

## Comparaison des différents modèles de turbulence d'un écoulement aérodynamique dans un cyclone

A. Zeghib\* et K Talbi

Laboratoire de Thermo Fluide, Département de Génie Mécanique,  
Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie

**Résumé** - Le cyclone est un dispositif biphase pour la séparation des particules. Il est employé couramment dans le domaine des applications industrielles. Le code Fluent prévoit très bien les phénomènes physiques du cyclone. L'étude numérique de l'aérodynamique a été basée sur trois cyclones avec différents diamètres inférieurs du cône du cyclone avec différentes vitesses d'entrée. Trois modèles numériques ont été comparés à savoir RNG  $k-\varepsilon$ ,  $k-\varepsilon$  et le RSM (Reynolds Stress Model). L'attitude tridimensionnelle de l'écoulement a été confirmée. La chute de pression augmente avec l'augmentation des vitesses d'entrée pour tous les modèles de turbulence étudiés. La chute diminue avec l'augmentation du rapport du diamètre du cône et le meilleur choix est le cyclone 1. La vérification des résultats a mis en évidence l'avantage du modèle des contraintes de Reynolds. Ce modèle capte mieux les phénomènes dans un écoulement tourbillonnaire intense en présence des parois, mais une grande difficulté a été atteinte pour arriver à la convergence.

**Abstract** - Hurricane Biphase is a device for separating particles. It is commonly used in industrial applications. Fluent code provides very good physical phenomena of the hurricane. The numerical study of aerodynamics was based on three hurricanes with different diameters below the cone of the cyclone with different speeds of entry. Three models were compared to RNG  $k-\varepsilon$ ,  $k-\varepsilon$  and RSM (Reynolds Stress Model). The attitude of the three-dimensional flow was confirmed. The pressure drop increases with increasing speed of entry for all the turbulence models studied. The drop decreases with the increase in the diameter of the cone and the best choice is hurricane1. The audit results highlighted the advantage of the model constraints Reynolds. This model better captures the phenomenon in an intense vortex flow in the presence of the wall, but much difficulty has been reached to achieve convergence.

**Mots clés:** Effet du cône - Turbulence - Fluent - Cyclone -Aérodynamique.

### 1. INTRODUCTION

Beaucoup de processus industriels, tels que le traitement minéral, le raffinage du pétrole, les réactions chimiques, la transformation alimentaire et le nettoyage environnemental, comportent le phénomène de séparation des particules d'un jet de gaz. Cependant, l'emphase croissante sur la protection de l'environnement et la séparation gaz-solide indique que des particules plus fines doivent être enlevées.

Plusieurs technologies, y compris les filtres de tissu, les dépoussiéreurs et les séparateurs cycloniques peuvent être utilisés pour la séparation gaz-solide. Certains séparateurs ne sont pas appropriés à beaucoup d'application industrielle, mais les cyclones représentent des dispositifs très répandus dans plusieurs secteurs industriels à cause de leur efficacité de filtration, sa simplicité de conception, sa fiabilité dans l'exécution et considérablement peu coûteux dans l'entretien.

---

\* [a\\_zeghib@yahoo.fr](mailto:a_zeghib@yahoo.fr) \_ [talbi.kamel1@gmail.com](mailto:talbi.kamel1@gmail.com)

Dans la décennie passée, l'application des codes de simulation devient de plus en plus utile et indispensable afin de comprendre beaucoup de phénomènes physiques et de surmonter des problèmes industriels. Une de ces applications, les écoulements aérodynamiques à travers un cyclone qui sont largement utilisés dans les domaines sus-cités.

Parmi ces codes largement utilisés par les chercheurs et les industriels, on trouve le code 'Fluent'. Le but de ce travail est le traitement par simulation numérique de l'écoulement tridimensionnel turbulent d'un fluide newtonien incompressible dans un cyclone de trois géométries (1, 2, 3) qui ont les mêmes dimensions, sauf en faisant varier le diamètre inférieur du cône des cyclones afin d'étudier l'effet des dimensions de cône pour l'exécution des cyclones et l'influence sur l'écoulement. La création de la géométrie, ainsi que le maillage se font sous le progiciel 'Gambit 2.0'. Ce mailleur propose des solutions étendues pour les géométries les plus compliquées. La génération du maillage et l'incorporation des conditions aux limites sont indispensables avant d'entamer tout autre objectif.

'Fluent' est un code de calcul pour modéliser les écoulements des fluides et les transferts thermiques dans des géométries complexes. Il peut résoudre des problèmes d'écoulement avec des mailles non structurées, qui peuvent être produites pour des géométries complexes, avec une facilité relative.

Ensuite le traitement de la simulation a été basé sur l'utilisation des trois modèles mathématiques de turbulence à savoir le modèle ( $k-\varepsilon$ , RNG-  $k-\varepsilon$  et le modèle des contraintes de Reynolds (RSM).

