SIMULATION DU CIRCUIT HELIUM POUR LA MACHINE A ABSORPTION DIFFUSION

K.Essid[1*], A.Bellagi[1]

[1] *U.R.Thermique et Thermodynamique des Procédés Industriels, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Av. Ibn Jazzar, 5060, Monastir– Tunisie*
kha_w_laa@hotmail.fr, a.bellagi@enim.rnu.tn

RESUME
Dans ce papier nous présentons les résultats de la simulation numérique du circuit gazeux d'une machine frigorifique à absorption-diffusion en utilisant le code de calcul *FLUENT*. Les gaz circulent spontanément par convection naturelle entre l'évaporateur froid placé en haut et l'absorbeur chaud placé plus bas, l'hélium étant mélangé aux vapeurs d'ammoniac dans la branche descendante du circuit et presque pur dans la branche ascendante à son retour vers l'évaporateur.
L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des différents paramètres opératoires sur le flux d'ammoniac transporté. Nous envisageons de mettre au clair en particulier l'influence des températures des deux organes -- source et puits d'ammoniac -- ainsi que celle de la composition du mélange gazeux en sortie de l'évaporateur et du condenseur sur cette circulation.

NOMENCLATURE

ρ	Masse volumique	(kg/m^3)	R	Constante de gaz parfait	(j/mol/K)
P	Pression	(bar)	n	Nombre des moles	(moles)
V	Volume	(l)	M	Masse molaire	(kg/kmol)
T	Température	(K)			

1. INTRODUCTION

Les cycles frigorifiques à absorption-diffusion ont été inventés par von Platen et Munters au début du siècle dernier. Ils présentent la particularité d'avoir un fonctionnement à pression uniforme, ce qui évite l'utilisation de l'énergie mécanique ou électrique nécessaire à un compresseur ou une pompe pour ramener le fluide frigorigène d'un niveau de pression à un autre. Sans pièces tournantes, la circulation est purement thermique ce qui rend ces appareils silencieux, d'une parfaite étanchéité, une sécurité renforcée et un coût nettement moins élevé. Ce cycle utilise l'ammoniac comme réfrigérant, l'eau comme absorbant et l'hélium ou l'hydrogène comme gaz auxiliaire égaliseur de pression et fonctionne à l'aide d'une pompe à bulles pour la mise en circulation des solutions liquides.
Le fonctionnement de la machine à absorption est une combinaison d'un ensemble de boucles fluides couplées (Figure 1).
En effet on trouve :

- Le circuit du réfrigérant (l'ammoniac) : il comprend tous les organes de la machine. L'ammoniac est libéré de la solution riche sous forme vapeur au niveau du générateur. Dans le condenseur il se condense en cédant de l'énergie vers le medium de refroidissement, puis il est dirigé vers l'évaporateur pour s'évaporer par chute de sa pression partielle en le mélangeant à l'hélium. L'énergie nécessaire à cette évaporation et puisée au milieu ambiant. Le mélange gazeux (ammoniac/hélium) se dirige par la suite vers l'absorbeur pour rejoindre la solution pauvre venant de la pompe à bulles. Suite au phénomène d'absorption, l'ammoniac est dissout dans l'eau en libérant l'hélium gazeux qui va repartir vers l'évaporateur. La solution riche en ammoniac quitte l'absorbeur pour revenir vers le générateur en passant par l'échangeur du solution, et le cycle recommence.

- Le circuit de la solution liquide (eau/ammoniac) : ce circuit comprend le générateur, la pompe à bulles, l'échangeur du solution et l'absorbeur. Le moteur de cette boucle est la pompe à bulles qui élève la solution pauvre à un niveau supérieur à celui de l'absorbeur permettant son écoulement vers ce dernier par gravité.
- Le circuit gazeux: il comprend l'évaporateur, l'échangeur gaz/gaz et l'absorbeur. Il est actionné par la convection naturelle. Le mélange gazeux ammoniac/hélium issu de l'évaporateur est à basse température et sa masse volumique est importante à cause de la présence de NH_3. Il est pompé dans l'absorbeur où l'ammoniac est dissout dans la solution ammoniacale dont la température s'élève. C'est donc un gaz chaud et léger qui quitte l'absorbeur et monte vers l'évaporateur dans la boucle ascendante du circuit.

