

# Etude numérique de l'écoulement et de la consommation énergétique dans une cuve agitée par un mélangeur SCABA 6SRGT

Kamla youcef<sup>a</sup>, Bouzit Mohamed<sup>a</sup>, Hadjeb Abdessalam<sup>a</sup> et Kamla Siham<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Université des sciences et de la technologie d'Oran, Faculté de Génie mécanique, USTO-MB, 1505, El M'nouar, Oran, Alger

<sup>b</sup>Université Ibn khaldoun Tiaret

Email : kamla\_youcef@yahoo.fr

## Résumé

*Dans ce papier, on propose une étude numérique tridimensionnelle de l'écoulement d'un fluide non -Newtonien pseudoplastique (solutions de la gomme d'Xanthan), agité par un mobile de type SCABA 6SRGT, dans une cuve de forme cylindrique.*

*L'approche de validation avec la littérature ainsi que les simulations numériques sont faites à l'aide du code de calcul CFX.13 qui offre une bonne visualisation tridimensionnelle des résultats.*

*L'étude porte donc sur l'influence des paramètres géométriques du mobile ainsi que son excentricité avec l'axe de la cuve sur la structure de l'écoulement généré, l'homogénéité du mélange ainsi que la puissance consommée (énergie dissipée) par ce système d'agitation.*

*Le travail effectué a donné une très bonne concordance avec ceux de la littérature et permet de développer un modèle géométrique de mobile plus performant dans des tels processus d'agitation mécanique.*

## Abstract

*In this paper, we propose a three-dimensional numerical study of the flow of a non -Newtonian pseudoplastic fluid (Gum Xanthan solutions), stirred by a Scaba 6SRGT agitator in a cylindrical tank. The validation approach to literature and numerical simulations are done by using of the CFX.13 computer code that provides a good three-dimensional visualization of the results.*

*The study therefore focuses on the influence of the geometric parameters of the agitator and it's eccentricity with the axis of the tank on the the flow generated, the homogeneity of the mixture and the power consumption (dissipated energy) by this agitation system.*

*The work has given a very good agreement with those in the literature and develops a mobile geometric model more effective in such mechanical stirring process.*

**Mots clef : Agitation, SCABA, nombre de puissance, Non Newtonien.**

## 1 Introduction

L'agitation mécanique intervient presque dans toutes les étapes d'un procédé industriel. Son champ d'application est extrêmement large, le choix du système d'agitation est donc fonction de l'opération à réaliser et du produit à mélanger.

En générale l'excentricité des mobiles remplace les chicanes dans les cuves non chicanées. Montante et al., 2006, Galletti et al., 2008 et 2009 et Karcz et al., 2005 ont étudié l'effet de l'excentricité des mobiles sur la formation des vortex, temps de mélange ainsi que la consommation énergétique. Pareillement, Ameer et al., 2011 ont confirmé que le nombre de puissance augmente avec l'augmentation de l'excentricité d'une turbine SCABA 6SRGT. Néanmoins, l'effet de la position du mobile par rapport au fond de la cuve influe aussi sur la consommation énergétique et la l'écoulement du fluide

Bhattacharya S et al., 2007 et Torrè j-p et al., 2007 ont montré numériquement et expérimentalement l'effet de la vitesse de rotation du mobiles sur la surface libre.

K. Suzukawaa et al., 2005 ont étudié expérimentalement la structure de l'écoulement généré par trois types de turbines à pales inclinées (45, 60, 75 et 90° respectivement). La structure de vortex a été initialement rapporté par Takashima et al., 1971 et Van't Riet et al., 1975. Ces deniers ont constaté qu'il y a formation d'une paire de tourbillon derrière la pale du mobile et la taille du tourbillon devient de plus en plus petite que l'angle d'attaque de la pale diminue.

Zied et al., 2006 et 2010, ont donné une comparaison entre les caractéristiques de l'écoulement pagaie à pales inclinées et une turbine à pale droite et révèle que les champs d'écoulement produit par les pales inclinés décrivent une réorientation du l'écoulement.