## 2. GEOMETRIE ET FORMULATION MATHÉMATIQUE

Les équations différentielles aux dérivées partielles sont résolues, écrit la conservation de la masse, de quantité de mouvement.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \rho U_i = 0 \quad (1)$$

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j U_i)}_1 = - \underbrace{\frac{\partial P}{\partial x_i}}_2 + \underbrace{\frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}}_3 + \underbrace{\frac{\rho g_i}{4}}_4 \quad (2)$$

où 1- terme convectif; 2- effet de la pression; 3- terme diffusif; 4- effet de la pesanteur (terme négligeable dans notre cas).

### 2.1 Modèle de turbulence

#### 2.1.1 Modèle $k-\varepsilon$

Le modèle  $k-\varepsilon$  standard (Launder et Spalding, 1972) se base sur le concept Bousinesq (1977). Les termes des contraintes de Reynolds sont:

$$-\rho \overline{u_i u_j} = 2\mu_i s_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

$$\mu_t = \rho \nu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

avec  $C_\mu = 0.09$

L'énergie cinétique turbulente est définie par:

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} = \frac{1}{2} \left( \overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} + \overline{u_3^2} \right)$$

Le taux de dissipation  $\varepsilon$  de l'énergie cinétique  $k$  est donné par:

$$\varepsilon = \nu \overline{\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i}}$$

L'adaptation des constantes standards du modèle donné par Launder et Spalding (1974) rend le système d'équation opérationnel. Elles sont réunies dans le **Tableau 1**:

**Tableau 1:** Valeurs des constantes du modèle  $k-\varepsilon$

$C_\mu$	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$
0.09	1.44	1.92	1	1.3

Il est indispensable de savoir que le modèle  $k-\varepsilon$  est applicable aux écoulements à nombre de Reynolds élevé.

### 2.1.2 Modèle RNG $k-\varepsilon$

Le modèle RNG, développé par le groupe de renormalisation (Yakhot & Smith, 1992) consiste en une estimation au cours du calcul de la constante  $C_{\varepsilon 1}$ , remplacée dans l'équation de dissipation par  $C_{\varepsilon 1}''$  donnée par l'expression (6). Cette expression ajoute un terme fonction du taux de déformation  $\eta$  à l'équation du taux de dissipation le rendant ainsi moins diffusif.

$$C_{\varepsilon 1}'' = C_{\varepsilon 1} - \frac{\eta \left( 1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right)}{1 + \beta \eta^3} \quad (6)$$

avec

$$\eta = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{p}{\eta_t}} \quad (7)$$

Les constantes du modèle RNG ont pour valeur, **Tableau 2**.

**Tableau 2:** Valeurs des constantes du modèle RNG  $k-\varepsilon$

$C_\mu$	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$\sigma_\varepsilon$	$\eta_0$	$\beta$
0.085	1.42	1.62	0.7179	4.38	0.015

La différence principale entre la version standard et RNG  $k-\varepsilon$  est dans l'équation du taux de la dissipation turbulente d'énergie. Dans les écoulements à taux de contraintes élevés, le modèle RNG prévoit une faible viscosité turbulente (c'est-à-dire

un taux de dissipation  $\varepsilon$  élevé et une production de turbulence  $k$  faible) que le modèle standard. Bien que le modèle RNG  $k-\varepsilon$  a été découvert pour faire mieux que le modèle standard pour les écoulements avec une grande courbure des lignes de courant, et aussi non encore validé intensivement par les chercheurs que le modèle  $k-\varepsilon$ . La version standard de  $k-\varepsilon$  et RNG  $k-\varepsilon$  est valide pour les écoulements turbulents loin des parois.

### 2.1.3 Modèle RSM

Les équations de transport des contraintes de Reynolds dans Fluent sont écrites:

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k} (\rho U_k \overline{u_i u_j})}_1 = - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k} [\rho \overline{u_i u_j u_k} + p (\delta_{kj} u_i + \delta_{ik} u_j)]}_2 + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u_i u_j}) \right]}_3 - \underbrace{\left[ \overline{u_i u_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \overline{u_j u_k} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} \right]}_4 + \underbrace{p \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)}_5 - \underbrace{2\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k}}_6 \quad (8)$$

1-  $c_{ij} \equiv$  convection ; 2-  $D_{T,ij} \equiv$  diffusion turbulente ;

3-  $D_{L,ij} \equiv$  diffusion moléculaire ; 4-  $P_{ij} \equiv$  terme de production de contrainte ;

5-  $\phi_{ij} \equiv$  pression taux de déformation ; 6-  $\varepsilon_{ij} \equiv$  dissipation .

$$D_{T,ij} = C_S \frac{\partial}{\partial x_k} \left( \rho k \frac{\overline{u_k u_l}}{\varepsilon} \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_l} \right) \quad (9)$$

$$D_{T,ij} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_k} \right) \quad (10)$$

