

## Etude de la distribution des pertes de charge des systèmes diphasiques dans un réacteur torique en pyrex

R. Rihani<sup>1\*</sup>, A. Bensmaili<sup>2</sup>, F. Kaïdi<sup>1</sup> et M. Belhamel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Division Bioénergie et Environnement, Centre de Développement des Energies Renouvelables,  
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger

<sup>2</sup> Département de Génie des Procédés, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés,  
U.S.T.H.B., Bab - Ezzouar, Alger

(reçu le 26 Mars 2005 - accepté le 20 Décembre 2006)

**Résumé** - *Le but du présent travail consiste à déterminer la distribution des pertes de charge des systèmes biphasiques (eau/air) dans un réacteur torique en pyrex et au moyen de manomètres air-eau. Pour cela, nous avons testé certains paramètres hydrodynamiques et physico-chimiques, tels que: la vitesse d'agitation, ainsi que le débit d'air injecté. La différence de pression entre la paroi intérieure et la paroi extérieure a été analysée afin de caractériser l'écoulement le long du tore, ainsi que celui provoqué par la rotation de l'hélice marine. Les résultats obtenus ont permis de suivre l'évolution de la puissance dissipée en fonction du nombre d'aération. En somme, aux valeurs élevées du nombre d'aération, le rapport  $P_g / P$  reste inférieur à 0,6.*

**Abstract** - *The present study was carried out with an aim to determine the distribution of the biphasic pressure drops of the (water/air) systems in a pyrex torus reactor and by means of air-water manometers. For that, we tested certain hydrodynamic and physicochemical parameters such as: stirring velocity and the air flow injected. The pressure difference between the inner and outer walls, was analyzed in order to characterize the flow along the torus and that induced by the rotation of the marine screw impeller. The results obtained allow to follow the evolution of the power dissipation against the aeration number. So, with the high values of the aeration number, the ratio  $P_g / P$  remains lower than 0.6.*

**Mots clés:** Réacteur torique - Pertes de charges - Hélice marine - Puissance dissipée.

### 1. INTRODUCTION

Le réacteur torique est un réacteur prometteur en terme de mélange, d'écoulement et de contrôle réactionnel. Il apparaît donc comme un système bien adapté aux systèmes gaz/liquides. Ce réacteur a été surtout utilisé par Tanaka *et al.* [1], dans la polymérisation en suspension du styrène, ainsi que par Krebsler *et al.* [2] pour la production du xanthane. Cependant, il a été relativement moins étudié pour les systèmes gaz/liquides. En effet, nous citons à titre d'exemple le travail de Benzemel *et al.* [3], qui à partir de critères uniquement visuels d'un mélange (air/eau, air/huile) a pu distinguer dans un réacteur torique en PVC transparent, trois types de configurations tels que: la configuration stratifiée, la configuration dispersée et la configuration mixte.

Notons que ces dernières années, ce réacteur se voit développer dans le secteur agroalimentaire (Nouri *et al.* [4]). Par ailleurs, il est apparu aussi performant (Liang *et al.* [5]) que le réacteur fermé agité en terme de conversion, de critères énergétiques, en particulier, de par l'absence de volume mort et la production d'un brassage radial efficace. De plus, il constitue une variante intermédiaire entre les réacteurs fermés de type cuve agitée et les réacteurs à écoulement piston.

---

\* rachida\_riha@yahoo.fr

L'objectif de la présente étude est de déterminer la distribution de la pression d'un système biphasique au moyen d'une hélice marine et d'un réacteur torique en pyrex, ce dernier va servir à la production de l'hydrogène à partir d'une énergie renouvelable.

## 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Pour notre étude, nous avons utilisé une géométrie toroïdale (Fig. 1) composée de deux coudes en pyrex à 90°, reliés entre eux par deux brides en PVC permettant l'assemblage des deux quadrants du tore par boulonnage, à travers lesquels l'étanchéité est assurée par des joints en forme torique.

La mesure des prises de pression est facilitée par la présence de plusieurs tubulures dans la partie latérale du tore.

De plus, le palier tangentiel du réacteur a été muni à sa partie inférieure d'une tubulure de 8 mm de diamètre, permettant l'injection du gaz notamment l'air. L'espace réactionnel limité par l'enveloppe du tore est totalement exempt de chicanes ou autres dispositifs internes et forme ainsi une boucle circulaire placée horizontalement.

