorbée par la solution concentrée en provenance de bouilleur qui s'appauvrit dans l'absorbeur.

La pompe assure le retour de cette solution au bouilleur pour un nouveau cycle. Les faibles pressions réunies au bouilleur et au condenseur d'une part (1.6 bar absolue en moyenne) et à l'évaporateur et l'absorbeur d'autre part en permettant de concentrer en deux blocs qui se représentent sous la forme de cylindres :

- Bouilleur et Condenseur.
- Evaporateur et Absorbeur.

La très faible pression dans l'ensemble (évaporateur/absorbeur) oblige à maintenir un vide poussé dans cette partie de l'installation, afin que la température de vaporisation de l'eau soit proche de 0°C, ce vide est entretenu par une pompe [5, 11, 12].

#### B. Représentation Du Cycle A Absorption Dans Les Diagrammes

On constate que pour les machines à absorption, le nombre des variables indépendantes fait qu'on ne peut pas utiliser les diagrammes thermodynamiques valables pour les systèmes à

compression mécanique, deux diagrammes seront donc utilisés [13-15]:

- Diagramme d'Oldham.
- Diagramme de Merkel.

C'est le diagramme le plus utilisé pour une étude d'un cycle à absorption, Dans ce diagramme, c<sup>w</sup>les lignes de concentration sont des droites. Il est pratique pour établir un tracé approximatif d'un cycle et pour vérifier si les températures sont compatibles, mais il ne fournit aucun renseignement thermodynamique. Pour cela le diagramme de Merkel est utilisé. Ce dernier permet une étude complète de la machine à absorption car en plus des renseignements donnés par le diagramme, il renseigne sur l'enthalpie de la solution liquide et la vapeur du fluide frigorigène, c'est un diagramme (X,H) paramétré en pression et température pour la solution, en pression pour la vapeur [13-15].

### IV. CALCUL THERMODYNAMIQUE D'UNE MACHINE A ABSORPTION (H<sub>2</sub>O/LiBr)

Pour déterminer les pressions et les concentrations de la solution dans le cycle, on utilise soit :

- Les diagrammes mentionnés précédemment.
- Les modèles mathématiques décrivant les différentes concentrations en fonction des températures de travail. Dans notre travail nous avons choisis de travailler avec le modèle de L. Lansing [16].

#### A. Bilan Massique

Au niveau de l'absorbeur, deux bilans massiques peuvent être effectués par [11]:

$$mr + mc - md = 0 \text{ (Bilan global de la solution)}$$

$$mcX_c - mdX_d = 0 \text{ (Bilan du LiBr)}$$

On en déduit une expression de mc et de md en fonction de mr et des différents titres en frigorigène.

$$m_d = m_r \frac{X_c}{X_c - X_d}; m_c = m_r \frac{X_d}{X_c - X_d}$$

#### B. Bilan Enthalpique

On effectue le bilan enthalpie sur chaque composant échangeant de la chaleur ou du travail avec le milieu extérieur, On a [2]:

$$Q_a + Q_c = Q_e + Q_g$$

$$\text{Condenseur : } Q_c = mr(h_7 - h_8)$$

$$\text{Evaporateur : } Q_e = mr(h_{10} - h_9)$$

$$\text{Générateur : } Q_g = mf h_7 + mch_4 - mdh_3$$

$$\text{Absorbeur : } Q_a = mdh_1 - mrh_{10} - mch_6$$

$$\text{Pompe : } W_p = md(h_2 - h_1)$$

#### C. Débit spécifique de solution (Taux de circulation)

Le débit spécifique de solution (FR), qui est le rapport des flux massiques de la solution diluée (md) refoulée par la pompe et de vapeur (mr) désorbée au générateur, s'écrit [11]:

$$FR = \frac{md}{m_r} = \frac{X_c}{X_c - X_d} \text{ où :}$$

X<sub>c</sub>: le titre de la solution concentrée quittant le générateur pour rejoindre l'absorbeur.

X<sub>d</sub>: le titre du mélange binaire riche en fluide frigorigène quittant l'absorbeur pour rejoindre le générateur.

#### D. La Plage De Dégazage

La différence ( $X_c - X_d$ ) est appelée la plage de dégazage on la note ( $\Delta X$ ) [11] :  $\Delta X = X_c - X_d$

#### E. Détermination Du Coefficient De Performance COP

On utilisant les équations précédentes, on peut exprimer le COP par: 
$$COP = \frac{Q_e}{Q_g + W_p} = \frac{m_r(h_{10} - h_9)}{m_r h_7 + m_c h_4 + m_d(h_2 - h_1 - h_3)}$$

#### V ANALYSE THERMODYNAMIQUE ET CALCUL DES PERFORMANCES

Le modèle utilisé dans ce travail est celui de L. Lansing [16].