L'objet de notre travail est l'étude de cette boucle. Il s'agit de mettre en lumière (et quantifier) l'effet de la température et de la composition du mélange gazeux sur la vitesse de circulation des gaz dans cette boucle.

2. CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES

La circulation des gaz dans le circuit est engendrée par la différence des masses volumiques due à une différence de température renforcée par une différence de composition.
Soient ρ la masse volumique moyenne du mélange, ρ_1 celle du mélange dans la branche ascendante et ρ_2 dans la branche descendante de la boucle.
En supposant, dans une première approche simplifiée, un mélange des gaz parfaits il vient

$$PV = nRT \quad \text{soit} \quad \rho = \frac{PM}{RT} \tag{1}$$

où M désigne la masse molaire du mélange qui dépend de sa composition.
Appliquée tour à tour à chacun des composants du mélange, cette relation donne les masses volumiques partielles de l'ammoniac et de l'hélium :

$$\rho_{NH_3} = \frac{P_{NH_3}}{RT} M_{NH_3}; \rho_{H_e} = \frac{\left(P - P_{NH_3}\right)}{RT} M_{He} \tag{2}$$

soit pour le mélange,

$$\rho = \rho_{NH_3} + \rho_{He} = \frac{PM_{He} + p_{NH_3}\left(M_{NH_3} - M_{He}\right)}{RT} \tag{3}$$

En remplaçant les masses molaires par leurs valeurs respectives (M_{NH3} =17 kg/kmol ; M_{He} = 4 kg/kmol), on obtient

$$\rho = \frac{4P + 13P_{NH_3}}{RT} \tag{4}$$

Appliquée aux deux branches de la boucle, en prenant en considération que la pression totale P est uniforme ($P_1 = P_2 = P$)

$$\rho_1 = \frac{4P + 13P_{NH_3,1}}{RT_1} = \frac{P}{RT_1}\left(4 + 13y_1\right) \tag{5}$$

$$\rho_2 = \frac{4P + 13P_{NH_3,2},}{RT_2} = \frac{P}{RT_2}\left(4 + 13y_2\right) \tag{6}$$

où *y* désigne la fraction molaire de l'ammoniac dans le mélange gazeux.
La différence de masse volumique de deux branches responsable de la mise en circulation des gaz dans cette boucle s'écrit alors

$$\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1 = \frac{P}{R}\left(\frac{1}{T_1}(4+13y_1) - \frac{1}{T_2}(4+13y_2)\right) \quad (7)$$

soit encore

$$\Delta\rho = \frac{P}{R}\left(4.\frac{\Delta T + 13(T_1 y_2 - T_2 y_1)}{T_1 T_2}\right) \quad (8)$$

avec $\Delta T = T_1 - T_2$
La différence des masses volumiques des deux branches de circuit est une fonction du gradient de température et des fractions de l'ammoniac respectivement dans la branche ascendante et descendante.

3. MODELISATION DU SYSTEME

Ce circuit est constitué essentiellement d'un évaporateur et d'un absorbeur (Figure 2). Entre ces deux organes il y a une circulation d'un mélange gazeux (hélium et ammoniac vapeur) descendante de l'évaporateur vers l'absorbeur riche en ammoniac d'une part, ascendante de l'absorbeur vers l'évaporateur pauvre en ammoniac, d'autre part.
Pour simuler ce système, nous avons remplacé le système réel par un modèle (Figure 3) :

- ✓ l'évaporateur est considéré comme une zone de refroidissement parce que c'est l'endroit de la production du froid (une zone où règne une température $T_f = 0°C$),
- ✓ l'absorbeur est considéré comme une zone de réchauffement puisque l'absorption est exothermique (une zone où règne une température $T_c > T_f$),
- ✓ le retour du fluide de l'absorbeur vers l'évaporateur (côté pauvre en ammoniac) est considéré composé d'hélium pur,
- ✓ à la sortie du circuit on a de l'ammoniac pur et
- ✓ le système est supposé adiabatique.