Les mêmes auteurs en 2010 sont allés à la recherche sur l'influence des angles d'inclinaison des pales sur la consommation énergétique (45, 60 et 75° respectivement). Il semble que la valeur du nombre de puissance décroît avec la diminution de l'angle d'inclinaison.

## 2 Résultats et discussions

### 2.1 Description du système d'agitation

Le système d'agitation étudié est une cuve cylindrique à fond plat (figure 1), la hauteur du liquide est égale au diamètre de la cuve, l'agitateur contient 6 pales curvilignes fixées à un disque avec des dimensions très précises (Tableau 1), différentes configuration géométriques qui ont été réalisées afin d'étudier l'influence de l'excentricité de l'agitateur ainsi que la taille de la pale (tableau 2). La géométrie de la cuve ainsi que le maillage sont réalisés par le logiciel ICEM CFD.

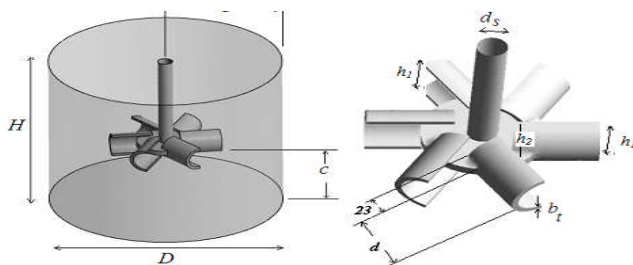


Fig.1: système d'agitation

D/H	1
ds/D	0.05
dt/D	0.02
bt/D	0.015
d/D	0.315
c/D	0.425
e/D	0
h1/D=h2/D	0.12

Tableau 1 : Paramètres du système de mélange.

Tableau 2 : Dimensions des cas étudiés

c/D=0.425, d/D=0.315, e/D=0							
h1/D	0.15	0.1	0.1175	0.15			
h2/D	0.08	0.1	0.1175	0.15			
h1/h2	0.53	0.66	0.78	1	1.276	1.5	1.875

L'écoulement laminaire et isotherme d'un fluide agité par un mélangeur tournant dans une cuve est décrit par les équations de continuité et de quantité de mouvement suivantes :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot \rho v$$

$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho v v) - \nabla \rho + \nabla \cdot \tau + \rho g + F$$

Avec :  $\rho, p, v, g, F$  et  $\tau$  respectivement sont : la densité du fluide, pression, vitesse, pesanteur, force et le tenseur de contrainte donnée par :

$$\tau = \mu \left[ (\nabla v) + (\nabla v)^T - \frac{2}{3} (\nabla v) I \right]$$

Pour un fluide incompressible le tenseur de contrainte est:

$$\tau = \mu \left[ (\nabla v) + (\nabla v)^T \right]$$

Le tableau suivant résume les propriétés rhéologiques de différentes solutions de la gomme d’Xanthan utilisées dans ce travail, qui sont basées sur des mesures prises par Galindo et Nienow (1993).

Tableau 3: Propriétés rhéologiques des solutions de la gomme d’Xanthan

K [Pa s]	n [-]	$\tau_y$ [Pa]
14.5	0.12	7.1

Le nombre de Reynolds est donné par:

$$Re_y = \frac{KN^2 D^2 \rho}{\tau_y + K(KN)^n}$$

Sur la figure 2 et 3 on a superposé respectivement les résultats expérimentales et numériques trouvée par Pakzad et al., 2007 et Ameer et al.,2011, ces résultats montrent un accord satisfaisant avec nos résultats numérique.

