

Simulation numérique en régime turbulent de l'influence du débit et du champ thermique dans un cyclone

Kamel Talbi^{1*}, Ilhem Zeghbid^{1†}, André Donnot² et Zoubir Nemouchi¹

¹ Laboratoire de thermo fluide, Département de Génie Mécanique,
Université Mentouri, Constantine, Algérie

² Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériau Bois, 'LERMAB'
Université Henri Poincaré, Nancy 1, 27, Rue du Merle Blanc
B.P. 1041, 88051 Epinal Cedex 9, France

(reçu le 10 Janvier 2010 – accepté le 25 Septembre 2011)

Résumé – Les cyclones représentent des dispositifs très utilisés pour la séparation gaz-aérosols dans l'industrie. L'étude approfondie de l'écoulement turbulent tridimensionnel dans un cyclone est très complexe et demande des codes de calculs puissants. Nous proposons ici la simulation numérique d'un écoulement turbulent aérodynamique à travers un cyclone au moyen d'un code Fluent. Cette étude traite l'effet de la température et la vitesse d'entrée sur l'écoulement turbulent d'air dans un cyclone. Ceci est obtenu en appliquant deux modèles de turbulence qui sont, le modèle RNG $k - \varepsilon$ et le modèle RSM (Reynolds Stress Model). Une comparaison des champs thermique et de vitesse moyenne des différents modèles de turbulence a été effectuée. L'attitude tridimensionnelle de l'écoulement a été confirmée. Il est à souligner aussi que la chute de pression augmente avec l'augmentation de la vitesse d'entrée et diminue avec l'augmentation de la température. Il est à signaler que le modèle des contraintes de Reynolds capte mieux les phénomènes dans un écoulement tourbillonnaire intense en présence des parois.

Abstract – The cyclones are devices widely used for separating gas-aerosol in the industry. The comprehensive study of three-dimensional turbulent flow in a cyclone is very complex and requires powerful computer codes. We propose the numerical simulation of turbulent flow through a cyclone aerodynamics using a code Fluent. This study examines the effect of temperature and inlet velocity on the turbulent flow of air in a cyclone. This is achieved by using two turbulence models are, the model RNG $k - \varepsilon$ and the model RSM (Reynolds Stress Model). A comparison of the thermal field and average speed of various turbulence models was performed. The attitude of the three-dimensional flow was confirmed. It should be noted that the pressure drop increases with increasing input speed and decreases with increasing temperature. It is also worth noting that the model of Reynolds stresses better captures the phenomena in an intense vortex flow in the presence of the walls.

Mots clés: Fluent - Cyclone - Aérodynamique - Turbulence, - Efficacité de filtration.

1. INTRODUCTION

Beaucoup de processus industriels, tels que le traitement des minéraux, le raffinage du pétrole, les activités agroalimentaires, doivent séparer des aérosols solides ou liquides en suspension dans un gaz. Les contraintes croissantes que subissent les industriels pour la protection de l'environnement demandent que des particules de plus en plus fines doivent être filtrées. Plusieurs technologies, dont les filtres à medium, les

* talbi.kamel1@gmail.com

† i.zegh@yahoo.fr

dépoussiéreurs et les séparateurs cycloniques peuvent être utilisées pour la séparation gaz-solide. Les cyclones représentent des dispositifs très répandus dans plusieurs secteurs industriels à cause de leur efficacité de filtration, de leur simplicité de conception, de leur fiabilité et de leur coût d'entretien faible.

Dans la décennie passée, l'application des codes de simulation devient de plus en plus utile et indispensable afin de comprendre les phénomènes physiques et de préparer les dimensionnements industriels en minimisant les coûts des maquettes d'essais. Parmi les 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 dépoussiéreur en fonction du débit et du champ thermique. Nous insisterons particulièrement sur le comportement du vortex à l'intérieur du cyclone.

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 indispensable 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.

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

2. GEOMETRIE ET FORMULATION MATHÉMATIQUE

Les équations différentielles aux dérivées partielles, décrites exprimant la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie sont résolues.

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

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

1: terme convectif, 2: effet de la pression, 3: terme diffusif, 4: effet de la pesanteur (ce terme est négligeable dans notre cas).