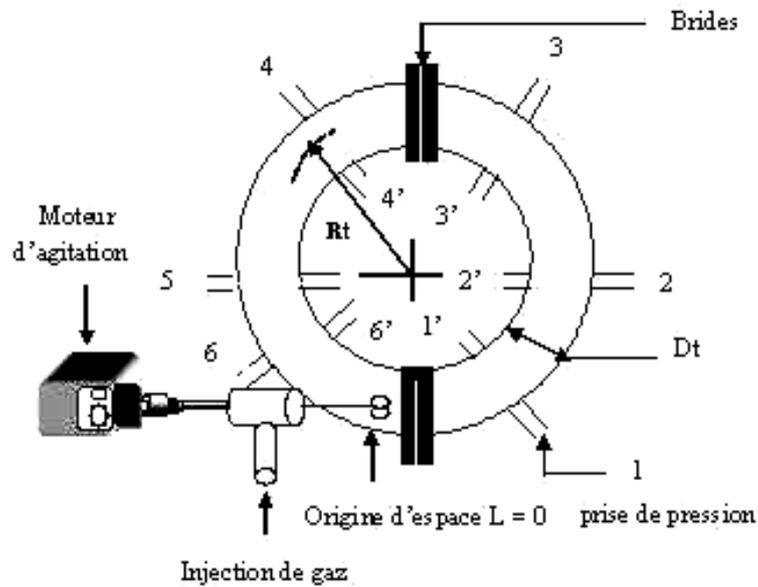


Fig. 1: Réacteur à boucle de forme parfaitement torique

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques géométriques du réacteur torique.

**Tableau 1:** Caractéristiques géométriques du réacteur torique

Volume total du réacteur $V_R$ (l)	Rayon de courbure du réacteur $R_t$ (mm)	Diamètre intérieur du tube $d_t$ (mm)	Longueur du réacteur $L_t$ (mm)
0.95	175	33	1100

Le mélange du fluide au sein du réacteur est assuré par un mobile axial, de type hélice marine à trois pales inclinées à 40°. Les dimensions du mobile correspondent à un diamètre extérieur,  $d_1$  de 28 mm, un diamètre de l'axe de l'hélice,  $d_2$  de 7 mm.

Ce mobile est installé tangentiellement et agissant axialement (Fig. 2).

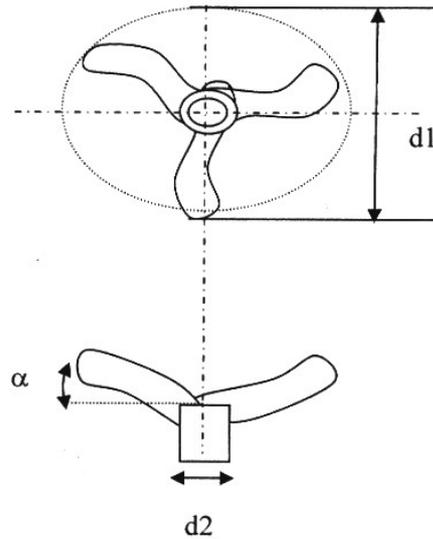


Fig. 2: Géométrie du mobile d'agitation

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'étude énergétique du système biphasique consiste à calculer la puissance dissipée entre l'entrée et la sortie du réacteur torique en pyrex. A cet effet, nous avons monté près des parois extérieures et intérieures six (06) connections piézométriques. Celles-ci sont numérotées de 1 à 6 sur la paroi extérieure et de 1' à 6' sur la paroi intérieure.

Toutes les différences de pression sont mesurées au moyen de tubes en U (manomètre air-eau) suspendus à une plaque de papier millimétré. La mesure se lit directement par différence de niveau du liquide dans les deux branches du tube en U. On peut ainsi calculer les pertes de charge globales.

Sur la figure 3, la différence de pression ( $P_{ext} - P_{int}$ ) est représentée en fonction de la distance longitudinale dans le réacteur torique rapportée au diamètre du tube pour différentes vitesses d'agitation et pour différent volume de gaz par volume de liquide par minute.

Sur cette figure, nous constatons qu'à faible débit, les valeurs minimales sont situées juste en amont du mobile d'agitation, ceci est dû à l'aspiration du fluide sous l'action de la rotation du mobile d'agitation, ce qui est en accord avec les observations de Khalid *et al.* [6] qui a utilisé une géométrie rectangulaire pour un fluide monophasique. Par contre, les valeurs maximales sont observées à la sortie du premier coude juste en aval du mobile d'agitation et au milieu du deuxième coude dû principalement à l'existence de courbures qui provoquent de perte de charge entre les deux parois du réacteur.

