

## **ANALYSE DE LA PERFORMANCE DU CONDENSEUR DE VAPEUR A LIT POREUX DE GRANITE : EXPERIMENTATION ET SIMULATION**

**ANDRIANANTENAINA.M. H., RAMAMONJISOA B. O., ZEGHMATI B.**

- Institution de l'auteur présentant la communication : *Laboratoire de Physiques Appliquées de l'Université de Fianarantsoa (LPAUF), MADAGASCAR*
- Mel (1): [hajamalalaa@yahoo.fr](mailto:hajamalalaa@yahoo.fr)
- Tel: 034 04 784 06/ 032 07 949 03

### **RESUME**

Ce travail concerne l'analyse de performance du nouveau condenseur de vapeur à lit poreux de granite. Ce type de condenseur est conçu pour une condensation adéquate de vapeur d'eau et de mélange de vapeur d'eau-éthanol. La méthode utilisée est basée sur le modèle de transferts thermiques et massiques entre la vapeur-lit de granite, et vapeur-paroi interne du condenseur, et est basée surtout sur l'équilibre vapeur-liquide pour la phase vapeur à deux constituants. Les résultats montrent notamment que l'épaisseur du lit de granite, le débit massique de la vapeur à l'entrée du condenseur et la surface de contact influencent la performance, l'efficacité du condenseur ainsi que la quantité/qualité du produit obtenu et particulièrement la concentration de l'éthanol produit. Les résultats théoriques concordent avec ceux obtenus expérimentalement.

**Mots clés :** condenseur, vapeur, lit de granite, simulation, condensât, distillat

\*Corresponding author. E-mail: [hajamalalaa@yahoo.fr](mailto:hajamalalaa@yahoo.fr)

### **INTRODUCTION**

Dans le cadre de la production de carburant vert et pour la valorisation de biodiversité naturelle à Madagascar, une invention des matériels nécessaires pour la production est une des questions primordiales aux chercheurs, vu le problème financier, matériels professionnels... Sachant que les producteurs d'éthanol à Madagascar utilisent encore des techniques traditionnelles, des matériels très archaïques à faible rendement, gros consommateurs d'énergie. C'est dans cette optique que nous avons conçu un condenseur à lit de granite pour améliorer la rentabilité et la qualité de la production à faible coût d'exploitation, à la portée de tout le monde. De plus, le granite est une roche métamorphique facile à trouver partout à Madagascar.

En général, des nombreuses recherches sur la distillation ont été faites comme citées par [Hilde K, 2005], il a étudié la distillation multi-effet appliquée au cas industriel ; [McCabe et Thiele, 1925] améliorerait la technique de distillation en proposant un modèle de calcul permettant d'étudier la bonne séparation de mélange sur les étages de la colonne de rectification. [Sami Pelkonen et al., 2001] ont effectué une étude expérimentale sur la distillation de plusieurs composants dans une colonne pleine. En ce qui concerne la recherche sur les condenseurs de vapeur, dans l'ouvrage de [Chassériaux J.M, 1984], [Leontiev A. 1985], [Krasnochtchekov E, A.Soukomek, 1985], des nombreux types de condenseurs sont déjà inventés basés sur l'utilisation des tubes, comme dans [TOVAZHNYANSKIJ 1984], [CHUNG J. N. 1984]. Mais des recherches récentes sur les condenseurs ont été publiées, par [Sundararajan T. et al 2009], [Cuevas et Cristian, 2009], [Denis LEDUCQ, 2003], [Ma X-h ,2003]. A cet effet, on constate que des roches, comme le granite, ne sont pas encore utilisés comme éléments de garnissage. Donc, l'utilisation du granite comme garnissage dans le condenseur est un bon choix pour

étudier le condenseur de vapeur à lit poreux de granite qui n'altère pas la qualité du produit dans le but d'améliorer la distillation simple voire la colonne de rectification.

Dans cette étude, nous allons analyser la performance du condenseur ainsi conçu. La condensation se fait uniquement entre bouilleur et condenseur. Mais, on doit avoir besoin un deuxième condenseur pour la condensation totale de la vapeur dans le cas où le débit de la vapeur serait élevé.