Ce dernier a établi un modèle mathématique décrivant les différents comportements ainsi les différentes propriétés thermodynamique des cycles à absorption pour le couple (LiBr-Eau). Le modèle établi travail dans la gamme de concentration des solutions entre 0.50 et 0.56 avec une erreur de 0.2 %.

Dans ce travail, un modèle neuronale qui permet de déterminer les propriétés thermodynamiques de chaque état dans le cycle d'une machine frigorifique à absorption est élaboré. Nous présentons par la suite, l'analyse de la simulation et la procédure de modélisation d'un système d'absorption bromure de lithium/eau à savoir les conditions initiales suivantes : la température du générateur 90°C, la température de l'évaporateur 7°C, la température de l'absorbeur et du condenseur 40°C, l'efficacité de l'échangeur 0.8, la puissance frigorifique est de 3024 kcal/h (3.5 kW). Les résultats de cette simulation sont présentés par les figures ci-dessous qui représentent les courbes de variation des quantités de chaleur, des concentrations, des débits, du COP et de son rapport.

La détermination des propriétés thermodynamiques de chaque état dans le cycle, la quantité de chaleur transféré dans chaque composant et les débits des différentes lignes dépend de l'ensemble des paramètres de contribution suivant [5, 13, 11]:

- Température du générateur  $T_g$ , [°C].
- Température d'évaporateur  $T_e$ , [°C].
- Température du condenseur  $T_c$ , [°C].
- Température de l'absorbeur  $T_a$ , [°C].
- Efficacités d'échangeur de chaleur liquide-liquide Eff.
- La charge de réfrigération  $Q_E$ .

L'ensemble des paramètres peut être déterminé par des mesures réelles ou présumées par une première estimation raisonnable. Le travail de la pompe, les pertes de charges dans les différents composants sont négligés.

La première loi de thermodynamique nous donne [11] :

$$Q_C + Q_A = Q_G + Q_E$$

Le coefficient de performance (COP)

Il est défini par [31, 34] :

$$COP = \frac{\text{puissance frigorifique}}{\text{energiemotrice}} = \frac{Q_E}{Q_G}$$

#### Le coefficient de performance idéale

Le COP maximal d'une machine à absorption est donné par [16] :

$$(COP)_{max} = \frac{T_e(T_g - T_a)}{T_g(T_c - T_e)}$$

D'où  $T_e$ ,  $T_a$ ,  $T_c$  et  $T_g$  sont respectivement les températures absolues de l'évaporateur, l'absorbeur, le condenseur et le générateur.

De là on tire : Le rapport du COP (COP ratio) [16]

$$COP\ ratio = \frac{(COP)}{(COP)_{max}}$$

Il est appelé le COP relative.

#### VI MODELISATION DE LA MACHINE DE PRODUCTION DU FROID SOLAIRE PAR ABSORPTION PAR LES RNA

Dans ce travail, la modélisation de la machine de production du froid solaire par absorption est effectuée en utilisant les Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) dans l'objectif de simplifier l'étude en simulation de cette machine en remplaçant plusieurs équations mathématiques par un simple modèle neuronale et facilité ainsi les tests et les analyses en simulation tout en gagnant un temps précieux et en évitant les équations mathématiques compliquées, ce qui a permis l'exploitation de ce modèle neuronale par n'importe quel utilisateur sans avoir besoin à recourir à ces équations mathématiques. Le modèle neuronale permet également de faire la variation de plusieurs paramètres en même temps ce qui est très difficile en utilisant les équations mathématiques [17].

Les RNA sont des techniques de traitement de données capables de modéliser les systèmes non linéaires et d'approximer n'importe quelle fonction avec une certaine erreur d'approximation [18, 19]. Le type de RNA utilisé dans ce travail est le réseau multicouches (MLP: Multi Layer Perceptron) avec la structure suivante: une couche d'entrée à 6 neurones, une couche cachée avec un nombre variable de neurones ( $N_n$ ) et une couche de sortie à un seul neurone. Les entrées sont: Température du générateur  $T_g$ , la température d'évaporateur  $T_e$ , la température du condenseur  $T_c$ , la température de l'absorbeur  $T_a$  et l'efficacité d'échangeur de chaleur liquide-liquide Eff ainsi que l'erreur de modélisation em qui est la différence entre la sortie du modèle neuronale et la sortie désirée. Pour la couche cachée, le nombre de neurones  $N_n$  est choisi par la méthode "essai/erreur". L'entraînement du RN est effectué par l'algorithme de rétro-propagation du gradient [20, 21]. Les résultats obtenus sont présentés dans la section qui suit.