4. SIMULATION DU CIRCUIT GAZEUX

Pour la modélisation de notre problème on utilise deux logiciels industriels : *GAMBIT* pour le maillage du système et *FLUENT* pour le calcul.
Le code *FLUENT* résout les équations de conservation de la masse, de la quantité du mouvement et de l'énergie par la méthode des volumes finis.
La méthode comprend les étapes classiques suivantes :

- division du domaine de calcul en volumes finis à l'aide de *GAMBIT* qui permet de faire le maillage du système ;
- intégration des équations sur les volumes finies
- résolution des équations discrétisés.

La modélisation spatiale du système se fait par le logiciel *GAMBIT.*
On passe par les étapes suivantes :

- la création du domaine et la définition de ses dimensions, (Figure 4) ;
- le maillage du domaine, (Figure 5) ;
- l'insertion des conditions aux limites sur le domaine ;
- l'exportation du maillage pour le traiter par le code *FLUENT.*

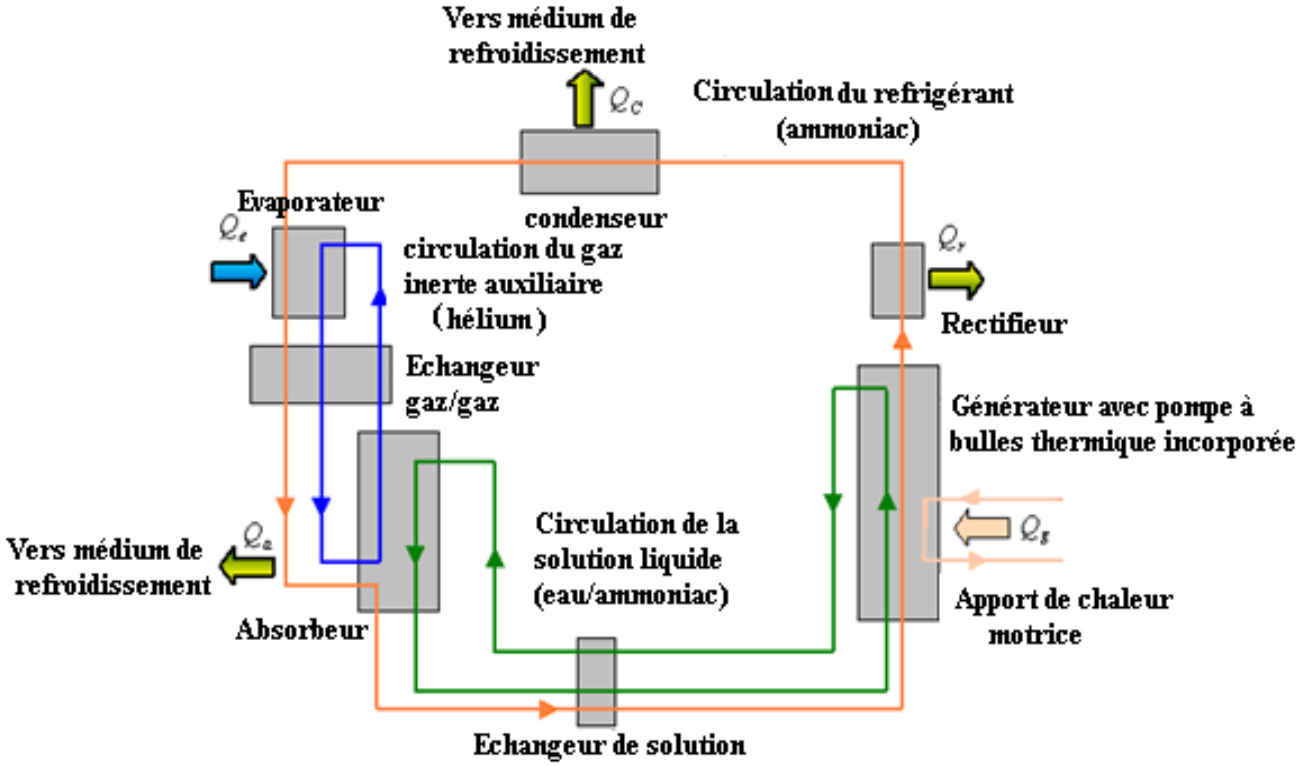

Figure 1 : schéma des différentes boucles d'une machine à absorption diffusion

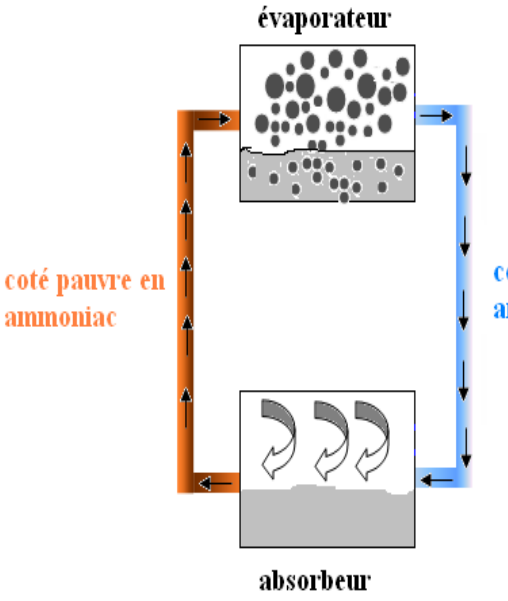

Figure 2 : schéma de circuit gazeux réel

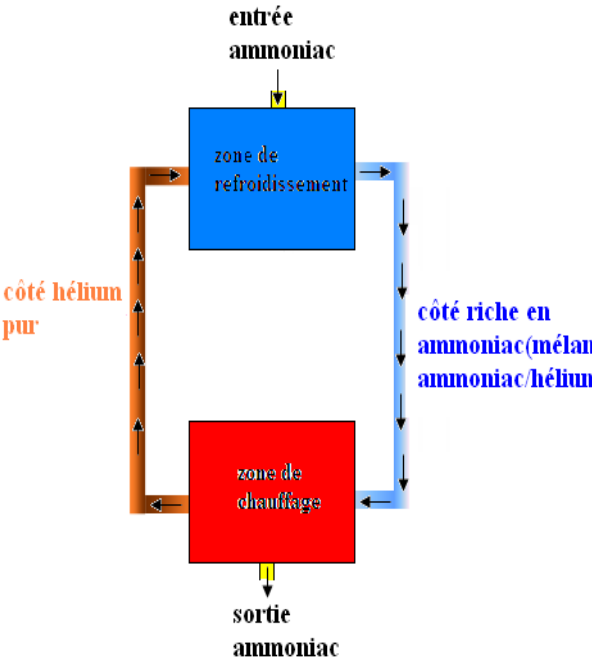

Figure 3 : modèle de circuit gazeux

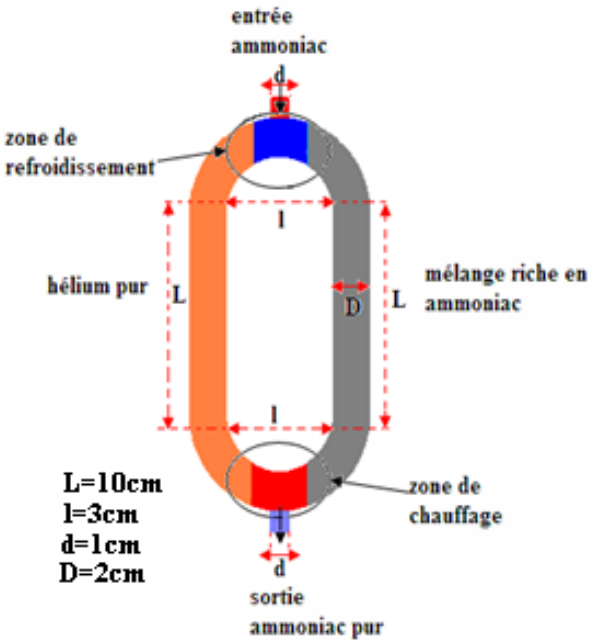

Figure 4 : domaine à simuler

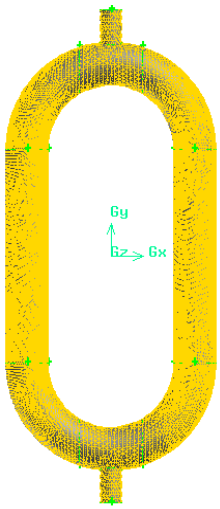

Figure 5 : maillage du domaine