Dans ce travail, nous présentons une étude théorique adoptant une méthode semi-empirique basée sur le bilan thermique, massique au niveau de la vapeur et surtout au niveau du lit de granite. Cette étude sera associée à une étude expérimentale de la distillation de l'eau et d'un mélange d'eau et d'éthanol. Pour ce faire, on établit tout d'abord un programme permettant de calculer la propriété physico-chimique de l'eau en utilisant les données proposées par [Bailly, 1971], [Chassériaux, 1984], et un logiciel dénommé « *Water and Steam Properties for Windows* version 2.0.36 produit par Katmar

Software (2009) » et, pour la propriété physico-chimique de l'éthanol, on a servi des données dans [Vine. and al. ,1989] ; [Barrow, 1976] ; [Karapetiantz M., 1978], [Svatopluk et Al, 2009] et un logiciel appelé « *Alco Dens Version 2.2. Properties of Ethanol Alcohol* produit par Katmar Software (2009). » a été utilisé pour déterminer la concentration de l'éthanol. Ces propriétés permettent de calculer tous les paramètres du mélange, et surtout les différents coefficients d'échanges thermique selon [Leontiev, 1985] ; *Sieder-Tate et Hausen, Tan et Charters* dans [Rakotondramiarana, 2004] et [Ramamonjisoa, 1993]. En suite, on calcule les différentes températures du système comme la température du lit, de la vapeur, de la paroi du condenseur, pour pouvoir en déduire le débit du condensat. Les équations sur l'équilibre vapeur-liquide sont nécessaires pour déterminer la concentration de la vapeur à la sortie du condenseur. Des comparaisons des résultats seront faites pour valider les résultats théoriques et expérimentaux.

## ANALYSE EXPERIMENTALE

### a) Dispositif expérimental

Le système est composé (fig.1) :

- d'un bouilleur électrique qui engendre la vapeur.
- d'un condenseur cylindrique vertical de diamètre ( $r_1/r_2$ ) contenant le lit de granite
- d'un deuxième condenseur (condenseur classique) cylindrique à faisceaux de 6 tubes, de 15mm de diamètre, horizontaux de 10 rangées [Krasnochtchekov and Soukomel, 1985]. Ce dernier sera installé dans le cas où le débit de la vapeur venant du bouilleur serait très fort, et surtout pour prévoir l'évaporation dans le lit.

Les appareils de mesure utilisés sont :

- Une centrale de mesure 21X Microllogger, CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.
- Une balance électronique qui pèse le condensat en reflux, distillat1 et le distillat 2 obtenu dans le deuxième condenseur.
- Eventuellement, on a besoin un alcoomètre Gay Lussac pour mesurer la concentration de l'alcool obtenu.

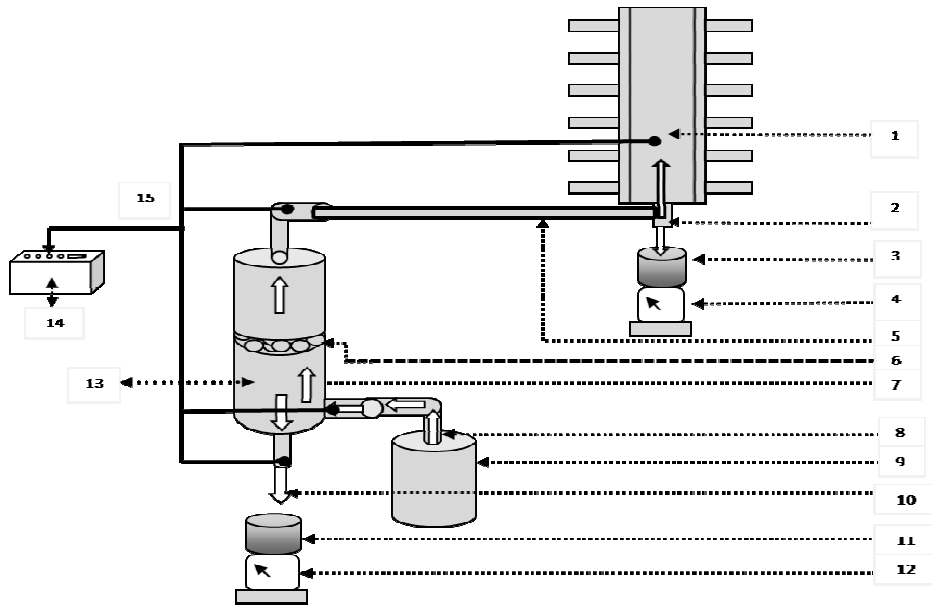


Fig.1 : Schéma du dispositif expérimental du système.