L'équation de pression – taux de déformation s'écrit:

$$\phi_{ij} = \phi_{ij,1} + \phi_{ij,2} + \phi_{ij,\omega} \quad (11)$$

$$\phi_{ij,1} = -C_1 \rho \frac{\varepsilon}{k} \left[ \overline{u_i u_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right] \quad \text{Terme lent} \quad (12)$$

$$\phi_{ij,2} = -C_2 \left[ (P_{ij} + C_{ij}) - \frac{2}{3} \delta_{ij} (P - C) \right] \quad \text{Terme rapide} \quad (13)$$

$$\phi_{ij,\omega} = C_1'' \frac{\varepsilon}{k} \left( \overline{u_k u_m n_k n_m} \delta_{ij} - \frac{3}{2} \overline{u_i u_k n_j n_k} - \frac{3}{2} \overline{u_j u_k n_i n_k} \right) \frac{k^{3/2}}{C_1 \varepsilon d} + C_2'' \left( \overline{\phi_{km,2} n_k n_m} \delta_{ij} - \frac{3}{2} \overline{\phi_{ik,2} n_j n_k} - \frac{3}{2} \overline{\phi_{jk,2} n_i n_k} \right) \frac{k^{3/2}}{C_1 \varepsilon d} \quad (14)$$

$$C_1 = \frac{C_\mu^{3/4}}{\kappa} \quad (15)$$

L'expression (14) représente un terme pour amortir la fluctuation et il est inclus par défaut dans le modèle RSM.

**Tableau 3:** Valeurs des constantes du modèle RSM

$C_1$	$C_2$	$p$	$C$	$C_1''$	$C_2''$	$C_\mu$	$\kappa$
1.8	0.6	1.68	0.7179	0.5	0.3	0.09	0.4187

### 3. PROCEDURES DE RESOLUTION

La géométrie est présentée par Xiang *et al.*, (2001) et Chuah *et al.*, (2006) en figure 1. Trois cyclones ont été étudiés, ayant les mêmes dimensions, excepté la variation du diamètre inférieur du cône, pour voir l'effet du cône sur les pertes de charge, et on a basé dans cette étude sur la comparaison des trois modèles de turbulence.

Le fluide s'écoulant à l'intérieur est de l'air, avec une masse volumique de  $1,225 \text{ kg/m}^3$  et une viscosité dynamique de  $1,7894 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$ . Le nombre de nœuds, 86267 est identique pour tous les cyclones (cyclone1, cyclone2, cyclone3).

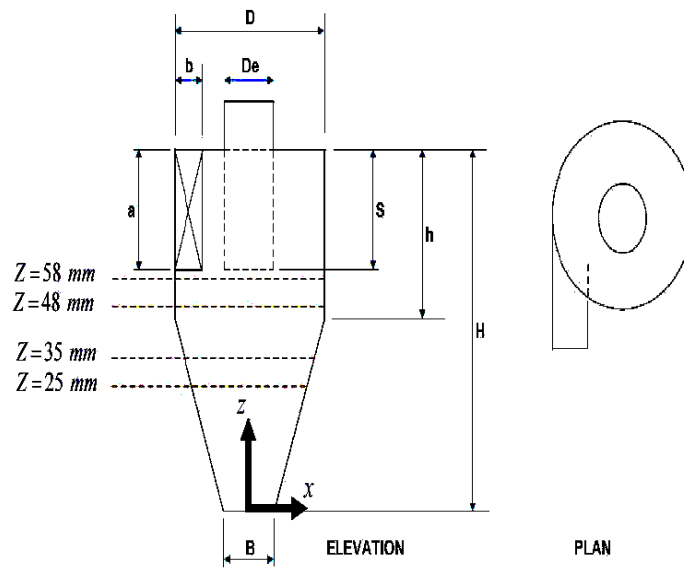


Fig. 1: Configuration tangentielle du cyclone

**Tableau 4:** Dimensions des cyclones étudiés

Géométrie (mm)	a	b	$D_e$	S	h	H	D
Xiang et al. [6]	12.5	5	15.5	15.5	31	77	31
Cyclone1	Cyclone2		Cyclone3				
19.4	15.5		11.6				

#### 3.1 Maillage

A l'aide du pré logiciel Gambit (2.0), on a pu générer trois types de maillages, à savoir hexaédrique non structuré (Fig. 2); hexaédrique curviligne (Fig. 3); hexaédrique curviligne avec un carré au milieu (Fig. 4).