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[U_j (\rho E + \rho) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[k_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x_j} + U_i (\tau_{ij})_{\text{eff}} \right] \quad (3)$$

$$E = h - \frac{P}{\rho} + \frac{U_i^2}{2}$$

2.1 Modèle de turbulence

2.1.1 Modèle $k-\varepsilon$

Le modèle $k-\varepsilon$ standard (Launder *et al.*, (1972)), qui se base sur le concept de Boussinesq (1977), exprime les termes des contraintes de Reynolds:

$$-\rho \overline{u_i u_j} = 2\mu_t s_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \quad (4)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

$$\mu_t = \rho \nu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

L'énergie cinétique turbulente est définie par:

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} = \frac{1}{2} \left(\overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} + \overline{u_3^2} \right) \quad (7)$$

Le taux de dissipation ε de l'énergie cinétique k est donné par:

$$\varepsilon = \nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (8)$$

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

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

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_k	σ_ε
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 *et al.*, 1992) consiste en une estimation au cours du calcul de la constante $C_{\varepsilon 1}$ du modèle $k-\varepsilon$, remplacée dans l'équation de dissipation par $C'_{\varepsilon 1}$ donnée par l'expression (9). Ce terme lie le taux de déformation η au taux de dissipation, le rendant ainsi moins diffusif.

$$C'_{\varepsilon 1} = C_{\varepsilon 1} - \frac{\eta \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right)}{1 + \beta \eta^3} \quad (9)$$

$$\text{Avec } \eta = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{p}{\eta_t}} \quad (10)$$

Les constantes du modèle RNG ont pour valeur (**Tableau 2**):

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

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_ε	η_0	β
---------	---------------------	---------------------	----------------------	----------	---------

0.085	1.42	1.68	0.7179	4.38	0.015
-------	------	------	--------	------	-------

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

Le modèle RNG $k-\varepsilon$ a été introduit pour améliorer les résultats du modèle standard pour les écoulements avec une grande courbure des lignes de courant. Pourtant il n'est pas aussi reconnu par les chercheurs que le modèle $k-\varepsilon$. Les versions standards de $k-\varepsilon$ et RNG $k-\varepsilon$ sont valides pour les écoulements turbulents loin des parois.

$$\begin{aligned}
 \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k}(\rho U_k \overline{u_i u_j})}_1 &= - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k} \left[\rho \overline{u_i u_j u_k} + p(\delta_{kj} \overline{u_i} + \delta_{ik} \overline{u_j}) \right]}_2 \\
 &+ \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u_i u_j}) \right]}_3 - \underbrace{\rho \left[\overline{u_i u_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \overline{u_j u_k} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} \right]}_4 \\
 &+ \underbrace{p \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right)}_5 - \underbrace{2\mu \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_k} \frac{\partial \overline{u_k}}{\partial x_j}}_6
 \end{aligned} \quad (11)$$

$$D_{T,ij} = C_S \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\rho k \frac{\overline{u_k u_l}}{\varepsilon} \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_l} \right) \quad (12)$$

$$D_{T,ij} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_k} \right) \quad (13)$$

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

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

$$\phi_{ij} = \phi_{ij,1} + \phi_{ij,2} + \phi_{ij,\omega} \quad (14)$$

$$\phi_{ij,1} = -C_1 \rho \frac{\varepsilon}{k} \left[\overline{u_i u_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right] \quad (\text{terme lent}) \quad (15)$$

$$\phi_{ij,2} = -C_2 \left[(P_{ij} + C_{ij}) - \frac{2}{3} \delta_{ij} (P - C) \right] \quad (\text{terme rapide}) \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \phi_{ij,\omega} \equiv & C_1' \frac{\varepsilon}{k} \left(\overline{u_k u_m} n_k n_m \delta_{ij} - \frac{3}{2} \overline{u_i u_k} n_j n_k - \frac{3}{2} \overline{u_j u_k} n_i n_k \right) \frac{k^{3/2}}{C_1 \varepsilon d} \\ & + C_k' \left(\phi_{km,2} n_k n_m \delta_{ij} - \frac{3}{2} \phi_{ik,2} n_j n_k - \frac{3}{2} \phi_{jk,2} n_i n_k \right) \frac{k^{3/2}}{C_1 \varepsilon d} \end{aligned} \quad (17)$$

$$C_1 = \frac{C_\mu^{3/4}}{\kappa} \quad (18)$$

L'expression (18) représente le terme d'amortissement de la fluctuation. Il a été inclus par défaut dans le modèle RSM.

