

REPARTITION DE CHALEUR DANS UN REACTEUR DE DISTILLATION A VOIE SECHE EN REGIME TRANSITOIRE

J. L. RASOANAIVO ¹, A.O.RAVONINJATOVO ¹ et L. ANDRIANAIVO ².

¹ Département Energétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT), BP 6294, Antananarivo 101 Madagascar

² Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Petroleum Engineering Department, Equipe d'Accueil Exergie et Géoingénierie, Université d'Antananarivo, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar

e-mail : jeanlucnj@gmail.com

Résumé :

Les comportements du réacteur de distillation à voie sèche en régime transitoire ont été réalisés. Les études en continu ont été abordées en considérant deux méthodes : Méthode d'homogénéisation spéciale qui est basée sur la moyennisation et la méthode numérique basée sur le calcul des valeurs propres de la matrice jacobienne. Ces derniers sont issus de la dérivation de la chaleur par rapport à la dimension du réacteur et aux temps. L'étude sous les conditions aux limites nous donne la répartition de chaleur : Répartitions radiale et répartition axiale. L'effet de la température à partir de la paroi a été étudié en fonction du temps, ainsi l'influence du temps a été envisagée.

Mots clés : Répartitions de chaleur, Réacteur, Distillation a voie sèche, régime transitoire et Méthodes numériques

1. INTRODUCTION

Les réacteurs chimiques (Figure 1) revêtent une importance tant sur le plan industriel qu'à celui du laboratoire. En effet les réacteurs distillateur à voie sèche en continu ont une place non négligeable dans ce domaine, leur étude a été largement couverte dans la littérature (Rawlings & Ekerdt, 2002 ; et Li, 1994).

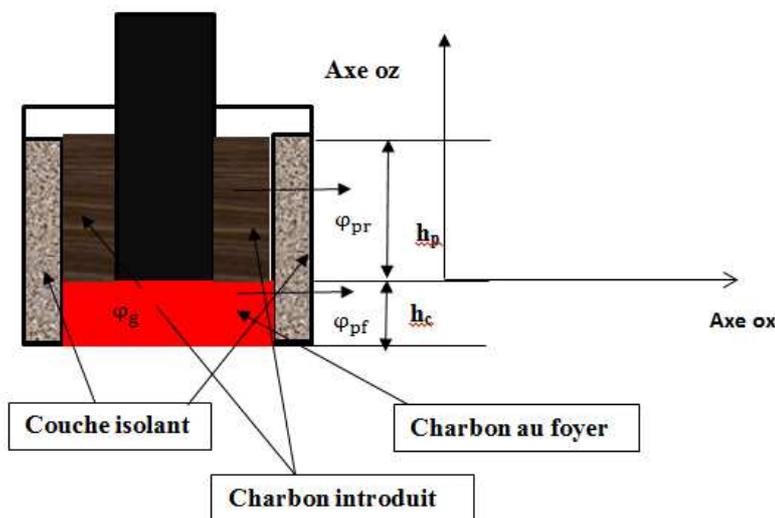


Figure 01 : Représentation du système

Nous considérons que le réacteur (Figure 01) est en régime transitoire. On est en présence d'un domaine tridimensionnel fortement hétérogène présentant une importante variation des paramètres thermo-physiques d'une région à une autre et avec des échelles d'espace allant de 0,4m à 0,005m.