Pour montrer l'effet de la température et de la composition du mélange gazeux sur la vitesse de circulation on a, dans un premier temps, fixé le gradient de température en variant la composition du mélange puis on a procédé inversement. Par la suite, on a tracé les profils de vitesse pour différents cas.

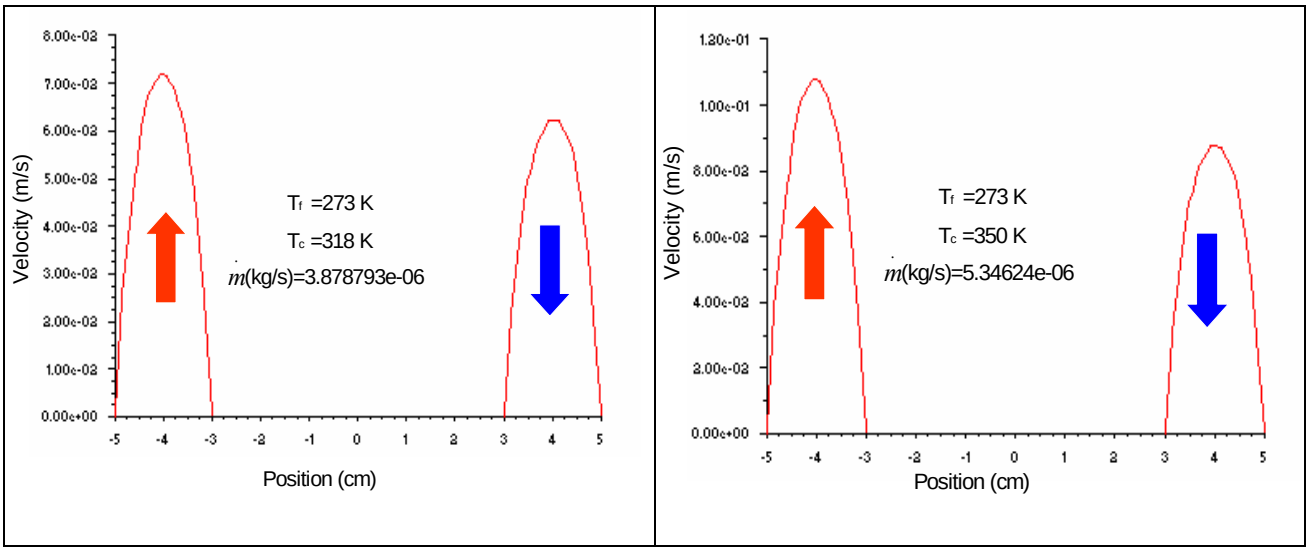

Figure 6 : profils de la vitesse dans le plan médian du circuit pour une fraction de 40 % d'ammoniac et pour deux valeurs différents de la température T_c

5. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 6 montre le profil de la vitesse dans le plan médian du circuit pour une fraction de 40 % d'ammoniac et pour deux valeurs différents de la température T_c.

De même, on a varié la composition de mélange en maintenant le gradient de température constant.

