

## **Modélisations mathématique et numérique de la production de biogaz dans les installations bioréactifs pour la valorisation des déchets Ménagers au Maroc**

**A. MOHCINE, K. GUERAOU, S. MEN-LA-YAKHAF, M. DRIOUICH, M. TAIBI, M. BELCADI**

Team of modelling and simulating in mechanics and energetic, Faculty of sciences, Mohammed V University, Rabat B.P. 1014, Rabat, Morocco

kgueraoui@yahoo.fr

### **Résumé**

Nous considérons un bioréacteur comme un milieu poreux réactif, nous nous sommes intéressés aux transferts couplés de masse et l'énergie qui s'y développent, pour tenter d'expliquer les interactions entre les processus physiques, thermiques et biochimiques qui gouvernent la biodégradation des déchets. Un modèle mathématique, basé sur l'équation de conservation de la masse, l'équation de l'énergie, les équations empiriques de Van Genuchten [1] et le modèle biologique basé sur le modèle de Monod, a été mis au point pour décrire le comportement réel du bioréacteur dans la phase méthanogène anaérobie. le modèle de Monod prend en compte l'activité bactérienne, le comportement biologique et considère des concentrations différentes pour les composants. Nous avons utilisé la méthode de double balayage pour résoudre les équations biologiques. Notre modèle peut être aussi utilisé pour simuler simultanément le comportement biologique et hydraulique de bioréacteurs en utilisant le modèle de dégradation anaérobie de type II couplés avec le modèle hydro-thermique pour les déchets ménagers. Ce travail de recherche a voulu mettre l'accent sur la importance de valoriser les déchets ménagers par la fermentation à travers des digesteurs anaérobie, approché comme une source d'énergie renouvelable et inépuisable ainsi protéger notre environnement.

**Mots clefs :** Dégradation, déchets ménagers, bioréacteur, modèle biologique, modèle mathématique, méthode de volume fini, méthode de Double Balayage.

### **1. Formulation mathématique**

Le bioréacteur anaérobie accélère la dégradation des déchets en maîtrisant l'humidité et en optimisant la production de biogaz. Le bioréacteurs nous considérons comme un milieu poreux Ce milieu hétérogène par la composition des déchets, leur teneur en eau et la taille des composants est constitué de trois phases principales: la phase solide constituée par les déchets, la phase liquide qui est le lixiviat et la phase gazeuse qui est le biogaz considéré comme un mélange de méthane et de

dioxyde de carbone dans la phase anaérobie méthanogène. Nous présentons une modélisation des écoulements diphasiques sans changement de phase. Pour cela, nous présentons les équations de conservation de matière et d'énergie et les fonctions thermodynamiques [2].

#### **1.1 Equation d'énergie**

$$\begin{aligned} & (\rho C_p)^* \frac{\partial T}{\partial t} = \\ & \frac{\lambda}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \lambda^* \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + [C_{p_l}(T) \frac{K_1 K_{v1}}{\mu_1} (\nabla P_l - \rho_l g) + \\ & C_{p_g}(T) \frac{K_1 K_{v2}}{\mu_2} (\nabla P_g - \rho_g g)] \nabla T + \alpha_g - w \end{aligned}$$

#### **1.2 Conservation de masse**

Considérons le cas où le milieu poreux est constitué de la matrice solide, d'un liquide et d'un gaz. La conservation de chacun des constituants (liquide, gaz) s'écrit :

$$\frac{\partial m_l}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_l V_l) = 0$$

$$\frac{\partial m_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g V_g) = \alpha_g$$

Avec :

$$m_l = n S_l \rho_l \text{ et } m_g = n(1 - S_l) \rho_g$$

$n$  : la porosité du milieu

$\rho_l, \rho_g$  : la masse volumique des liquide et gaz

$V_p$  : la vitesse de filtration de la phase P

$\alpha_g$  : le terme de production de biogaz.

#### **1.3 Production de biogaz**

La production de biogaz dépend de différents paramètres comme la composition des déchets, la teneur en eau, la température et la densité du milieu.

$$\alpha_g = C_g \sum_{i=1}^3 \frac{A_i(t + dt) - A_i(t)}{dt}$$

### **2. Méthode de Résolution**

Dans la présente simulation, nous avons opté à l'utilisation de la méthode des volumes finis et la méthode de double balayage implicite. la méthode des volumes finis est une méthode de discrétisation bien adapté à la résolution numérique des équations de conservation de grandeurs extensives [2].