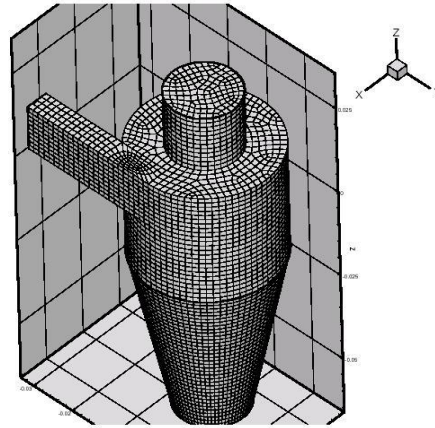


Fig. 2: Maillage hexaédrique non structuré

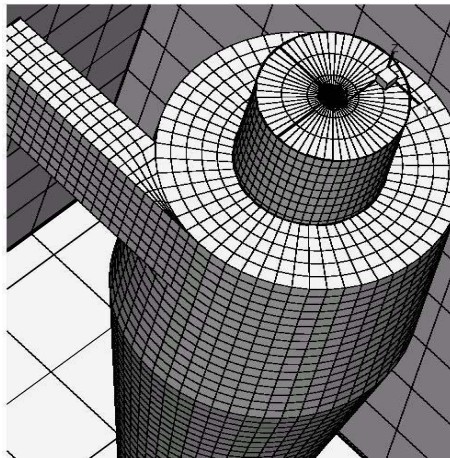


Fig. 3: Maillage hexaédrique curviligne

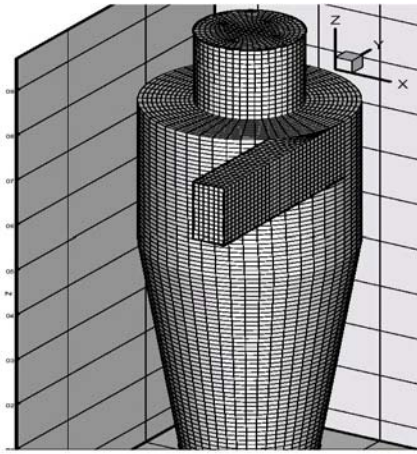


Fig. 4: Maillage hexaédrique curviligne avec un carré au milieu

### 3.2 Conditions aux limites

**Tableau 5:** Conditions aux limites dans le progiciel ‘Gambit’

<b>Cyclone1, 2 et 3</b>	
Entrée	Vitesse d'entrée
Sortie	Vitesse de sortie
Paroi	Mur

**Tableau 6:** Conditions aux limites pour l'entrée

	Modèle $k-\varepsilon$ ; RNG $k-\varepsilon$ ; RSM
Vitesse d'entrée (m/s)	8 - 10.66 - 13.33 - 16
Intensité de turbulence	5 %
Diamètre hydraulique (m)	0.007142857

### 3.3 Choix du schéma de discrétisation

**Tableau 7:** Schémas de discrétisation

Pression	Presto
Couplage vitesse – pression	Simple
Quantité de mouvement	Quick
Energie cinétique turbulente	Quick
Taux de dissipation	Quick
Contraintes de Reynolds	Quick

## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1 Effet du maillage pour les trois cyclones

Pour les trois cyclones, on a utilisé un maillage hexaédrique avec un carré au milieu pour différents nombres de cellules 61067 nœuds, 86267 nœuds et 101387 nœuds. On a trouvé que la solution ne change pas, donc on peut dire que nos résultats sont indépendants du maillage. L'effet du maillage a été effectué en testant le modèle  $k-\varepsilon$  pour la pression statique (Fig. 5-7).

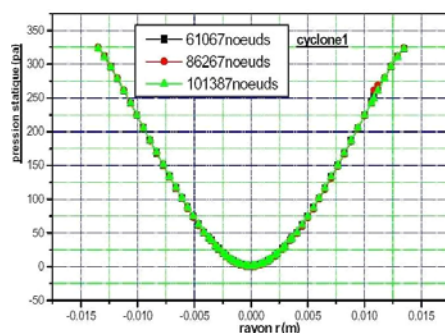


Fig. 5: Test d'indépendance du maillage du cyclone1

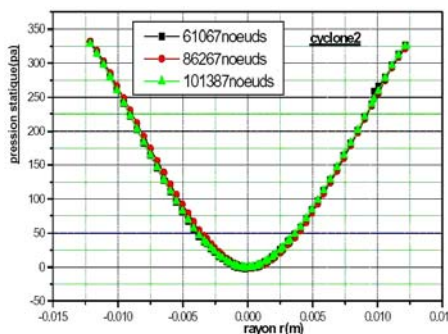


Fig. 6: Test d'indépendance du maillage du cyclone2

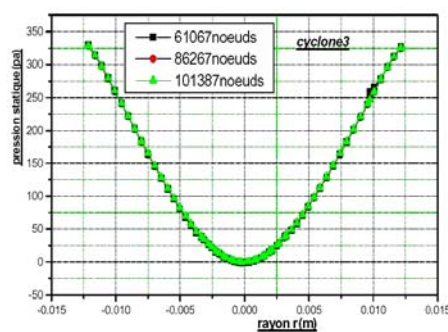


Fig. 7: Test d'indépendance du maillage du cyclone3

### 4.2 Comparaison aérodynamique entre trois modèles de turbulence sur la chute de pression du cyclone

Les figures 8 et 9 illustrent des profils de chute de pression en fonction de la vitesse d'entrée. Les remarques que l'on peut tirer sont:

\* la chute de pression augmente avec l'augmentation de la vitesse d'entrée.

\* le modèle RSM donne une chute de pression plus élevée par rapport au RNG  $k-\varepsilon$  et  $k-\varepsilon$  standard. Nos résultats ont été vérifiés par la validation des résultats numériques avec ceux relatifs à l'expérimentation (Gimbum *et al.*), (Fig. 9).