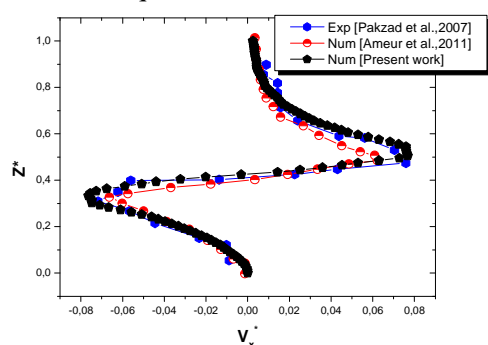


Fig.2 : Vitesse axiale pour  $Re=80.9$ ,  $n=0.12$ ,  $x^*=0.045$

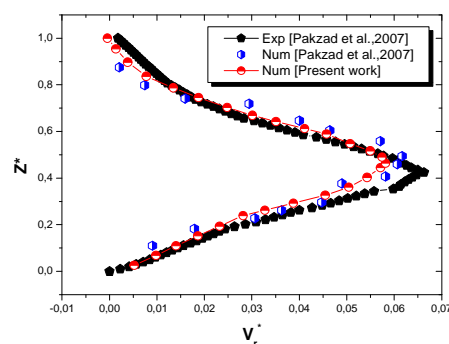


Fig.3 : Vitesse radiale pour  $Re=21.5$ ,  $n=0.12$ ,  $x^*=0.045$

## 2.2 Effet de la forme des pales

### 2.2.1 Contours de vitesse

L’effet de la hauteur des pales a été vérifié, pour cela 8 configurations géométriques ont été simulé avec un rapport  $w^*=0.53, 0.66, 0.78, 1, 1.27, 1.5$  et  $1.875$ . L’analyse des résultats de la figure montrent que avec une turbine d’un rapport  $w^*=1$  le volume balayé est plus grand par rapport au autres mobiles testés  $w^*=0.53$  et  $1.875$  (figure 4 et 5).