Au fur et à mesure que le débit gazeux augmente, nous constatons que les valeurs maximales sont situés juste en aval du mobile d'agitation, ceci est dû à l'énergie fournie au fluide lui est transmise aussi bien par l'écoulement de la phase gazeuse que par la rotation du mobile d'agitation.

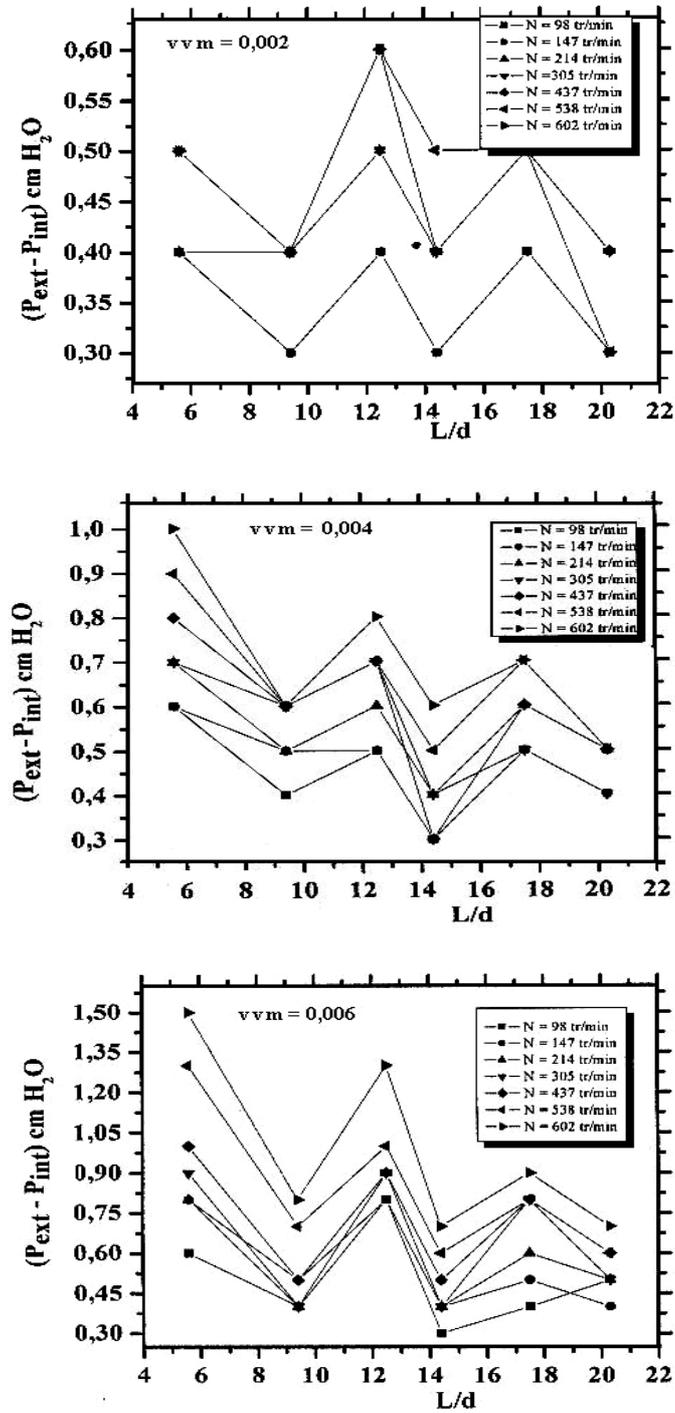


Fig. 3: Evolution de la pression différentielle entre la paroi extérieure et intérieure en fonction de la distance longitudinale

Notons que cette perte de charge augmente relativement avec l'augmentation de la vitesse d'agitation et le débit d'air injecté au sein du réacteur, dans notre cas le nombre de Froude était inférieur 0,0023.