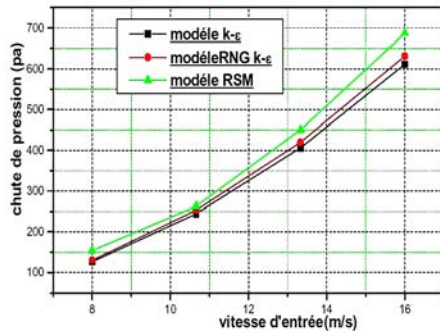


Fig. 8: Comparaison aérodynamique de la chute de pression entre les modèles de turbulence  $k-\varepsilon$ , RNG  $k-\varepsilon$  et RSM

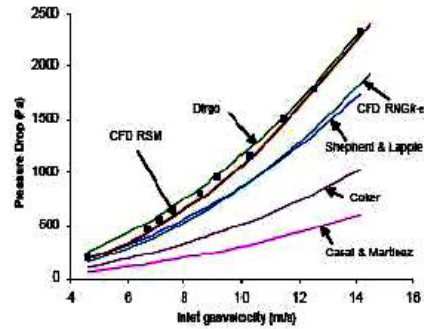


Fig. 9: Comparaison aérodynamique de la chute de pression entre les modèles de turbulence  $k-\varepsilon$ , RNG  $k-\varepsilon$  et RSM

### 4.3 Simulation aérodynamique

#### 4.3.1 Comparaison des trois cyclones

Notre simulation a été effectuée pour comparer les trois cyclones, en faisant varier le petit diamètre du cône, pour connaître l'effet du cône sur la chute de pression, et ainsi effectuer une comparaison des différents modèles de turbulence sur le cyclone choisi parmi les trois. A l'aide des progiciels Gambit 2.0 et Fluent 6.0, notre contribution a été faite sur les trois cyclones avec différentes vitesses [8 m/s, 10.66 m/s, 3.33 m/s et 16 m/s] proposée par Xiang *et al.*, (2001).

Les figures 10-12 présentent la chute de pression en fonction de la vitesse d'entrée. La simulation est effectuée pour des vitesses comprises entre 8 m/s et 16 m/s.

Ces figures montrent que la chute de pression augmente avec l'augmentation des vitesses d'entrée. Le cyclone, ayant un petit diamètre du cône, donne des pertes de charges très élevées pour les différents modèles de turbulence (RSM, RNG  $k-\varepsilon$  et  $k-\varepsilon$ ).

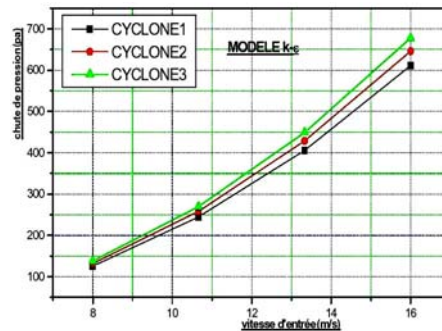


Fig. 10: Chute de pression en fonction de la vitesse d'entrée



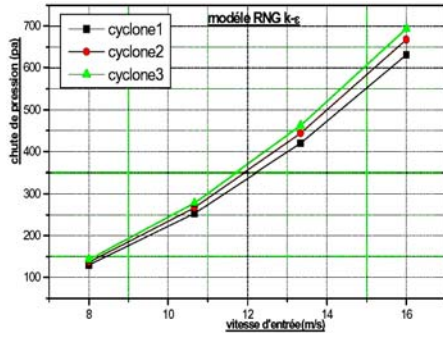


Fig. 11: Chute de pression en fonction de la vitesse d'entrée

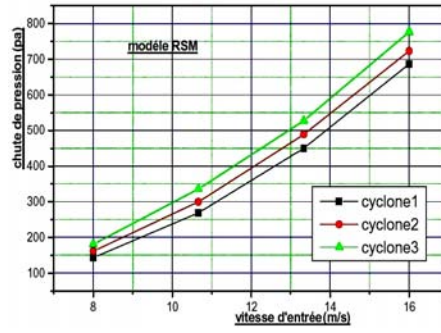


Fig. 12: Chute de pression en fonction de la vitesse d'entrée

Les figures 13-15 présentent la vérification de la chute de pression avec différents modèles. Puisque la pression est proportionnelle à la vitesse au carré ( $p = Cte \cdot v^2$ ), donc on a eu des droites, ce qui implique que  $\log(\Delta p/v) = 2$ , dans notre cas,  $\log(\Delta p/v) = 2.1$ .

