

SARM: Simulation of Absorption Refrigeration Machine

S. Kherris^{1*}, M. Makhlouf¹ et A. Asnoun²

¹ Laboratoire des Matériaux et des Systèmes Réactifs, 'LMSR', Département de Génie Mécanique
Université Djillali Liabès, B.P. 89, Sidi Bel Abbès, Algérie

² Laboratoire de Recherche des Technologies Industrielles, Département de Génie Mécanique
Université Ibn Khaldoun, B.P. 78, Tiaret, Algérie

(reçu le 17 Novembre 2008 – accepté le 25 Décembre 2008)

Résumé - *Le but de ce travail est: - la conception d'un programme de simulation d'un système de réfrigération à absorption (simple et à deux étages), fonctionnant avec le couple binaire NH₃-H₂O, baptisé SARM 'Simulation of Absorption Refrigeration Machine'; - la création d'une base de données contenant les propriétés thermodynamiques et physiques pour l'ammoniac, l'eau et leurs mélanges à différentes concentrations; - la conception assistée par ordinateur des deux diagrammes thermodynamiques d'Oldham (LogP, -1/T) et de Merkel (h, ξ), dont la plage d'utilisation a été élargie (pour P: de 0.1 à 50 Bars – pour T: de 213.15 à 513.15 K); - de dimensionner les différents organes (échangeurs mono et diphasiques) de l'installation. Pour la validation du programme de simulation, les résultats ont été confrontés, à d'une part, à ceux de R. Kuzman, de J.S. Gallagher, concernant les propriétés thermodynamiques du couple binaire NH₃-H₂O, et d'autre part, à ceux obtenus par le logiciel ABSIM 'Modular Simulation of Absorption Systems', concernant les performances des cycles à absorption. Pour les deux cas, les résultats obtenus sont satisfaisants.*

Abstract – *The purpose of this work is: - the design of a simulation program for a refrigeration system absorption (single and double stage), working with the binary couple NH₃-H₂O, called SARM 'Simulation of Absorption Refrigeration Machine', - the creation of a database containing the physical and thermodynamic properties for ammonia, water and their mixtures with different concentrations - computer-aided design of the two diagrams of Oldham thermodynamic (LogP, -1/T) and Merkel (h, ξ), whose range has been extended (for P: from 0.1 to 50 Bars - T: from 213.15 to 513.15 K) - to size various organs (mono and exchangers diphasic) of the installation. To validate the simulation program, the results were confronted in one hand, those of R. Kuzman, J.S Gallagher on the thermodynamic properties of the binary pair NH₃-H₂O, and secondly, to those obtained by the software ABSIM 'Modular Simulation of Absorption Systems', about the performance cycles absorption. In both cases the results are satisfactory.*

Mots clés: Système à absorption - Ammoniac-eau - Solution binaire - COP - Merkel - Oldham.

1. INTRODUCTION

Il est aisé de remarquer ces derniers temps, l'importante croissance que connaît le marché de l'énergie, ce qui ouvre les portes à une course vers de nouvelles sources d'énergie ou de nouveaux procédés permettant d'obtenir d'avantage d'énergie.

C'est dans le même ordre d'idée que le milieu industriel et quelques laboratoires de recherche portent un intérêt de plus en plus grandissant au développement des machines

* kherris_sahraoui@yahoo.fr _ meqluf@yahoo.fr

frigorifiques à absorption qui ont de nombreux avantages dont nous citerons de manière non exhaustive: faible consommation d'énergie électrique (coûteuse); chaleur reçue par le fluide dans le bouilleur peut être gratuite (solaire ou régénérée par les gaz d'échappement); la possibilité d'utilisation dans des milieux hostiles du fait de la diversité des sources d'énergie de chauffage (solaire, butane..); la simplicité de son fonctionnement; sa longévité et absence de pièces mobiles (fiables et silencieuses).

Les installations frigorifiques à absorption utilisant la solution $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, ont en revanche certains inconvénients, tel qu'un investissement de matériel élevé, et une efficacité faible en comparaison avec les systèmes frigorifiques à compression mécanique (coefficient de performance ($20 \div 70$ %) comparé à ($80 \div 120$ %) pour les systèmes à compression mécanique).