5.1 Influence de la température

Pour chaque gradient de température on a déterminé le débit du mélange gazeux en circulation puis on a tracé la variation du débit en fonction de la température.
La figure 7 montre que le débit augmente si le gradient de température entre les deux branches de la boucle augmente. Ceci est explicable par le fait que la circulation des gaz dans le circuit est engendrée par la variation des masses volumiques.

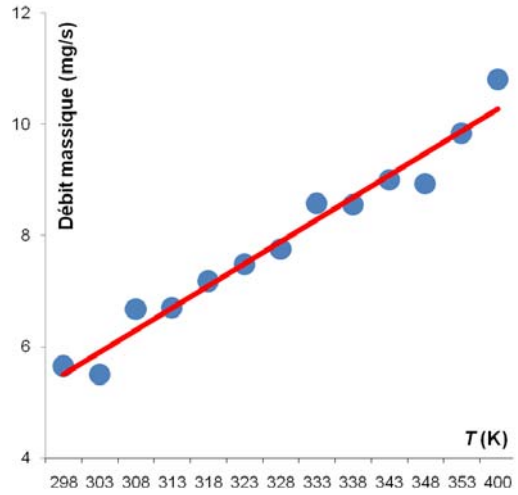

Figure 7 : evolution de débit massique en fonction du gradient de la température

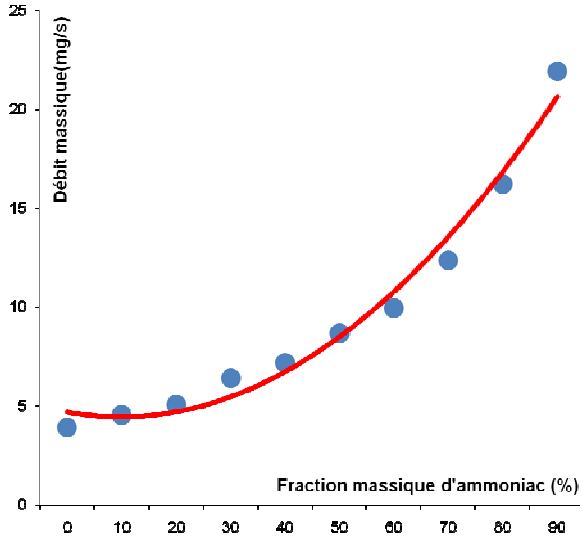

Figure 8 : evolution de débit massique en fonction de la teneur (fraction massique) en ammoniac

5.2 Influence de la composition massique du mélange

Pour montrer l'effet de la composition du mélange sur le flux des gaz dans le circuit on a varié la fraction massique de deux gaz dans le mélange descendant en maintenant le gradient de température constant. Pour chaque composition on calcule le débit en circulation et par la suite on trace la variation de débit en fonction de la fraction massique d'ammoniac (figure 8).

CONLUSION

Le circuit de gaz auxiliaire dans une machine à absorption diffusion est l'origine de plusieurs problèmes de mal fonctionnement de la machine. C'est un circuit hermétique sur lequel on ne peut pas effectuer des mesures lorsqu'elle est en marche. Le développement d'une méthode de calcul des différents paramètres de ce circuit s'avère donc très intéressant.
Le débit de gaz auxiliaire est l'un des paramètres qu'on doit déterminer. C'est un paramètre qui influe d'une façon directe sur l'évaporation du réfrigérant au sein de l'évaporateur, en d'autres terme sur la production du froid et donc sur la performance de la machine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Kh. Mejbri, A. Bellagi,2006, Modelling of the thermodynamic properties of the water-ammonia mixture by three different approaches, International Journal of Refrigeration, Vol 29, P 211-218.
2. N. Chekir, Kh. Mejbri and A. Bellagi, Simulation d'une machine frigorifique à absorption fonctionnant avec des mélanges d'alcanes, International Journal of Refrigeration, Vol 29, P 469-475.
3. Almen, 1982, Les pompes à chaleurs à absorption.
4. J. Chen and K.E.Herold, 1995, Buoyancy effects on the mass transfer in absorption with a nonabsorbale gaz, Int.J.H.Eeat and Fluid Flow, Vol 16, P 53