#### VII RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Dans ce travail, nous proposons l'utilisation d'un modèle à RNA pour modéliser la machine de production du froid solaire par absorption. Ce modèle nous a permis d'éviter l'utilisation des équations mathématiques, qui deviendront très compliquées on variant plusieurs paramètres simultanément. A travers ce modèle neuronale, nous avons pu effectuer l'étude de la variation du COP en fonction des

différentes températures et aussi en fonction de la température du générateur pour différentes valeurs de l'efficacité de l'échangeur. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous. Ces résultats montrent que le modèle neuronale obtenu est pratiquement identique au modèles obtenus via les équations mathématiques du modèle de Lansing.

La fig. 3, représente la variation du coefficient de performance du modèle neuronale COPRN et celui du modèle de Lansing COPL et en fonction de la Température du générateur Tg.

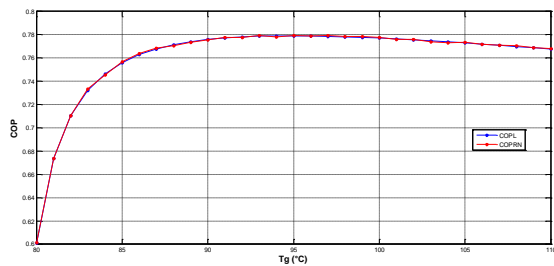


Fig. 3. Variation des coefficients de performance Cop du modèle neuronale et celui du modèle de Lansing en fonction de la Température du générateur.

Dans la fig. 3, on remarque que le COP augmente avec l'augmentation de Tg jusqu'à atteindre la valeur maximale 0.779 avec Tg=94°C, après la valeur le COP reste presque constant et ne descend pas au dessous de 0.76. Après cette valeur, l'investissement n'est pas important tant qu'on garde pratiquement le même COP.

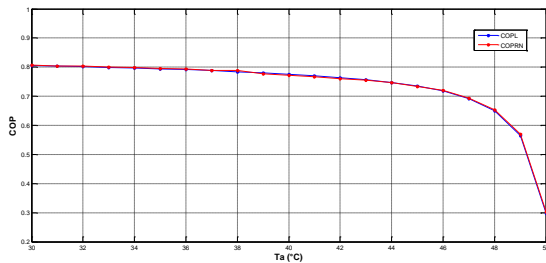


Fig. 4. Variation du coefficient de performance en fonction de la Température de l'absorbeur.

Ici, le COP diminue avec l'augmentation de Ta sachant que dans l'absorbeur on aura besoin d'un refroidissement pour assurer le bon fonctionnement de la réaction chimique Bromure de Lithium-eau.

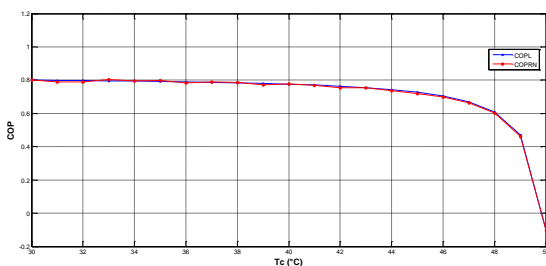


Fig. 5. Variation du coefficient de performance en fonction de la Température du condenseur.

Nous remarquons que le COP diminue avec l'augmentation de Tc tel que la vapeur d'eau sortante du

générateur passe vers le condenseur où elle se condense à la température ambiante, le phénomène de condensation est nécessaire pour avoir 100% d'eau liquide à la sortie du condenseur. Si la température ambiante (du condenseur) augmente on n'aura pas 100% de liquide à la sortie du condenseur donc le COP diminue.

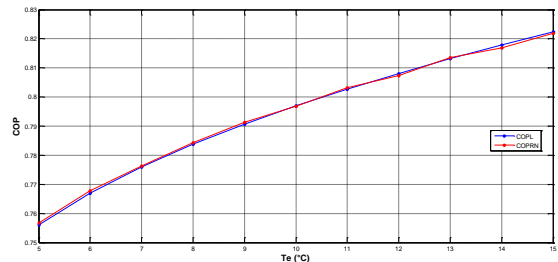


Fig. 6. Variation du coefficient de performance en fonction de la Température de l'évaporateur.