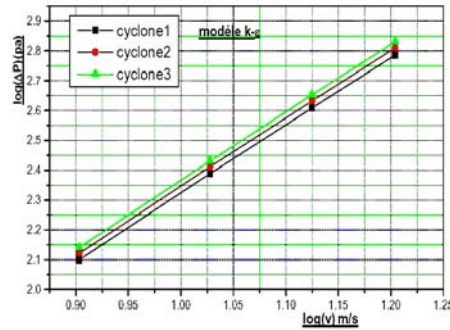


Fig. 13: Vérification de la chute de pression avec les différents modèles

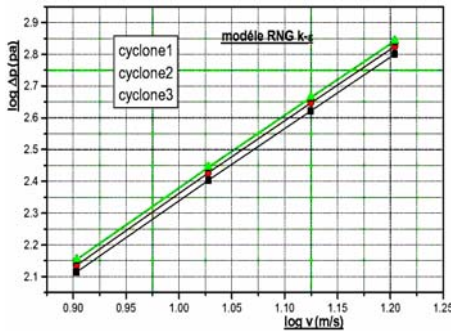


Fig. 14: Vérification de la chute de pression avec les différents modèles

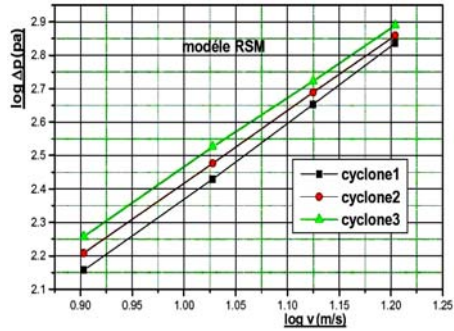


Fig. 15: Vérification de la chute de pression avec les différents modèles

La remarque que l'on peut tirer aussi et d'avoir une conclusion sur le choix du cyclone présenté en figure 16, prouve que la chute de pression diminue avec l'augmentation du rapport du diamètre du cône, c'est-à-dire l'augmentation du diamètre du petit cône, dû à une grandeur de vitesses plus élevée à l'intérieur du cyclone.

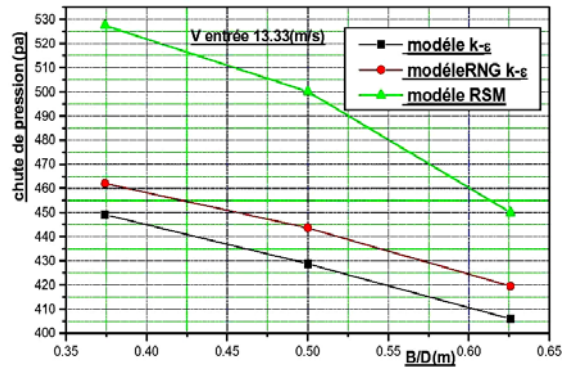


Fig. 16: Variation de la chute de pression par rapport au rapport des diamètres du cône

Tous ces résultats prouvent que le meilleur choix du cyclone concernant la chute de pression est le cyclone 1. Donc notre contribution sur la comparaison entre les trois modèles de turbulence va se baser sur le cyclone 1 avec une vitesse d'entrée 13.33 m/s.

#### 4.3.2 Comparaison des trois modèles de turbulence

Les remarques que l'on peut tirer de la figure 17 concernant la pression statique sur la partie conique  $Z = 35 \text{ mm}$ , est l'écoulement aérodynamique du cyclone provoque une dépression pour tous les modèles étudiés, puisque un swirl a été créé au niveau de l'axe, ainsi qu'une légère augmentation de pression du modèle RNG  $k-\epsilon$  par rapport au  $k-\epsilon$ , ainsi qu'une dépression sur l'axe du cyclone, par contre une augmentation bien ressentie pour le modèle (RSM) près des parois. Ce résultat est en bonne concordance avec les résultats obtenus dans la figure 9 de la comparaison entre les trois modèles de turbulence avec l'expérimentale.

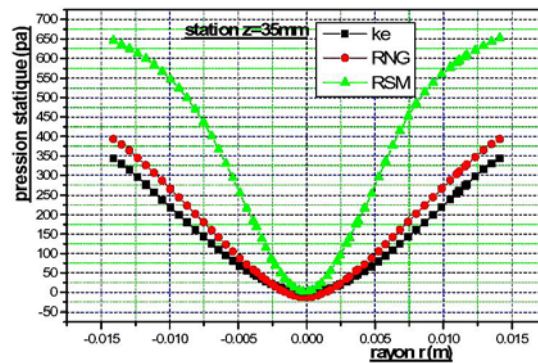


Fig. 17: Profils de la pression statique en fonction du rayon du cône

La dépression reste constante au niveau de l'axe pour toutes les stations. Mais une augmentation logique est localisée près des parois sur toutes les stations à cause des forts gradients de pression remarquable dans la direction radiale.

Les figures 18-20 présentent les contours de la pression statique pour des différents modèles de turbulence. Ce champ présente les caractéristiques suivantes:

\* La pression est importante à l'entrée du cyclone, mais une diminution importante a été apparue en aval du tube d'entrée dû à l'espace trouvé par l'écoulement et reste importante dans les régions éloignées et toute la masse du flux entraînée se trouve éjectée contre la paroi (Fig. 20).