Tableau 3: Valeurs des constantes du modèle RSM

C_1	C_2	p	C	C_1'	C_{21}'	C_μ	κ
1.8	0.6	1.68	0.7179	0.5	0.3	0.09	0.4187

3. PROCEDURES DE RESOLUTION

L'écoulement a été simulé dans la géométrie présentée par Gimbut [6] et Bohnet [9], (Fig. 1). C'est un cyclone classique avec une entrée tangentielle. Le fluide s'écoulant dedans est de l'air avec une masse volumique de 1,225 kg/m³ et une viscosité dynamique de 1,7894 × 10⁻⁵ kg/m/s. Le nombre de nœuds est de 127609.

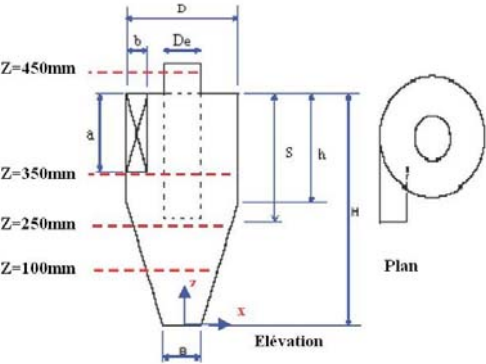


Fig. 1: Configuration tangentielle du cylindre

Tableau 4: Dimensions du cyclone étudié

Géométrie (mm)	a	b	D_e	S	h	H	D
Bohnet[9]	79.9	19.9	49.9	109.8	103.8	386.7	149.9

3.1 Maillage

A l'aide du pré logiciel Gambit (2.0), on a pu générer un maillage hexaédrique non structuré (Fig. 2).

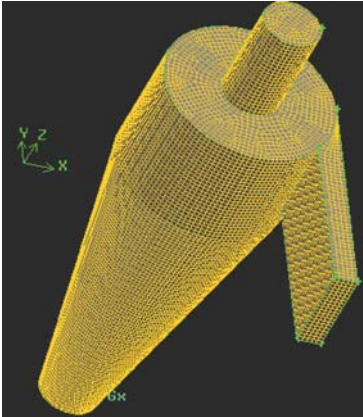


Fig. 2: Maillage utilisé

3.2 Conditions d’entrée

Tableau 5: Conditions aux limites pour l’entrée

	Modèle RNG $k-\varepsilon$, RSM
Vitesse d’entrée (m/s)	4.62 – 8.00 – 11.48 – 14.62
Intensité de turbulence	5 – 8 – 10 – 12 %
Diamètre hydraulique (m)	0.03191
Température (K)	293 – 850 – 1123

3.3 Choix du schéma de discrétisation

Tableau 6: Schémas de discrétisation utilisés pour le modèle RNG $k-\varepsilon$ et RSM

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

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Comparaison de la chute de pression entre les deux modèles de turbulence

Dans la Figure 3a, on présente la chute de pression en fonction de différentes vitesses d’entrée. On remarque bien, sur cette figure, que la chute de pression est proportionnelle à la vitesse au carré ($P = Cte \times V^2$), puisque la courbe obtenue a la forme d’une courbe parabolique.

De même, ces courbes obtenues sont en bonne concordance numériquement et expérimentalement avec d’autres auteurs dans le domaine.

On peut remarquer aussi que si on trace les courbes $\log(\Delta p)$ en fonction de $\log V$ pour les deux simulations (Fig. 3b), la pente est égale à 2.018 avec un coefficient de corrélation montrant que les modèles peuvent prédire avec précision la perte de charge dans les cyclones.