Nous remarquons que le COP augmente avec l'augmentation de Te, ce qui est expliqué du fait qu'avec l'augmentation de Te, la quantité de chaleur  $Q_e$  extraite par l'évaporateur augmente et suivant l'équation suivante  $COP = \frac{Q_e}{Q_g}$  le coefficient de performance augmente.

Il est évident de conclure que notre approche avec les réseaux de neurones colle bien avec le modèle mathématiques d'où son adoption pour la représentation du reste des résultats.

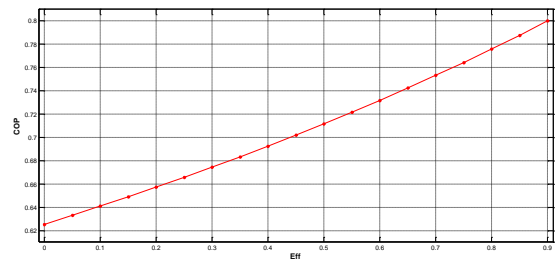


Fig. 7. Variation du coefficient de performance en fonction de l'efficacité de l'échangeur.

Le COP augmente avec l'augmentation de Eff, ce comportement est logique car si l'échangeur de chaleur admet une bonne efficacité, ça implique une augmentation de la température de la solution à l'entrée du générateur, ce qui aide à fournir moins d'énergie vers ce dernier et suivant l'équation suivante  $COP = \frac{Q_e}{Q_g}$  le COP augmente.

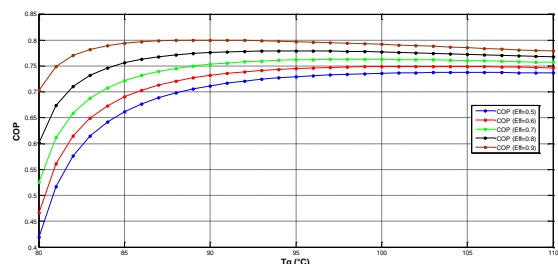


Fig. 8. Variation du coefficient de performance en fonction de la Température du générateur pour différents valeurs de l'efficacité de l'échangeur.

Nous remarquons que pour différentes valeurs de l'efficacité de l'échangeur le COP augmente avec l'augmentation de  $T_g$  jusqu'à atteindre la valeur maximale pour chaque courbe.

Ces résultats montrent que même après l'augmentation de  $T_g$ , les COP tendent vers pratiquement une même valeur constante, ainsi à partir de cette valeur l'investissement ne paraît pas important.

## V. CONCLUSIONS

Dans plusieurs régions du globe les températures que l'on peut atteindre à l'intérieur des locaux, à cause des charges thermo-frigorifiques intérieures et extérieures, sont souvent en dehors des conditions de bien-être.

Dans les pays du Maghreb beaucoup de pertes de chaleur sont rencontrées et peuvent être récupérées en développant, la machine frigorifique à absorption notamment couplée avec un système solaire qui présente des avantages: demandant très peu de maintenance et l'absence de machines tournantes de forte puissance fait des machines frigorifiques à absorption très silencieuses à l'opposé de la machine à compression mécanique. Dans ce travail les réseaux de neurones artificiels ont été utilisés pour modéliser la machine de production du froid solaire par absorption, ce modèle permet de faciliter le calcul des conditions de fonctionnement de ce types de systèmes à absorption, sachant que la détermination des performances d'un tel système par les méthodes classiques prend beaucoup de temps.

L'analyse thermodynamique de la machine frigorifique à absorption solaire fonctionnant avec le couple (LiBr-H<sub>2</sub>O) modélisée ici par un modèle neuronale a permis de montrer que plus la température du bouilleur est élevée plus le coefficient de performance de l'installation frigorifique est important, sachant que le flux de chaleur capté par le capteur solaire plan, agit directement sur la température du bouilleur, donc influe sur le coefficient de performance de la machine frigorifique à absorption.

D'après l'étude de simulation de l'installation frigorifique à absorption solaire on peut atteindre un coefficient de performance de la machine frigorifique important en choisissant une meilleure surface de captation solaire (optimale pour toute l'année) et en assurant le bon refroidissement des condenseurs et l'absorbeur.