\* A l'axe de l'écoulement, une forte dépression se produit. Cet axe de l'écoulement oscille autour de l'axe de cyclone, ce qui nous permet de localiser à  $Z = 77$  mm. Une zone de dépression un peu décalée par rapport à l'axe (Fig. 20). Ce modèle capte mieux que les deux autres modèles (Fig. 18 et 19).

\* La pression minimale se situe vers le bas du cyclone de la partie conique, où le tourbillon est intense, et où le RSM le prévoit très bien (Fig. 20).

\* L'effet du cône et l'effet de la force centrifuge intensifient un grand rôle pour la provocation de la dépression au centre du cyclone.

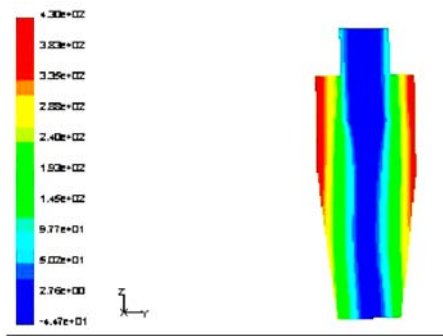


Fig. 18: Plan (y z),  $x = 0$ ,  
modèle  $k - \epsilon$

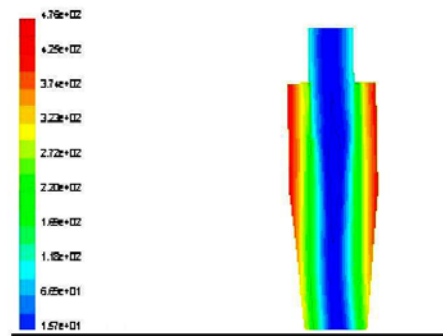


Fig. 19: Plan (y z),  $x = 0$ ,  
modèle RNG  $k - \epsilon$

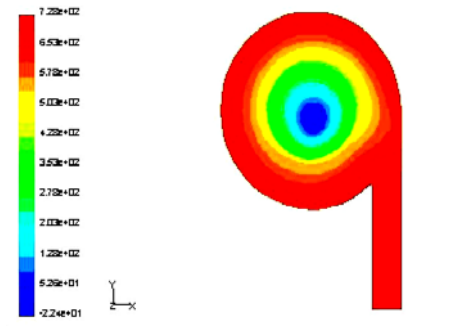


Fig. 20: Plan (x y),  $Z = 77$  mm,  
modèle RSM

Les profils des vitesses axiales des différents modèles de turbulence dans la station  $Z = 35 \text{ mm}$  sont présentés en la figure 21 et des phénomènes intéressants sont constatés dans différentes parties du cyclone notamment, la vitesse axiale tend vers zéro à l'entrée, car on a une entrée tangentielle. Les plus grandes valeurs se situent à l'axe sous la conduite de sortie pour le modèle RNG  $k-\varepsilon$  et  $k-\varepsilon$  et contrairement pour le RSM, où on voit des vitesses négatives sur l'axe du cyclone sous la conduite de sortie, ce qui implique le retour du fluide au cœur même de la région du centre.

On note aussi que les profils des vitesses axiales présentent un écoulement fortement instable avec un courant ascendant dans une région et un autre descendant dans une autre région. Près des parois, un flux descendant vers le bas se distingue par des valeurs négatives.

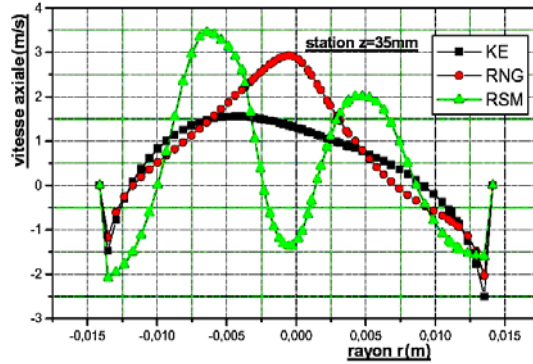


Fig. 21: Profils des vitesses axiales en fonction du rayon du cône

Les profils et les contours des vitesses tangentielles dans la station  $Z = 35 \text{ mm}$ , avec différents modèles de turbulence sont présentés dans les figures 22 et 23. On mentionne qu'une augmentation presque linéaire à partir du centre, c'est la zone du vortex forcé et tout d'un coup, elle chute, c'est le vortex libre.

L'allure de la vitesse tangentielle se partage entre un vortex forcé très fort qui étouffe le vortex libre pour RNG  $k-\varepsilon$  et  $k-\varepsilon$ . Les vitesses sur l'axe du cyclone tendent vers zéro pour tous les modèles. Comme les vitesses axiales, une différence remarquable entre le maximum des vitesses tangentielles pour le RSM en comparant avec RNG  $k-\varepsilon$  et  $k-\varepsilon$  qui ont des allures presque identiques.