Dans le cadre d'un projet de développement d'un logiciel de simulation et de dimensionnement de machines frigorifiques à absorption, nous avons été amenés à utiliser parmi les modèles mathématiques qui calculent les propriétés thermodynamiques du mélange $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, celui de M. Feidt [1], qui combine la méthode de l'énergie libre de Gibbs pour les propriétés thermiques et des équations qui calculent le point de bulle et le point de rosée du mélange. Cette méthode combine les avantages des deux et évite le besoin de faire des itérations afin d'avoir les conditions d'équilibre de phases. Les corrélations proposées couvrent des conditions d'équilibre de phases à des pressions et des températures élevées:

$$230 < T < 600 \text{ K et } 0.2 < P < 110 \text{ Bars .}$$

Ce domaine se trouve sous les points critiques de tous les composants, de sorte que la détermination de l'équation d'état pour le mélange, ne prend pas en considération les particularités référents au domaine d'état critique, (Fig. 1).

2. SIMULATION DU SYSTEME PAR LE PROGRAMME 'SARM'

Dans le cadre de la simulation numérique du fonctionnement du système en régime stationnaire de l'installation frigorifique à absorption $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, à simple et double étages, nous avons effectué un programme de calcul désigné par 'SARM' avec le langage Delphi et nous nous sommes fixés trois objectifs:

1. Automatisation des diagrammes de Oldham et de Merkel;
2. Dimensionnement des échangeurs;
3. Détermination des limites de fonctionnement pour une installation à absorption hydro ammoniacale, (température de vaporisation minimale, température de l'agent de chauffage minimale, coefficient de performance maximal et température de l'agent de refroidissement maximale).

2.1 Structure générale du logiciel SARM

Le programme de calcul 'SARM' est composé de trois parties, (Fig. 2):

- Première partie: Introduction des données.
- Deuxième partie: Calcul.
- Troisième partie: Affichage des résultats.

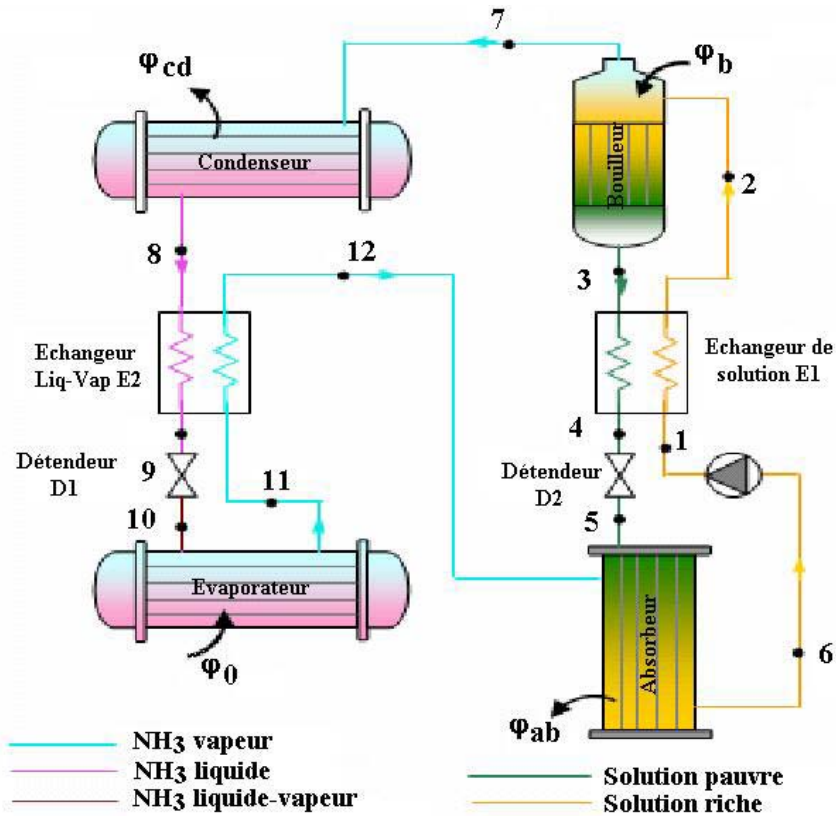


Fig. 1: Description schématique du cycle à absorption à simple étage



Fig. 2: Programme SARM tel qu'il s'affiche sur l'écran

2.2 Limite de fonctionnement du logiciel SARM

Ce programme fonctionne dans les limites suivantes:

- La température de vaporisation: $-5\text{ C} - +15\text{ °C}$;
- La température de l'agent de chauffage dans le bouilleur: $75\text{ C} - 130\text{ °C}$;
- La température du fluide de refroidissement au condenseur et l'absorbeur: 20 C et 60 °C ;
- La température de condensation: $25\text{ C} - 50\text{ °C}$;
- La capacité frigorifique φ_0 : à 50 C , 2000 kW .

Le programme inclus des codes spécifiques pour automatiser les diagrammes thermodynamiques de Oldham et de Merkel.

3. RESULTATS DE SIMULATION

Diagrammes de Merkel et de Oldham

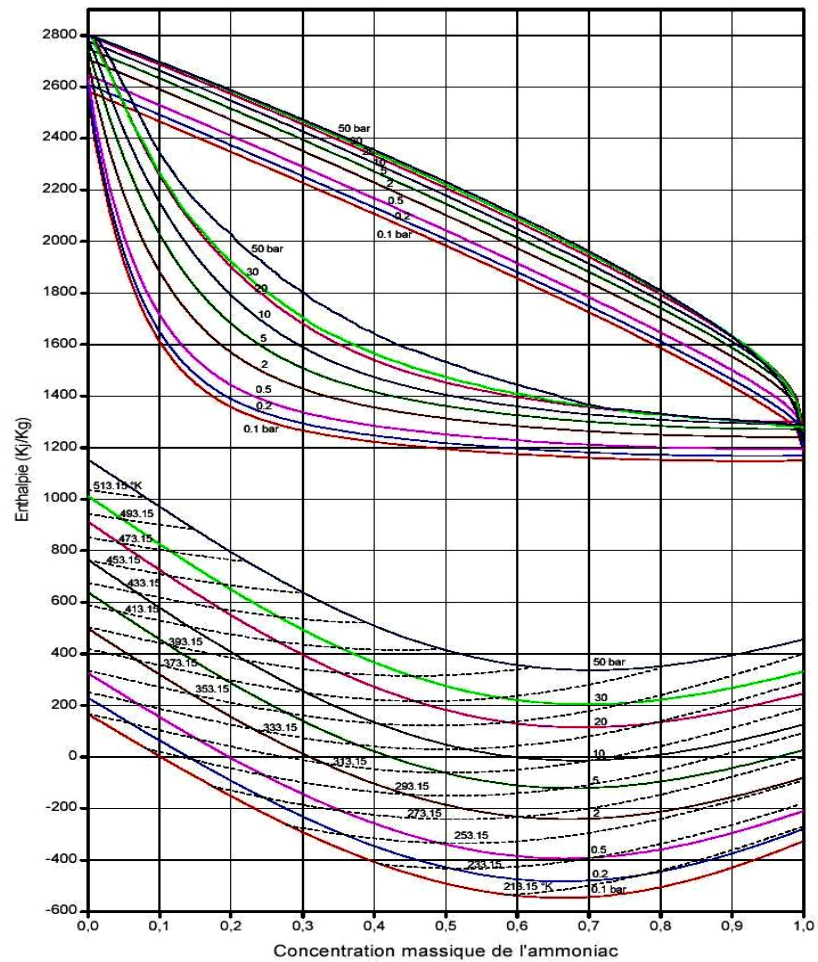


Fig. 3: Diagramme de Merkel automatisé

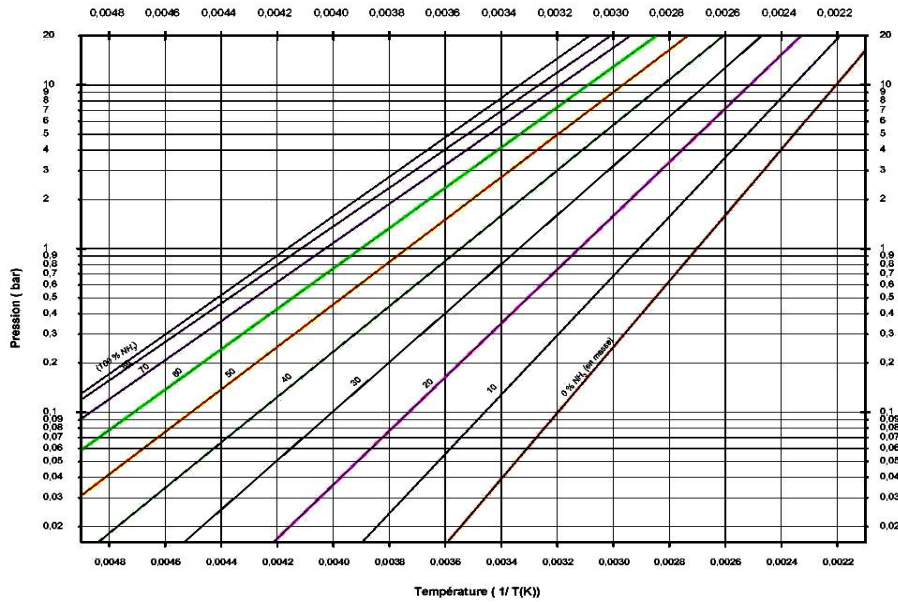


Fig. 4: Diagramme de Oldham automatisé

4. VALIDATION DES RESULTATS

La validation du modèle, c'est la confrontation directe de nos résultats à ceux obtenus, soit par l'expérimentation, soit par d'autres modèles.

Nous choisissons pour la validation du modèle de l'enthalpie, de l'entropie et du volume pour les deux corps NH_3 et H_2O , deux tests, à savoir: le test de Student et le test du coefficient de corrélation [2]. Ils s'appliquent donc concrètement lorsqu'on dispose de données présentées sous forme de deux distributions numériques, l'une correspondant par exemple au modèle de référence [3 - 5], l'autre correspondant à nos résultats. Les deux tests montrent que les résultats sont valides (Fig. 5).