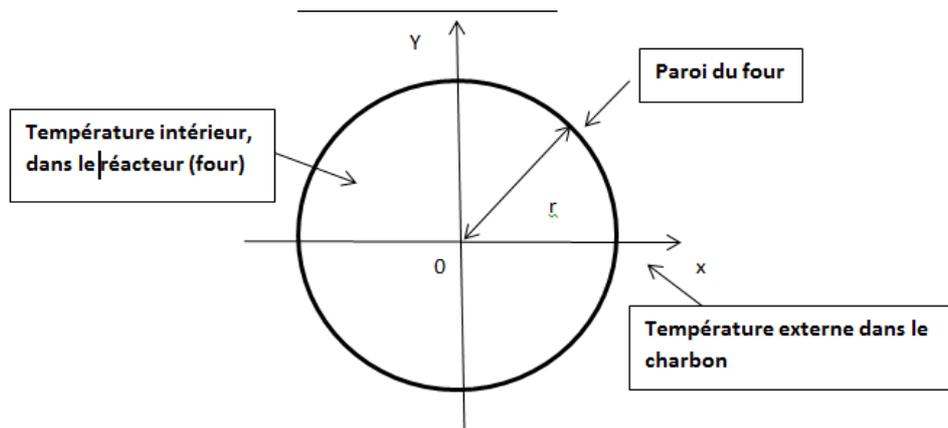


Figure 02 : Représentation axiale du système

Par ailleurs les conditions aux limites du problème (Figure 02) de conduction font apparaître des singularités qui risquent de fausser les calculs de flux et de température. Le coefficient d'échange global h sera donc déduit du coefficient d'échange estimé Selon Garamoon et al (2009) qui donne une justification de l'approche.

2. METHODES

Le logiciel utilisé est Matlab.

Montées et descentes en température sont étudiées en différents points du réacteur à voie sèche. Quels que soient l'alimentation en charbon utilisé et le réactif (ici os dégraissé) utilisés, la température au niveau du réactif évolue selon un modèle du premier ordre. L'énergie de la combustion est le produit de la masse de substance et son pouvoir calorifique. Le pouvoir calorifique inférieur PCI: représente l'énergie dégagée par la combustion complète d'un kg ou d'un m³ de combustible, l'eau étant produite à l'état vapeur (unité kJ.kg⁻¹ ou kJ.m³ selon que le combustible est ou non gazeux).

$$Q = q_c \cdot m \quad (01)$$

q_c : Pouvoir calorifique du combustible

m : masse du combustible

$$\varphi_g = \frac{dQ}{dt} \quad (02)$$

φ_g : densité d'énergie volumique

2.1. Régime transitoire

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée *densité de flux de chaleur*, l'équation générale de la chaleur dans le four nous donne :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (03)$$

Le rapport $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ est appelé *la diffusivité thermique* (m².s⁻¹) qui caractérise la vitesse de propagation d'un flux de chaleur à travers un milieu (Homogénéisation spatiale).

2.2. Température en fonction du temps

$$\begin{cases} \frac{q}{\lambda_c} = \frac{1}{a_c} \frac{\partial T}{\partial t} \\ T(0) = T_0, \\ T(t) \leq T_{mc} \end{cases} \quad (04)$$

2.3. Température en fonction de Z

Dans ce problème, on considère le transfert unidirectionnel suivant l'axe OZ comme la source de chaleur interne en bas. On voit bien qu'au niveau du tube à matière première il n'y a pas de source de chaleur (aucune génération d'énergie), alors $q = 0$. Cependant, le bilan d'énergie s'écrit de la forme d'après (03) :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (05)$$

On considère que le réacteur et la matière première ont la diffusivité thermique différentes. Finalement, on a le système suivant :

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a_r} \frac{\partial T}{\partial t}, 0 \leq z \leq h_p \\ T(z, 0) = T_0 \end{cases} \quad (06)$$

2.4. Radiale

Le problème est à présent régi par l'équation de la chaleur suivante :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (07)$$

L'équation de chaleur en coordonnées polaire donne :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = 0 \quad (08)$$

2.5. Résolution numérique

Pour simplifier la résolution, une discrétisation multigroupe de l'énergie est faite et elle consiste à décomposer le domaine énergétique en plusieurs intervalles. Nous allons considérer les équations de la chaleur 04, 06 et 08. Pour la résolution, on suit les étapes suivantes :