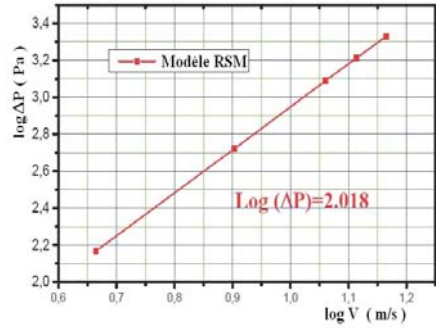
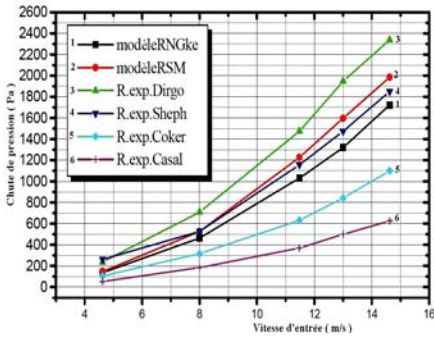


Fig. 3a: Comparaison aérodynamique de la chute de pression en fonction du débit entre les modèles RNG $k-\varepsilon$, RSM et d'autres modèles connus

Fig. 3b: Validation des modèles vis-à-vis de la chute de pression

Les Figures 4 et 5 illustrent les différents contours de la pression statique pour différentes vitesses d'entrée $v = [4.62 - 11.48 - 14.62]$ m/s dans un plan passant par le centre du cyclone et parallèle au plan d'entrée.

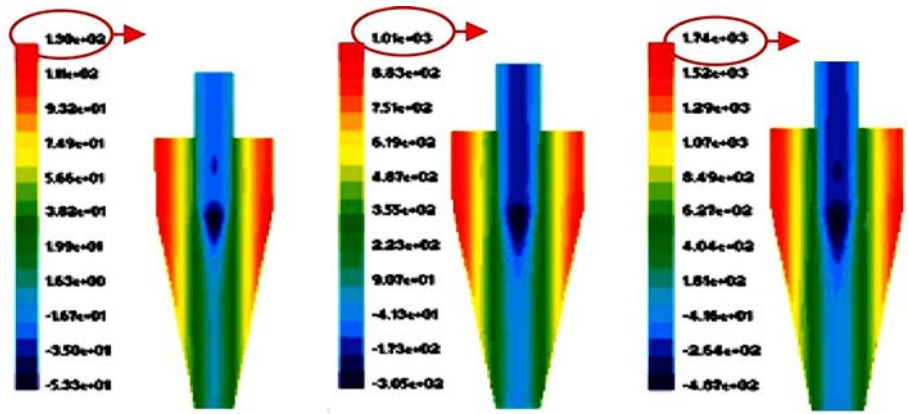


Fig. 4: Plan (x z) $y = 0$, modèle RNG $k-\varepsilon$
vitesse d'entrée $v = [4.62 - 11.48 - 14.62]$ m/s

Ces figures montrent que le flux se plaque contre les parois, dès le franchissement de l'entrée tangentielle, ce qui engendre une forte pression près de la paroi, par contre au centre, on remarque une forte dépression en forme d'un vortex.

Le modèle RSM illustre bien une oscillation de cet axe mobile d'écoulement montrant une dépression, ce qui n'est pas le cas du modèle $k-\varepsilon$. En ce sens, le modèle RNG $k-\varepsilon$ semble plus fidèle.

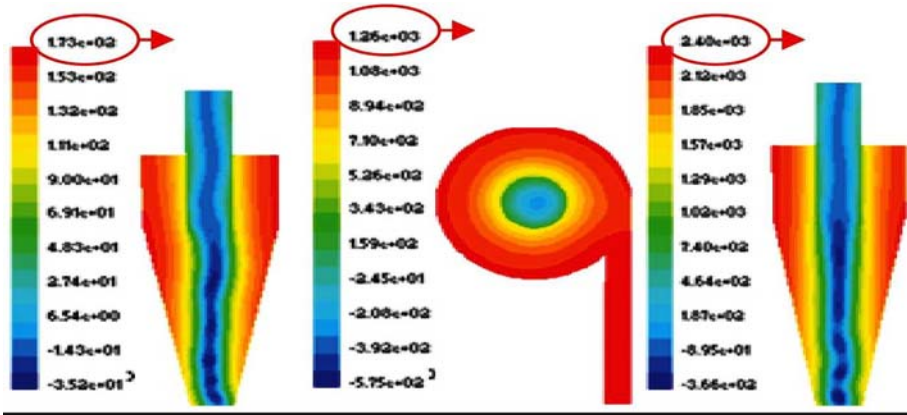


Fig. 5: Plan (x,z) $y = 0$, modèle RSM
vitesse d'entrée $v = [4.62 - 11.48 - 14.62]$ m/s

La pression à la paroi évolue de l'entrée vers le bas du cyclone en suivant le fluide dans la partie cylindrique, alors que la répartition de pression est plus symétrique au niveau de la paroi externe dans la zone conique.