## FORMULATION MATHÉMATIQUE

Le système est formé par un lit de granite de géométrie quelconque et un récipient cylindrique qui contient le lit. Dans le lit, un milieu poreux est envisagé qui permet à la vapeur de se circuler à l'intérieur et de se condenser.

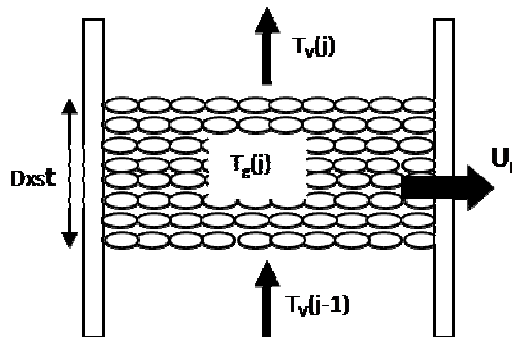


Fig.2 : Schéma d'une tranche du lit de granite

### A. HYPOTHESES

- On néglige la condensation sur la surface du condenseur étudié.
- Les pertes thermiques dans les conduites de liaisons sont négligées.

### B. BILAN THERMIQUE AU NIVEAU DU LIT DE GRANITE

*Phase solide :*

Chaleur gagnée par le lit = chaleur échangée entre la vapeur et le lit – chaleur perdue par le lit dans le milieu extérieur.

$$M_g C_{pg} \frac{(T_g(j) - T_g^*(j))}{\Delta t} = h_{cvv} \cdot A_S \cdot \text{sec} \cdot D_{xst} \cdot (T_v(j-1) - T_g(j)) + \pi \cdot D_{st} \cdot D_{xst} \cdot U_L \cdot (T_a - T_g(j)) \quad (1)$$

## RESULTATS ET DISCUSSIONS (EXTRAIT)

### APPLIQUES A LA PRODUCTION DE L'EAU DISTILLEE

Résumons dans le tableau 2 ci-dessous les données utilisées pendant l'expérimentation. Ces données sont nécessaires pour la simulation numérique.

	Expérimentation 1	Expérimentation 2	Expérimentation 3
Température de la vapeur à l'entrée du lit de granite (°C)	95.9	95.9	95.9
Débit de la vapeur à l'entrée du lit de granite. (g.s <sup>-1</sup> )	0,55	0,55	0,55
Hauteur du garnissage (cm)	29	29,5	30
Masse du granite (kg)	23	23	23
Diamètre équivalent d'une pièce de granite (cm)	7	3	2
Durée de l'opération (mn)	30	30	30
Diamètre du condenseur (cm)	29,7/29,9	29,7/29,9	29,7/29,9
Hauteur du condenseur (cm)	33	33	33
Nombre de pièce de granite	47	253	874

Tableau 2 : Données expérimentales

#### 1- INFLUENCE DU DIAMETRE EQUIVALENT DE LA PIECE DE GRANITE

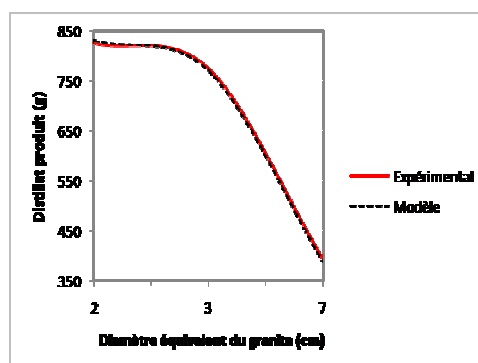


Fig.4 : Influence du diamètre équivalent d'une pièce de granite sur la quantité du distillat produit. Modèle et expérimental.

#### 2- EFFICACITE DU CONDENSEUR

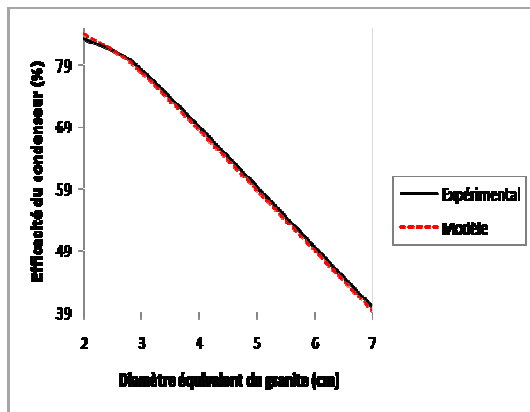


Fig.5 : Efficacité du condenseur en fonction du diamètre équivalent. Modèle et expérimental.