- Initialisation des paramètres (x , y , T , WS , i , j et k)
 WS : coefficient énergétique de flux
- Calcul de $WS(x, y, k)$

$$W(x, y) = \frac{2}{\pi} \sum_n \frac{2}{n} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \frac{\sinh\left(\frac{n\pi y}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi D}{L}\right)}$$

D : diamètre du four

L : Hauteur du four

- Calcul de $T(x, y, i)$.
 $T(x, y) = (T_f - T_i)w(x, y) + T_i$
- Génération du matrice thermique $M(x, y, j)$
 $M(x, y) = \sum_{j=1}^k ((T(x, y), k)$
- Vérification des convergences selon i , j et k

- Simulation numérique et exploitation des résultats.

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Nous avons appliqué des conditions aux limites interne et externe. Le terme source est la chaleur du charbon. Le domaine est maillé avec 2000 points.

3.1. Paramètres de simulations

Il est d'une importance capitale que de préciser les conditions d'opération et les différents paramètres du réacteur en continu (Tableau 01 et Tableau 02).

Tableau 01 : Paramètres du réacteur

Dimension	Valeur (m)
H	$4. 10^{-1}$
D	$1,5. 10^{-2}$
e	$5. 10^{-3}$

Tableau 02 : Condition opératoire

Paramètres	Température en °C
T (ext)	200
T (int)	60
T(foyer)	300

Les propriétés thermodynamiques sont rassemblées dans le tableau 03. On supposera, pour les calculs et la simulation, que les capacités calorifiques ne dépendent pas de la température.

Tableau 03 : Paramètres thermodynamique

Matériaux	Cp (JK ⁻¹ C ⁻¹)	Lam (Wm ⁻¹ C ⁻¹)
Air	F(P)	F(T)
Eau	F(P)	F(T)
Os	930	0.21
Acier	465	54

3.2. Température en fonction du temps (T=f(t))

La Figure 03 représente les évolutions temporelles de la température dans le four. On peut voir que la température augmente jusqu'à atteindre un état stationnaire après approximativement 150 mn.

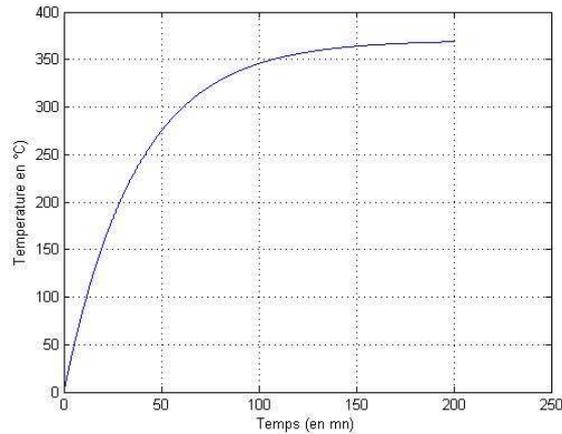


Figure 03 : Montées en température observées en différents points du réacteur

Aux premiers instants, on peut considérer que la température augmente linéairement comme le montre la figure 03. La montée en température du système est ici de $0,772^{\circ}\text{C}\cdot\text{mn}^{-1}$.

3.3. Température axiale en fonction de r ($T=f(x,y)$ ou $T=f(r)$)

La figure 04 montre un zoom des isothermes aux limites de la zone externe. Ces résultats montrent ainsi que le transfert convectif peut être considéré comme étant effectivement unidimensionnel et radial