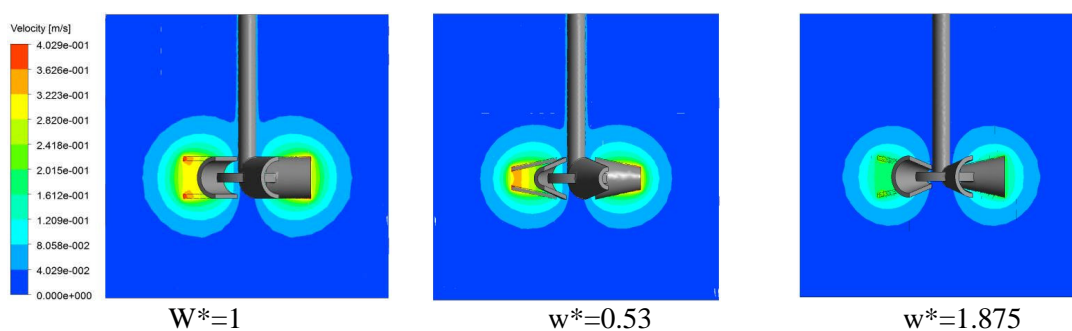


Fig.4 : Contours de vitesse pour  $Re=80.9$ ,  $n=0.18$ ,

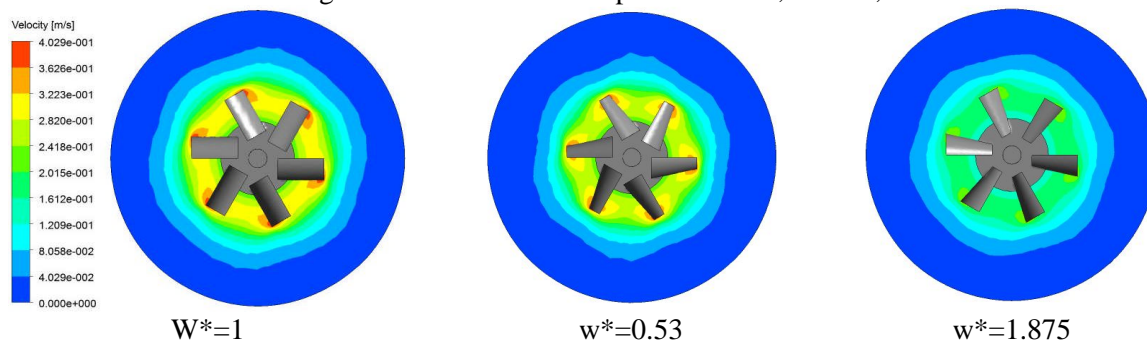


Fig.5 : Contours de vitesse pour  $Re=80.9$ ,  $n=0.18$ ,

## 2.2.2 Profiles de vitesse tangentielle et axiale

Les profils de vitesse axiale pour une position axial  $x^*=0.35$  (figure 7 et 8) montrent que l'écart entre les courbe devient important pour des pales avec un rapport  $w^*=0.53$  et 1.875 par rapport a la géométrie standard, sauf que pour  $w^*=0.78$  et 1.27 nous remarquons qu'il n'ya pas lieu à une grande différence entre les trois configurations géométriques étudiées (figure 8).

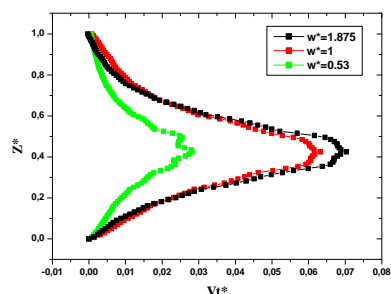


Fig.6 : Vitesse tangentielle,  $Re=80.9$ ,  $n=0.12$ ,  $x^*=0.35$

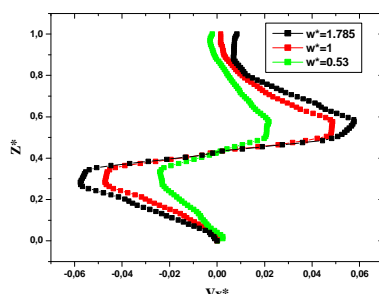


Fig.7 : Vitesse axiale,  $Re=80.9$ ,  $n=0.12$ ,  $x^*=0.4$

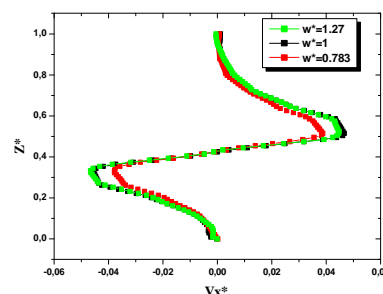


Fig.8 : Vitesse axiale,  $Re=80.9$ ,  $n=0.12$ ,  $x^*=0.4$

La variation de la vitesse tangentielle suivant le rayon de la cuve et pour les trois cas étudiés est représentée dans les figures 9 et 10. Nous remarquons que la vitesse maximale se situe au bords de la pale pour tous les cas étudiés, ce pic augmente proportionnellement à  $w^*$ .

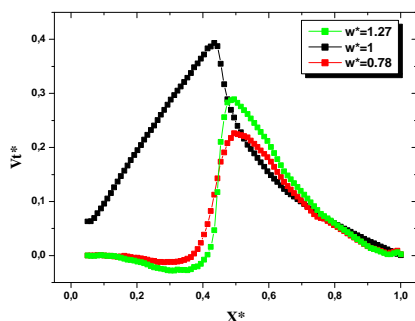


Fig.9 : Vitesse tangentielle,  $Re=80.9$ ,  $n=0.12$ ,  $Z^*=0.5$ ,  $\Theta=0^\circ$

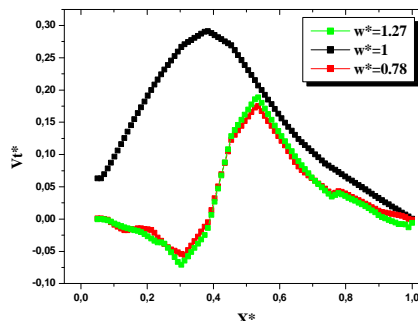


Fig.10 : Vitesse tangentielle,  $Re=80.9$ ,  $n=0.12$ ,  $Z^*=0.5$ ,  $\Theta=90^\circ$