Les modèles mettent tous deux en évidence la dépression qui règne dans la zone centrale en dessous du conduit de sortie, la surface en dépression ayant la même section que le conduit de sortie.

4.2 Comparaison des composantes des vitesses moyennes entre les deux modèles.

Les profils et les contours des vitesses axiales donnés par les différents modèles de turbulence sont représentés dans les Figures 6-8, juste en-dessous du conduit de sortie soit à la station $z = 250$ mm.

On note, dans les deux modèles la présence d'une zone sans écoulement située dans le prolongement de la section de sortie. C'est une frontière où la vitesse est nulle et qui matérialise la séparation du flux ascendant et descendant, ce qui a été confirmé par [8, 14].

On remarque que les modèles donnent des valeurs nettement différentes des vitesses et des profils différents.

Le modèle RNG $k-\varepsilon$ donne des profils très symétriques que ce soit à l'intérieur qu'à l'extérieur du conduit de sortie, avec des maxima de vitesses se situant aux centres des différentes zones d'écoulement.

Le modèle RSM donne des profils asymétriques dans le conduit de sortie, cette asymétrie étant probablement à l'origine de la rotation du corps central autour de son axe.

Le modèle RSM nous simule que l'axe de l'écoulement est oscillatoire par rapport à l'axe de du cyclone ce qui est vrai d'après Derksen [16]. Ce qui provoque en réalité une

perte de charge d'énergie. On remarque aussi deux flux sous le conduit, un flux descendant illustrant des vitesses négatives et flux ascendant montrant des vitesses positives. (Fig. 6).

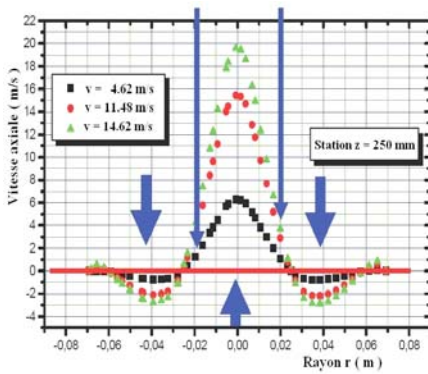


Fig. 6: Profil de vitesse axiale
modèle RNG $k-\varepsilon$

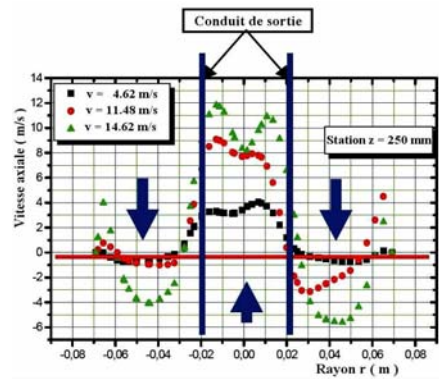


Fig. 7: Profil de la vitesse axiale
modèle RSM

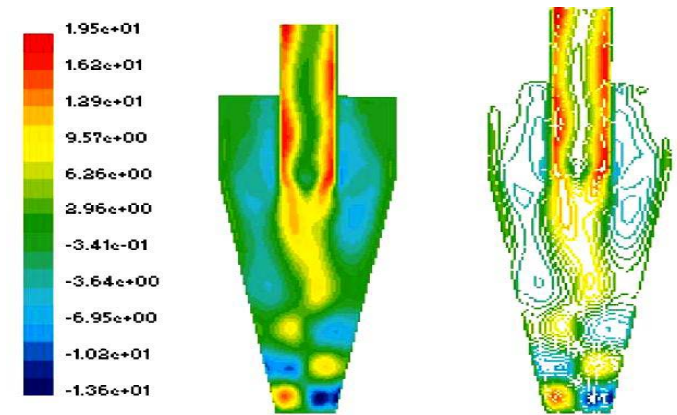


Fig. 8: Plan $(x z)$ $y = 0$, contours de la vitesse axiale
modèle RSM, vitesse d'entrée $v = 14.62$ m/s

Les profils des vitesses tangentielles calculées dans la section verticale $y = 0$ sont représentés en Figures 9 et 10. Le profil obtenu avec le modèle RNG $k-\varepsilon$ donne de nouveau un profil à symétrie quasi parfaite par rapport au centre de l'écoulement, alors que le profil calculé avec le modèle RSM montre un corps rotatif irrégulier.