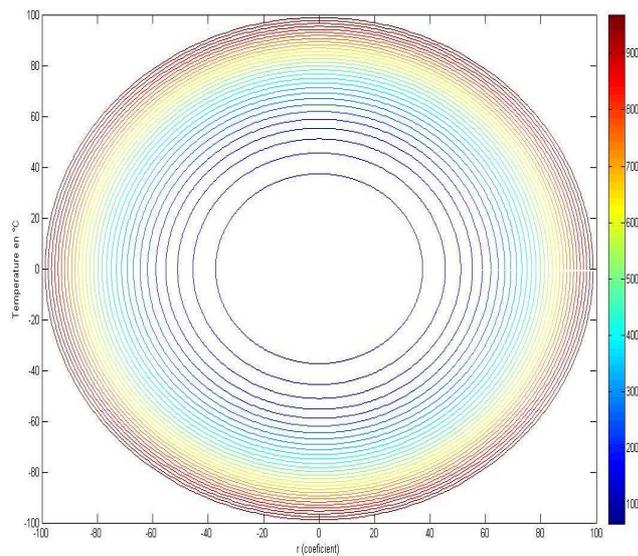


Figure 04 : Température axiale observées dans le réacteur

3.4. Température radiale en fonction de z ($T=f(x,z)$ ou $T=f(z)$)

La figure 05 présente les profils de température longitudinaux et radiaux. Le gradient radial est important comme on devait s'y attendre dans le cas où le réactif est très dense.

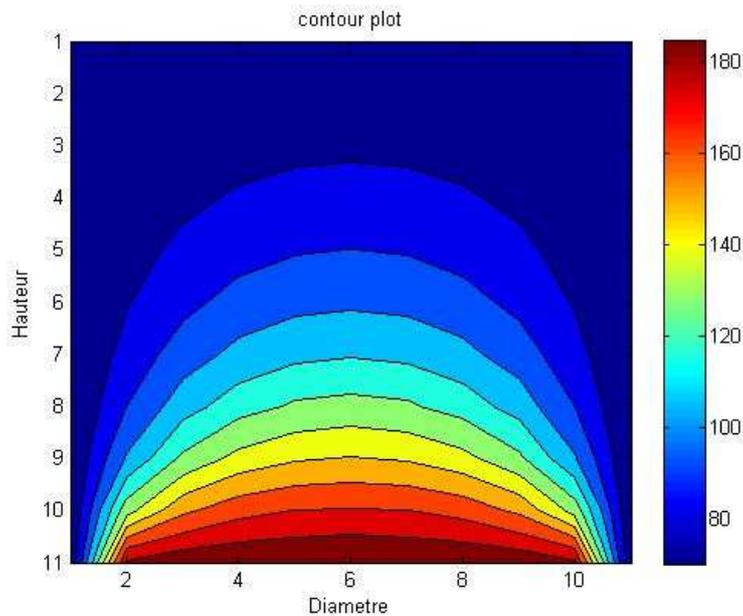


Figure 05 : Température radiale observées dans le réacteur

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les températures calculées en différents points augmentent en fonction du temps jusqu'à atteindre un état stationnaire. Sur la figure 03, sont représentées les montées en température obtenues en différents points du réacteur.

Une discussion sur la prise en compte du terme source lié à la puissance thermique générée est d'abord prise car la puissance augmentera au de la de 4h. Le modèle thermique bidimensionnel proposé offre la représentation de la chaleur, mais il peut aussi estimer le coefficient thermique globale du système (Rayonnement, conduction et convection) avec les propriétés du réactif.

La résolution numérique a été effectuée au moyen d'une méthode adaptée aux géométries et au calcul de la matrice jacobienne sous Matlab. Cette étude numérique va permettre notamment d'estimer les coefficients d'échange par convection naturelle à l'extérieur du réacteur ainsi que la fraction de l'énergie thermique qui est évacuée par pertes thermiques.

RÉFÉRENCES

- Garamoon A., Elakshar F. F., Elsayah M., Optimizations of ozone generator at low resonance frequency, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 48, 21002 (2009)
- Rawlings J. B. and Ekerdt J. G., *Chemical Reactor Analysis and Design Fundamentals*. Nob Hill Publishing, 2002.
- Li R. S., "Continuous flow stirred tank reactor with two inflows reactants: a versatile tool for study of bifurcation in chemical systems," *Chem. Engng Sci.*, vol. 49, p. 2029, 1994