### 3 Résultats

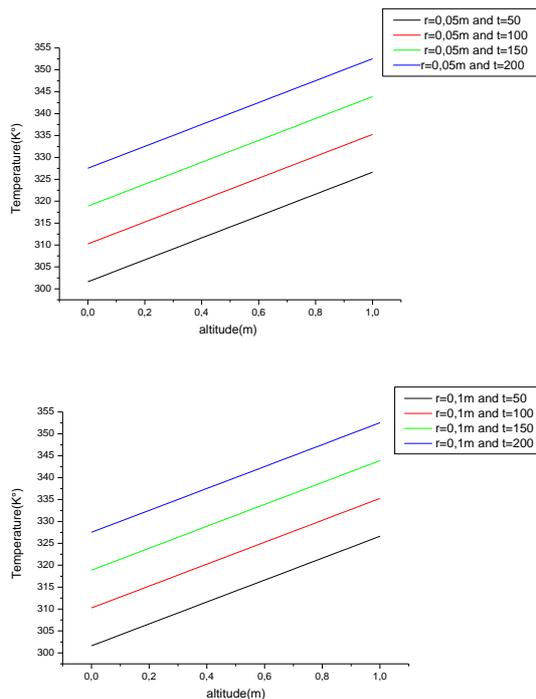


Figure 1: Profil de température en fonction du temps, de la variable axiale et de la variable radiale

La Figure 1 illustre la variation de la température en fonction de la variable radiale. on constate que la température augmente avec le temps. Ceci peut être expliqué par le fait qu'au cours du temps, le composant se dépose et par conséquent, les interactions entre ces deniers augmentent et par suite, la température. On remarque aussi que la température est une fonction croissante en fonction de la variable axiale. Ce résultat peut être interprété par le fait que la température minimale sur l'axe de conduite et augmente en allant vers la paroi pour atteindre la valeur imposée sur celle-ci [2],[6],[7],[8],[9].

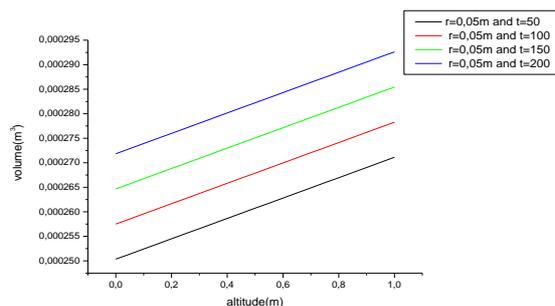


Figure 2: Profil de volume en fonction du temps, de la variable axiale

Figure 2 illustre l'évolution de la production de biogaz en fonction du temps. il est remarqué que la production de biogaz est une fonction croissante de cette variable. Ce résultat peut être expliqué par le fait que le volume de biogaz augmente au cours du temps par conséquent la production de biogaz également augmenté [2],[6],[7],[8],[9].

### CONCLUSION

Nous avons insisté dans notre travail sur le rôle de la température et essayé d'expliquer les phénomènes biologiques liés à l'activité microbienne, en fonction de la température, ainsi que la masse. Nous avons développé un modèle de

simulation numérique des phénomènes hydraulique et de l'écoulement diphasique de liquide et de gaz dans les bioréacteurs, dans une première étape. Les résultats hydrauliques de simulation numérique montrent que ce modèle est capable de reproduire correctement le comportement hydraulique des bioréacteurs pendant la réinjection de lixiviat. Ainsi, la saturation initiale, la porosité et la conductivité hydraulique des déchets apparaissent comme des paramètres très importants qui jouent un rôle essentiel sur les dimensions de la zone de saturation autour des points d'injection de lixiviat et qui influencent l'efficacité de la recirculation [3-5].

### Références (12 gras)

- [1] Christophe Aran, Modélisation des écoulements de fluides et des transferts de chaleur au sein des déchets ménagers. Application à la réinjection de lixiviat dans un centre de stockage, Thèse, l'institut de Mécanique des fluides de Toulouse, 2001.
- [2] Samir MEN-LA-YAKHAF, Modélisation numérique et mathématique des transferts réactifs de masse et de chaleur dans les installations de stockage des résidus d'arganier et de palmier, Université Mohammed 5, Faculté des sciences Rabat, 2015.
- [3] Sandra Lanini, Analyse et modélisation des transferts de masse et de chaleur au sein des décharges d'ordures ménagers, l'institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, 1998.
- [4] M.El Fadel, A.N. Findikakis, Numerical modeling of generation and transport of gas and heat in landfills I, Model formulation. Waste Management and Research 14, 483-504, 1996.
- [5] J.P.Y. Jokela, R.H. Kettunen, S.K. Marttinen, J.Rintala, Influence of Waste Moisture on Methane Production and Leachate Characteristics, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, CISA, Sardinia, 1999.
- [6] Noble, J.J. and Arnold, A.E., (1991) Experimental and Mathematical Modeling of Moisture Transport in Landfills, Chemical Eng. Comm., 100:95-111.
- [7] BROOKS R. J. & A. T. COREY. « Hydraulic properties of porous media ». Hydrol. Pap., Colo. State Univ., Fort Collins, vol. 3. 1964.
- [8] VAN GENUCHTEN M. T. « A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils ». Soil sci. soc. Am. J., vol. 44, no. 5, pp. 892-898. 1980.
- [9] VAN GENUCHTEN M. , F. LEIJ & S. YATES. « The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, US. Salinity Laboratory ». US. departement of agricultural research service, Riverside, California. 1991.