La variation du nombre de puissance en fonction du rapport de la largeur des pales  $w^*$  pour différentes nombre de Reynolds est reportée sur la figure 12 et 13, nous pouvons retenir que le nombre de puissance obtenue par des turbines à pales standard  $w^*=1$  est plus élevé que celui des turbines avec un rapport  $w^*$  de largeur inférieur à 1. Par contre, on peut vu que le nombre de puissance ne varie pas beaucoup dans les cas  $w^*=1$ , 1.27, 1.5 et 1.87 pour les différents nombres de Reynolds testés.

La comparaison de nombre de puissance obtenues pour les différents cas étudiés, montrent qu'il y a lieu à une réduction de 24.46 % et 3.37% de la consommation énergétique pour une turbine SCABA avec un rapport de largeur  $w^*=0.53$  et 1.875 respectivement par rapport a une turbine standard ( $w^*=1$ ).

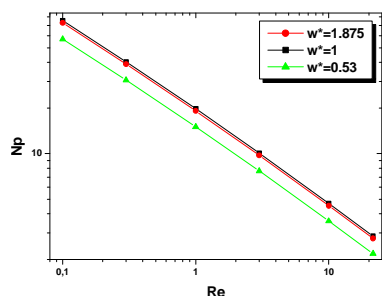


Fig.11 : Nombre de puissance pour  $n=0.12$

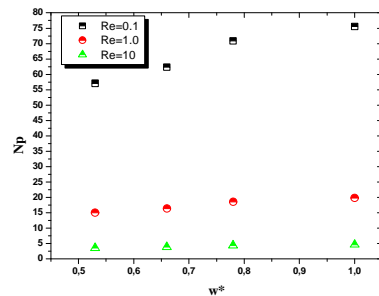


Fig.12 : Comparaison de puissance pour différents rapport,  $n=0.12$

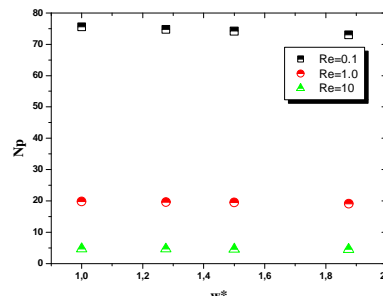


Fig.13 : Comparaison de puissance pour différents rapport,  $n=0.12$

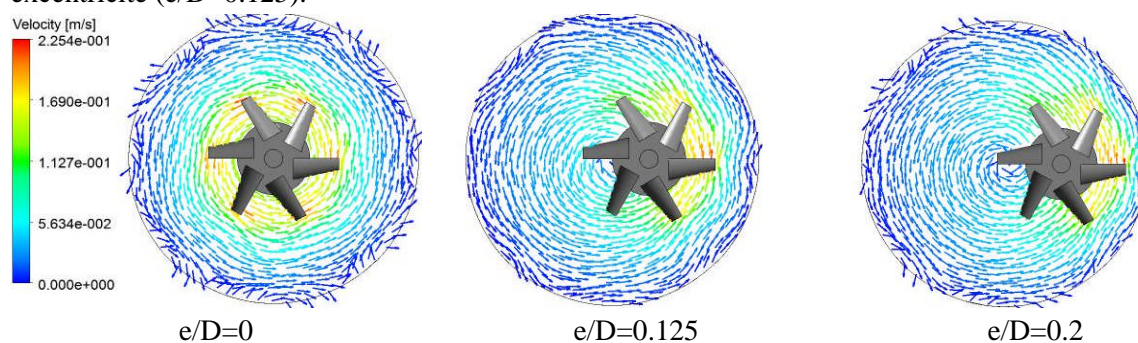
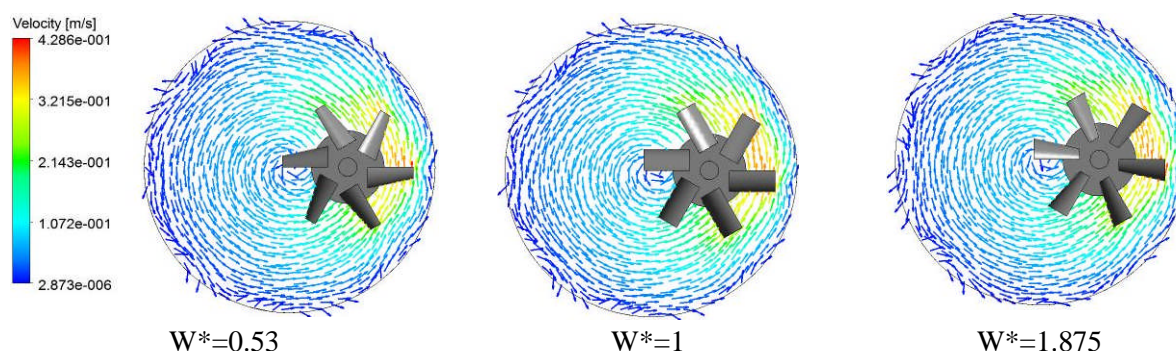
Tableau 4 : effet de la taille des pales sur la consommation énergétique