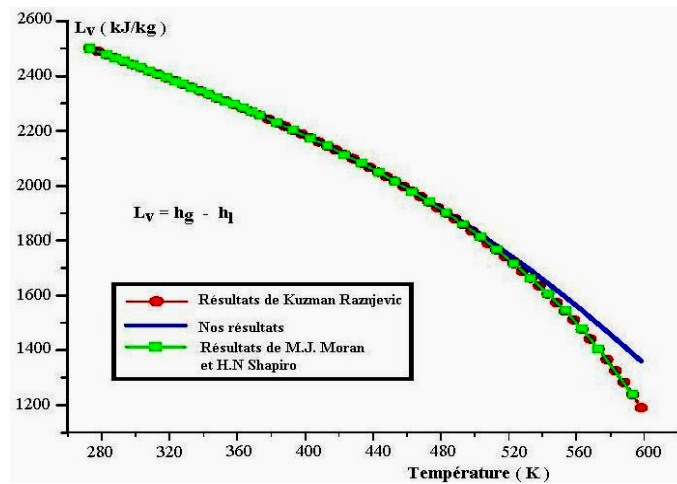


Fig. 5: Chaleur latente de vaporisation de l'eau en fonction de la température

4.1 Validation du coefficient de performance d'une machine à absorption à simple étage

Pour la simulation thermodynamique d'un cycle à absorption NH₃-H₂O à simple étage, nous avons choisi des performances données par le constructeur Colibri [6], pour la comparaison du COP.

Les conditions de fonctionnement choisies sont:

- La température du bouilleur $T_b = 120^\circ\text{C}$;
- La température du condenseur $T_c = 30^\circ\text{C}$;
- La température de l'absorbeur $T_{ab} = 30^\circ\text{C}$;
- La température de l'évaporateur $T_0 = (0 \div 10^\circ\text{C})$;
- Le rendement des échangeurs $\eta = 0.8$.

Tableau 1: Comparaison du COP

T (évaporation)	COP (Nos résultats)	COP (Colibri)	Erreur (%)
0	0.497	0.56	11.25
2.5	0.525	0.58	9.48
5	0.553	0.59	6.27
7.5	0.581	0.60	3.16
10	0.611	0.62	1.45
Erreur moyenne			6.32

On note que les résultats du **Tableau 1**, obtenus par le logiciel 'SARM' ont une bonne concordance avec ceux du constructeur Colibri.