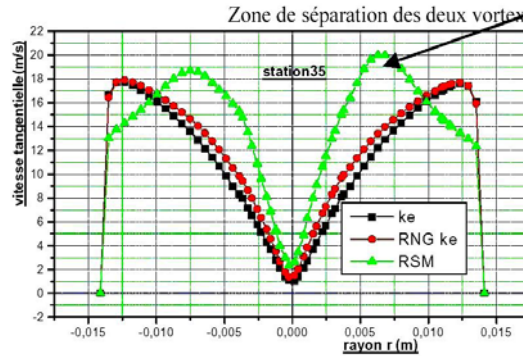


Fig. 22: Profils des vitesses tangentielles en fonction du rayon

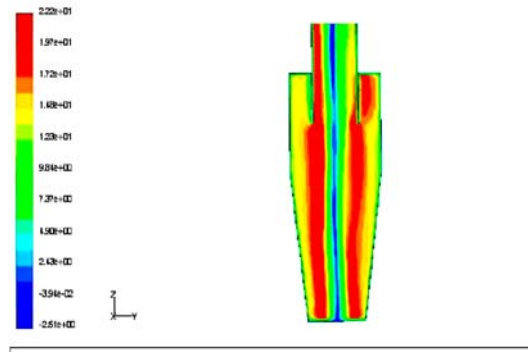


Fig. 23: Contours des vitesses tangentielles

## 5. CONCLUSION

Les résultats obtenus sont en bonne concordance avec les résultats expérimentaux et numériques. De plus, des phénomènes très intéressants ont été observés et les résultats de cette étude révèlent que la chute de pression augmente avec l'augmentation des vitesses d'entrée.

Le cyclone qui a un petit diamètre du cône donne des pertes de charges très élevées pour les différents modèles de turbulence. La pression élevée près des parois à cause de la force centrifuge crée une dépression sur l'axe du cyclone.

Le modèle RSM donne une chute de pression plus élevée par rapport aux modèles RNG  $k-\varepsilon$  et  $k-\varepsilon$ . Le modèle RSM prévoit très bien le vortex forcé et le vortex libre, contrairement les modèles RNG  $k-\varepsilon$  et  $k-\varepsilon$ .

## REFERENCES

- [1] C.H. Kim *et al.*, 'A New Collection Efficiency Model for Small Cyclones Considering the Boundary-Layer Effect', *Journal of Aerosol Sciences*, Vol.32, pp. 251 – 269, 2001.
- [2] D. Leith and W. Licht, 'The Collection Efficiency of Cyclone Type Particle Collectors: a New Theoretical Approach', *AIChE Symposium Series* 68, p. 206, 1072.
- [3] D.L. Iozia and D. Leith, 'The Logistic Function and Cyclone Fractional Efficiency', *Aerosol Science and Technology*, Vol. 12, pp. 598 - 606, 1990.
- [4] Fluent 6.0, 'Documentation 2001, User's Guide', Tutorial Guide, Fluent, Inc.
- [5] F.M. Erdal *et al.*, 'CFD Simulation of Single-Phase and Two-Phase Flow in Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators', *Annal Technical Conference & Exhibition of the Society of Petroleum Engineers*, SPE, 1997.
- [6] Gambit 2.0, 'Documentation 2001, User's Guide', Modelling Guide, Tutorial Guide, Fluent, Inc.
- [7] H.S. Bryant *et al.*, 'How Dust in Gas Affects Cyclone Pressure Drop', *Hydrocarbon Processing*, Vol. 62, pp. 87-90, 1983.
- [8] J. Gimbut *et al.*, 'The Influence of Temperature and Inlet Velocity on Cyclone Pressure Drop: a CFD Study', *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 44, N°1, pp. 7 - 12, 2005.

- [9] J. Gimbut et al., 'A CFD Study on the Prediction of Cyclone Collection Efficiency', International Journal of Computational Method Engineering Science and Mechanics, Vol. 6, N°3, pp. 161 - 168, 2005.
- [10] K. Talbi et al., 'Etude Expérimentale par LDA d'un Ecoulement Tridimensionnel Turbulent de l'Air dans un Cyclone', European Journal Mechanical and Environmental Engineering, Vol. 48, N°4, 2003.
- [11] M. Bohnet, 'Influence of the Gas Temperature on the Separation Efficiency of Aerocyclones', Chemical Engineering and Processing, Vol. 34, pp. 151 - 156, 1995.
- [12] M. Slack, 'Cyclonic Separator', Fluent Europe Ltd. 2002, GTC1 - CT99 - 10030. [Http://www.qnet-cfd.net](http://www.qnet-cfd.net).
- [13] N. Kharoua, 'Etude de l'Aérodynamique dans un Cyclone à l'Aide du Logiciel Fluent', Mémoire de Magister, Département de Génie Mécanique, Université Mentouri de Constantine, 2004.
- [14] P.A. Funk et al., 'Entrance Velocity Optimisation for Modified Dust cyclones', The Journal of Cotton Science', Vol. 4, pp. 178 - 182, 2000.
- [15] S.V. Patankar, 'Numerical Heat Transfer and Fluid Flow', Hemisphere, Washington, DC. pp. 115 - 120, 1980.