Dans les travaux futurs et en utilisant ce modèle neuronale, il est intéressant de déterminer la surface des capteurs solaires thermiques nécessaire pour le fonctionnement de telles machines, en prenant en compte le rapport Performances/Prix d'investissement.

## REFERENCES

- [1] P. V. Kamat, K. Tvrđy, D. R. Baker, and J. G. Radich, "Beyond photovoltaics: semiconductor nanoarchitectures for liquid-junction solar cells," *Chem. Rev.*, vol. 110, no. 11, pp. 6664–6688, 2010.
- [2] A. V. Da Rosa, *Fundamentals of renewable energy processes*. Academic Press, 2012.
- [3] S. A. Kalogirou, *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press, 2013.
- [4] S. A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 30, no. 3, pp. 231–295, 2004.
- [5] A. Taieb, K. Mejri, and A. Bellagi, "Theoretical analysis of a diffusion-absorption refrigerator," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 41, no. 32, pp. 14293–14301, 2016.
- [6] H. Ma, F. Balthasar, N. Tait, X. Riera-Palou, and A. Harrison, "A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles," *Energy Policy*, vol. 44, pp. 160–173, 2012.
- [7] A. Allouhi, T. Kousksou, A. Jamil, P. Bruel, Y. Mourad, and Y. Zeraouli, "Solar driven cooling systems: An updated review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 159–181, 2015.
- [8] T. Nikolakakis and V. Fthenakis, "The optimum mix of electricity from wind-and solar-sources in conventional power systems: Evaluating the case for New York State," *Energy Policy*, vol. 39, no. 11, pp. 6972–6980, 2011.
- [9] "Les systèmes fermés : les machines à sorption - La climatisation solaire." [Online]. Available: [http://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/climatisation\\_solaire/systemes\\_fermes.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/climatisation_solaire/systemes_fermes.php4). [Accessed: 08-Oct-2016].
- [10] F. Assilzadeh, S. A. Kalogirou, Y. Ali, and K. Sopian, "Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors," *Renew. Energy*, vol. 30, no. 8, pp. 1143–1159, 2005.
- [11] T. A. Reddy, J. F. Kreider, P. S. Curtiss, and A. Rabl, *Heating and cooling of buildings: design for efficiency*. CRC Press, 2009.
- [12] M. J. Mendell, Q. Lei-Gomez, A. G. Mirer, O. Seppänen, and G. Brunner, "Risk factors in heating, ventilating, and air-conditioning systems for occupant symptoms in US office buildings: the US EPA BASE study," *Indoor Air*, vol. 18, no. 4, pp. 301–316, 2008.
- [13] N. Soli, N. B. Hafsia, and B. Chaouachi, "Thermodynamic feasibility study of absorption diffusion machine working with hydrocarbons," *Int. J. Hydrog. Energy*, 2016.
- [14] D.-W. Sun, "Thermodynamic design data and optimum design maps for absorption refrigeration systems," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 17, no. 3, pp. 211–221, 1997.
- [15] W. L. Martz, C. M. Burton, and A. M. Jacobi, "Local composition modelling of the thermodynamic properties of refrigerant and oil mixtures," *Int. J. Refrig.*, vol. 19, no. 1, pp. 25–33, 1996.
- [16] F. L. Lansing, "Computer modeling of a single stage lithium bromide/water absorption refrigeration unit," *Jet Propuls. Lab. Calif. Inst. Technol. Pasadena CA Deep Space Netw. Prog. Rep.*, no. 42–32, pp. 247–257, 1976.
- [17] N. Tehlah, P. Kaewpradit, and I. M. Mujtaba, "Artificial neural network based modelling and optimization of refined palm oil process," *Neurocomputing*, 2016.
- [18] A. T. Azar and S. Vaidyanathan, *Computational intelligence applications in modeling and control*. Springer, 2015.
- [19] K. Lamamra, K. Belarbi, and S. Boukhtini, "Box and Jenkins Nonlinear System Modelling Using RBF Neural Networks Designed by NSGAIL," in *Computational Intelligence Applications in Modeling and Control*, Springer, 2015, pp. 229–254.
- [20] J. C. Patra, C. Modanese, and M. Acciari, "Artificial neural network-based modelling of compensated multi-crystalline solar-grade silicon under wide temperature variations," *IET Renew. Power Gener.*, 2016.
- [21] M. T. Hagan, H. B. Demuth, M. H. Beale, and O. De Jesús, *Neural network design*, vol. 20. PWS publishing company Boston, 1996.