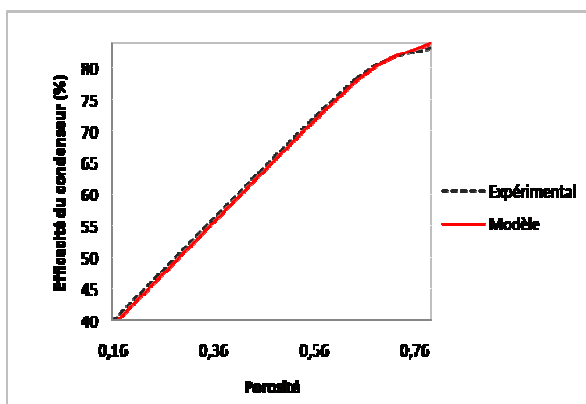


Fig.6 : Efficacité du condenseur en fonction de la porosité du lit poreux. Modèle et expérimental.

Le distillateur est efficace dans le cas où le diamètre d'un morceau de granite est plus petit, qui constitue une porosité plus grande. La quantité de produit obtenu est proportionnelle au diamètre équivalent. En choisissant un diamètre équivalent plus petit, l'efficacité du condenseur est meilleure et la quantité du produit obtenu est satisfaisante.

### 3- LIMITE DU CONDENSEUR A LIT DE GALET

Si la quantité de vapeur condensée est inférieure à la quantité de la vapeur qui sort du condenseur vers le deuxième condenseur classique, c'est-à-dire, son efficacité est inférieure à 50%, le condenseur à lit de galet n'est plus efficace, c'est la limite de son utilisation. Cela est dû à l'augmentation de la température du granite au voisinage de celle de la vapeur. La hauteur du garnissage ne correspond plus au débit de la vapeur à l'entrée du condenseur. Voici un résultat qui permet de constater ce fait, tableau 3 :

Température initiale du lit : 84,9°C

	Condensée dans le condenseur à lit	Vapeur non condensée sortant du lit de granite
Quantité (ml)	400	590
Efficacité (%)	40,40	59,60

Tableau 3 : Valeur expérimentale représentant la limite du condenseur à lit de granite.

### CONCLUSION

Un condenseur à lit poreux de galet a été conçu. Le modèle développé est basé sur le transfert de chaleur et sur l'équilibre vapeur-liquide. Des conditions de performance du condenseur ont été déterminées par la simulation du modèle et validées par les expériences. On peut conclure que le diamètre équivalent du morceau de granite, la hauteur du garnissage, le débit de la vapeur à l'entrée et la température initiale du lit influent sur l'efficacité du condenseur ainsi que sur la quantité du produit obtenu. La concentration d'éthanol est bien meilleure que celle obtenue par la distillation simple.

Une comparaison entre les résultats expérimentaux avec ceux obtenus par la simulation du modèle conduit à un accord satisfaisant.

### REFERENCES

1. Bailly M.(1971). Technical thermodynamics 3. Complements of problems. Bordas Paris-Montréal
2. Barrow G.M. (1976). *Chemistry Physical* Tome 2: Chemical kinetics, states matter condensed. Equilibrium-electrolytes
3. Chassériaux J.M (1984). Thermal conversion of the solar radiance I. BORDAS, Paris.pp.59-67
4. CHUNG J. N.; TAE-HO CHANG (1984).A mathematical model of condensation heat and mass transfer to a moving droplet in its own vapor. *Journal of heat transfer*. Vol. 106, n°2, pp. 417-424 (16 refs.)
5. Cuevas, Cristian(2009) Development and validation of a condenser three zones model, Applied Thermal Engineering
6. Denis LEDUCQ, Hélène MACCHI-TEJEDA (2003), Otman JABBOUR, Tarik SERGHINI  
Experimental study and thermal modelling of a R404a Small channel air condenser.*21st IIR International Congress of Refrigeration, Washington august 2003*
7. Hilde K. Engelién, Sigurd Skogestad (2005). Multi-effect distillation applied to an industrial