	$W^*=1$	$W^*=1.875$	$W^*=0.53$	$W^*=1.27$	$W^*=0.78$
0.1	75.57	73.02	57.08	74.73	70.89
10	4.67	4.52	3.57	4.64	4.39

## 2.3 Effet de l'excentricité

Il existe des applications où les cuves avec des mobiles d'agitations excentriques sont les préférées, telle que l'industrie alimentaire et pharmaceutique, ou pour des procédés de la cristallisation.

Dans la configuration excentrique de la figure (14 et 15), il est peut être soutenu que le manque de symétrie axiale conduit à une formation des tourbillons, donc un changement important dans la structure de l'écoulement et une grande amélioration du comportement du mélange, même à faible excentricité ( $e/D=0.125$ ).

Fig 14 : vecteur de vitesse pour  $Re=60$ ,  $n=0.12$ ,  $Z=0.4325$ ,  $w^*=0.53$ Fig 15 : vecteur de vitesse pour  $Re=60$ ,  $n=0.12$ ,  $Z=0.4325$ ,  $e/D=0.2$ 

### 2.3.1 Nombre de puissance

Tableau 5 : effet de l'excentricité de l'agitateur sur la consommation énergétique

$e/D$	$W^*=1$	$W^*=0.53$	$W^*=0.783$	$W^*=1.875$	$W^*=1.27$
0	6490.13	4893.46	6088.94	6277.37	6412.45
0.125	10977.5	8581.72	10367.3	10511.8	10831.7
0.2	19294.2	15202.4	18167.1	18334.9	19005.6

Par conséquent sur la puissance consommée (Tableau 5). Pour une longue distance du centre de la cuve, les contraintes de déformation deviennent plus intenses et une structure tourbillonnaire se développe derrière la pale dissipatrice d'énergie. La taille du vortex et la puissance consommée augmentent proportionnellement avec le rapport  $e/D$ . et nous remarquons que les agitateurs à pales droites  $w^*=1$  consomment beaucoup l'énergie par rapport aux autres cas étudiés. Autrement, il est remarquable dans cette étude comparative que la configuration géométrique ayant un rapport de largeur  $W^*=0.53$ , est plus performante en matière d'écoulement généré et de puissance consommée.

## Conclusion

Les mélangeurs de type SCABA 6SRGT sont des mobiles d'agitation fréquemment rencontrés dans plusieurs secteurs industriels telle que l'industrie agroalimentaire, pétrochimique et pharmaceutique. Les dimensions des pales du mobile ont une influence remarquable sur le fluide mis en agitation et donc sur le mélange obtenu en fin de processus.