La connaissance de la perte de charge du système gaz/liquide dans le réacteur torique en pyrex aéré, nous permet, d'estimer la puissance d'agitation du fluide aéré  $P_f$  au niveau de l'hélice afin de permettre au fluide diphasique de circuler tout le long de la circonférence du tore. Cette puissance dissipée est directement liée aux chutes de pression dans le réacteur  $\Delta P_R (P_{ext} - P_{int})$ , à la vitesse moyenne de circulation du fluide  $V_c$ , tel que:

$$P_f = V_c \Delta P_R \frac{V_R}{L_t} \quad (1)$$

Selon Oyama *et al.* [7], le système est défini par son nombre d'aération:

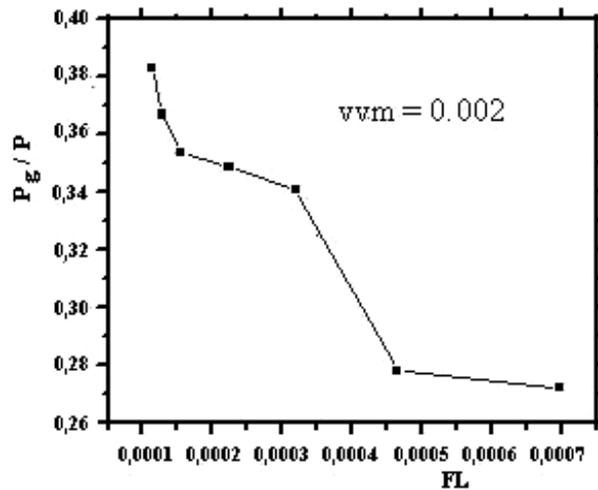
$$Fl = \frac{Q}{N d_1^3} \quad (2)$$

Ce nombre adimensionnel est obtenu en rapportant la vitesse ascensionnelle du gaz dans le réacteur à la vitesse périphérique de l'agitateur.

Dans l'expression (2), Q désigne le débit gazeux que l'on a souvent l'habitude d'exprimer en volume d'air par volume de liquide et par minute (vvm).

L'étude de la puissance réelle en présence de gaz est alors obtenue en calculant le rapport  $P_g$  (puissance d'agitation du fluide aéré) par P (puissance d'agitation du même fluide non aéré), ce qui nous a permis de tracer la puissance biphasique en fonction du nombre d'aération. L'allure des courbes obtenues est donnée sur la figure 4, qui est similaire à celle obtenue dans un réacteur agité [8].

Nous remarquons, aux valeurs élevées du nombre d'aération, la présence de cavités au sein du fluide. Quant à la variation du rapport  $P_g / P$  demeure faible aux valeurs précitées et reste inférieure à 0,6. En revanche, la courbe puissance biphasique est une courbe polygonale du principalement qu'aux faibles débits gazeux, les bulles de gaz suivent les lignes de pompage revenant vers le mobile d'agitation. Par contre, l'augmentation du débit gazeux peut provoquer l'engorgement du mobile. Celui-ci n'est plus capable de disperser le gaz entrant. Il contourne le mobile et s'élève à la surface du liquide sous forme de grosses bulles en formant un panache.



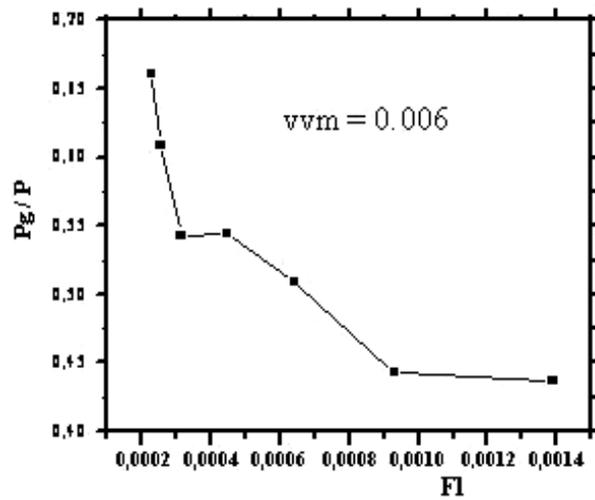
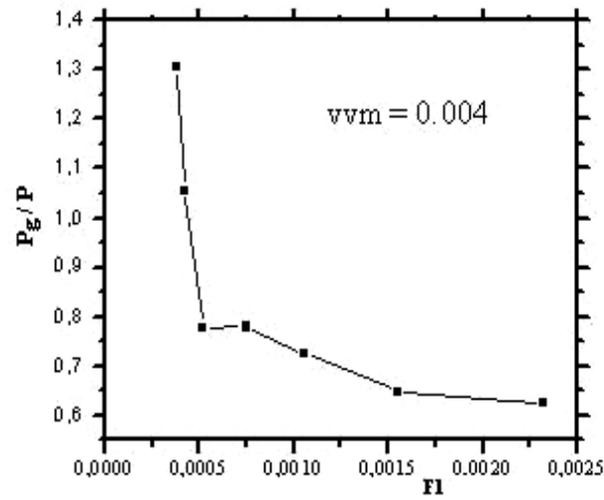