4.2 Validation du coefficient de performance d'une machine à absorption à deux étages

La température de l'absorbeur et celle du condenseur sont maintenues à 30 °C. Nous donnons les résultats obtenus par les deux programmes 'SARM' et 'ABSIM' (Modular Simulation of Absorption Systems) [7] du processus à deux étages entraîné par l'eau chaude à des températures entre 90 et 110 °C, et pour des gammes des températures à la sortie de l'évaporateur comprises entre 0 et 10 °C).

5. CONCLUSION

En conclusion, on remarque que dans la méthode analysée, l'erreur moyenne d'approximation entre le programme 'SARM' et le programme 'ABSIM' (considérée comme base de calcul), est inférieure à 4.1 %. D'autre part, en comparant nos résultats à ceux données par le constructeur Colibri, l'erreur est inférieure à 6.35 %.

On conclut que le programme 'SARM', simule les processus thermodynamiques qui ont lieu dans le cadre des installations frigorifiques à absorption fonctionnant avec le couple NH₃-H₂O, avec satisfaction.

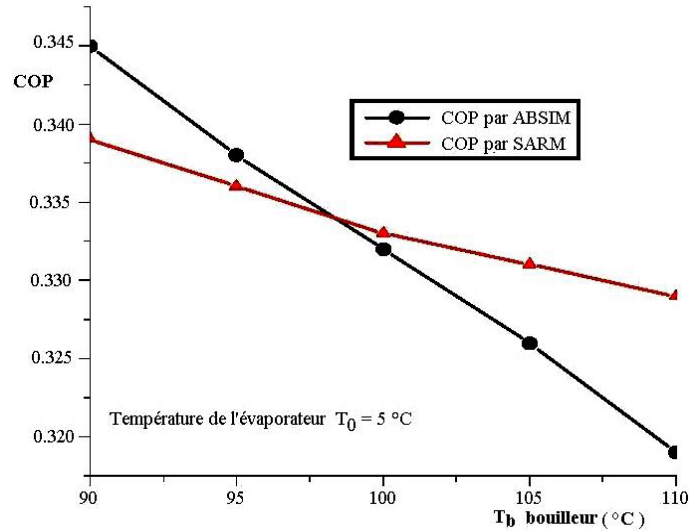


Fig. 6: Comparaison des résultats obtenus par ABSIM et SARM du COP en fonction de T_b

NOMENCLATURE

- T : Température, (K)
 P : Pression, (bar)
 h : Enthalpie massique, (kJ/kg)
 COP : Coefficient de performance
 L_v : Chaleur latente de vaporisation, (kJ/kg)

Indices

- C : Condensation
 ec : Economiseur
 b : Bouilleur
 ab : Absorbeur
 cd : Condenseur
 srf : Sous- refroidisseur
 0 : Evaporation

REFERENCES

- [1] F. Michel, H. Amer and L. Olivier, 'Thermodynamics Properties of Ammonia - Water Mixtures', International Congress of Refrigeration, Washington, ICR 0113, 2003.
 [2] J.N. Baléo et B. Bourges, 'Méthodes et Outils pour les Expérimentations Scientifiques', Edition Technologie & Documentation, 2003.
 [3] R. Kuzman, 'Tables et Diagrammes Thermodynamiques', Editions Eyrolles, 1970.

- [4] L. Hear AND J.S. Gallagher, '*Thermodynamic Properties of Ammonia*', Journal of Physical Chemistry, Reference Data, Vol. 7, pp. 635 – 792, 1978.
- [5] J.M. Michael and N.S. Howard, '*Fundamentals of Engineering Thermodynamics*', Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [6] C.L. Jean, '*Aspects Thermodynamiques et Technico-économiques des Systèmes à Absorption Liquide*', Institut Français du Froid Industriel, 2001.
- [7] G. Gershon and Z. Abdi, '*ABSIM, Modular Simulation of Absorption Systems*', International Journal of Refrigeration, Vol. 24, N°6, pp. 531 – 543, 2001.