Le rapport de largeur  $w^*$  nous a permis de choisir une géométrie très convenable pour l'agitation des fluides pseudoplastique que ce soit sur le plan homogénéité du mélange ou bien consommation énergétique.

L'excentricité du mobile est une astuce très fiable pour générer des zones tourbillonnaires au sein de la cuve agitée et donc amélioration du mélange, par contre une excentricité non calculé peut mener à une mauvaise distribution des champs d'écoulement, alors l'obtention d'un mauvais mélange. A noter dans ce contexte que les tourbillons (vortex) sont des phénomènes favorables et défavorables à la fois pour les opérations de mélange.

La géométrie ayant un rapport de largeur  $w^*=0.53$  avec un rapport d'excentricité  $e/D=0.2$  semble plus performante du fait qu'elles génèrent des tourbillons favorables et bien positionnés par rapport à l'axe du mobile, ainsi qu'elle consomme moins d'énergie par rapport aux autres géométries.

## References bibliographiques

- [1] Ameer H., Bouzit M and Helmaoui M. Numerical study of fluid flow and power consumption in a stirred vessel with a SCABA 6SRGT impeller, *Chemical and Process Engineering* (2011) 32: 351–366
- [2] Bhattacharya S., Hebert D., and Kresta S. M. Air entrainment in baffled stirred tanks. *Trans IChemE* (2007) Part A: 654–665.
- [3] Galletti C., Brunazzi E. On the main flow features and instabilities in an unbaffled vessel agitated with an eccentrically located impeller. *Chemical Engineering Science*, (2008) 63: 4494–4505
- [4] Galletti c., Pintus S and Brunazzi E. Effect of shaft eccentricity and impeller blade thickness on the vortices features in an unbaffled vessel. *Chemical engineering research and design*, (2009) 87: 391–40.
- [5] K. Suzukawa, S. Mochizuki, H. Osaka. Effect of the attack angle on the roll and trailing vortex structures in an agitated vessel with a paddle impeller. *Chemical Engineering Science*. (2006) 61: 2791–2798
- [6] Karcz J., Cudak M and Szoplik J. Stirring of a liquid in a stirred tank with an eccentrically located impeller. *Chemical Engineering Science*, (2005) 60: 2369 – 2380.
- [7] Montante G., Bakker A., Paglianti A and Magelli F. Effect of the shaft eccentricity on the hydrodynamics of unbaffled stirred tanks. *Chemical Engineering Science*, (2006) 61: 2807–2814.
- [8] Takashima, I., Mochizuki, M. Tomographic observations of the flow around agitator impeller. *Journal of Chemical Engineering of Japan* (1971) 14, 66–72.
- [9] Torrè j-p., Fletcher d f., Lasuye t and Xuereb C. Single and multiphase CFD approaches for modeling partially baffled stirred vessels: Comparison of experimental data with numerical predictions. *Chemical Engineering Science* (2007) 62: 6246–6262.
- [10] Van't Riet, K., Smith, J.M. The trailing vortex system produced by Rushton turbine agitators. *Chemical Engineering Science* (1975) 30, 1093–1105.
- [11] Youcefi s., Bouzit M., Ameer H., Kamla Y and Youcefi A. Effect of some design parameters on the flow fields and power consumption in a vessel stirred by a Rushton turbine. *Chemical and Processing Engineering* (2013) 34: 293–307.
- [12] Zied D., Bouzgarrou G., W Chtourou., Kchaou H., Abid M.S. Computational studies of the pitched blade turbines design effect on the stirred tank flow characteristics. *European Journal of Mechanics B/Fluids* (2010) 29:236-245
- [13] Zied D., Karrey S., Kchaou H., Abid M S. Computer simulations of laminar mixing within a pitched blade paddle vessel. Laboratory of Electro-mechanic Systems, National School of Engineers of Sfax LASEM, ENIS, B.P. W 3038 Sfax, TUNISIE.