Fig. 4: Courbes de puissance biphasique en fonction du nombre de Froude et pour différents débits spécifiques

#### 4. CONCLUSION

L'étude entreprise dans le présent article a été réalisée dans le but d'étudier la distribution de la pression d'un système liquide-gaz dans un réacteur en verre de géométrie toroïdale.

En effet, la connaissance de la perte de charge du système liquide/gaz dans le réacteur torique en pyrex aéré, nous a permis, d'estimer la puissance d'agitation du fluide aéré  $P_f$  au niveau de l'hélice.

Les résultats obtenus ont montré qu'en régime d'aération  $Fl$  inférieur à 0.0023 et en utilisant un mobile axial de type hélice marine, l'augmentation de la vitesse d'agitation du mobile d'agitation a conduit à une augmentation relative de la perte de charge.

### NOMENCLATURE

- $d_t$  : Diamètre intérieur du réacteur, mm  
 $d_1$  : Diamètre externe de l'hélice, mm  
 $d_2$  : Diamètre de la tige du mobile d'agitation, mm  
 $Fl$  : Nombre d'aération, sans dimension  
 $L_t$  : Longueur moyenne du réacteur, m  
 $N$  : Vitesse de rotation, tours.min<sup>-1</sup>  
 $Q$  : Débit d'aération, m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>  
 $P$  : Puissance consommée par l'agitateur, W  
 $P_f$  : Puissance consommée par l'agitateur du fluide aéré, W  
 $\Delta P_R$  : Pression différentielle, cm H<sub>2</sub>O  
 $R_t$  : Rayon de courbure du réacteur, m  
 $t_c$  : Temps de circulation moyen, s  
 $V_c$  : Vitesse moyenne de circulation,  $V_c = L_t / t_c$ , m.s<sup>-1</sup>  
 $V_R$  : Volume du réacteur, m<sup>3</sup>  
 Lettre grecque :  
 $\alpha$  : Angle d'inclinaison des pales du mobiles d'agitation, degré

### REFERENCES

- [1] M. Tanaka, T. Sendai and K. Hosogai, 'Flowing Characteristics in a Circular Loop Reactor', Chem. Eng. Des., Vol. 67, pp. 423 - 427, 1989.
- [2] U. Krebsler, H.P. Meyer, Fiechter, 'Stirred Tank Bioreactors and a Torus Bioreactor with Respect to Highly Viscous Culture Broth', J. Chem. Tech. Biotechnol, Vol. 43, p. 107, 1988.
- [3] H. Benzemel, J.M. Rosant and J. Legrand, 'Liquid-Liquid and Gaz-Liquid Flow Patterns in a Torus Reactor', ASME International Congress and Exposition (IMECE'98), Characterization of Flow Patterns in Multiphase Flow Systems, Anaheim, California, 15-20 November, Proc. 5-361, pp. 461 - 466, 1998.
- [4] L. Nouri, J. Legrand, Y. Popineau and P. Belleville, 'Enzymatic Hydrolysis of Wheat Proteins - Part 2 : Comparison of Performance of Batch - Stirred and Torus Reactors', Chem. Eng. Journal, Vol. 65, p. 195, 1997.
- [5] W. Liang, Y. Jin, Z. Yu, Z. Wang, J. Zhu and J. Chen, 'Flow Characteristics and Mixing Properties in a High Velocity Liquid-Solid in Loop Reactor', Chem. Eng. Journal, Vol. 63, pp. 181 - 188, 1996.
- [6] A. Khalid, J. Legrand and J.M. Rosant, 'Turbulent Flow Induced by an Impeller in a Closed Toroidal Loop', J. Fluid. Eng, Vol. 118, pp. 677 - 684, 1996.
- [7] Y. Oyama, K. Endoh, 'Power Characteristics of Gas-Liquid Contacting Mixers', Chem. Eng. Japan, Vol. 19, pp. 2 - 11, 1955.
- [8] P. Trambouze et J.P. Euzen, 'Les Réacteurs Chimiques', Ed. Technip, Paris, 2002.