Le profil RNG $k-\varepsilon$ ne rend pas compte du gradient important de vitesse mesuré au sein d'un écoulement réel, gradient qui limite fortement l'extension géométrique de la zone centrale à vitesse réduite qui est mieux représenté par le modèle RSM.

A première vue, les deux résultats des vitesses tangentielles obtenues par les modèles reflètent une différence de comportement physique. Le modèle RSM simule

deux zones de recirculation, par contre le modèle RNG $k-\varepsilon$ simule autrement ce phénomène dans ces localités.

Il présente un vortex forcé avec des pentes différentes pour l'ensemble des vitesses considérées suivi d'un autre vortex libre très limité en dimension selon le rayon (r) près des parois. C'est là, où il y a un relâchement d'intensité du vortex. Une remarque importante est tirée à partir des deux simulations entre les deux modèles, au niveau des séparations des vortex.

Là, il y a une différence de comportement. En fait, les vitesses tangentielles, où on constate un flux ascendant FA et un flux descendant FD.

Pour conclure, là en se référant à [10], le profil simulé par RSM correspond mieux au profil expérimental. Ce qui reflète, donc la faiblesse du modèle RNG $k-\varepsilon$ par rapport au modèle RSM. Ceci ce confirme aussi, en regardant les contours de vitesse dans les deux cas, on remarque bien la différence de comportement des deux modèles, (Fig. 9 et 10).

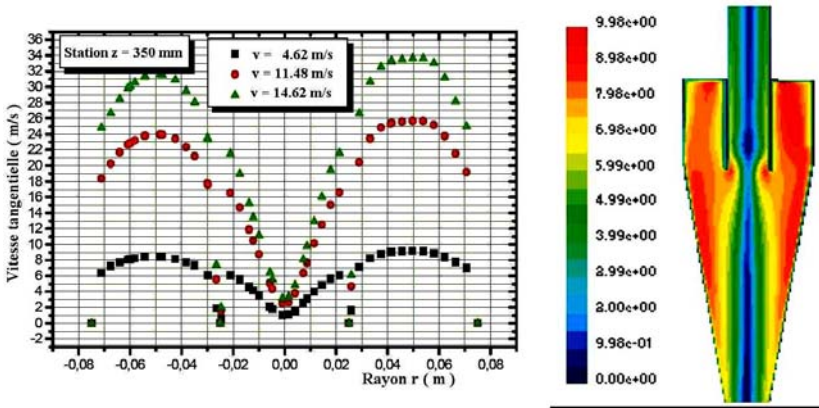


Fig. 9: Profil et contours de la vitesse tangentielle, modèle RNG $k-\varepsilon$

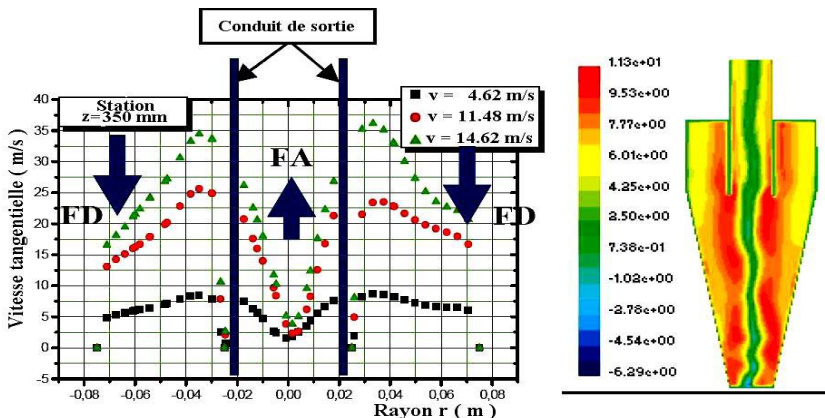


Fig. 10: Profil et contours de la vitesse tangentielle, modèle RSM

4.3 Effet de la température sur le comportement de l'écoulement d'un cyclone

4.3.1 Comparaison aérodynamique entre deux modèles de turbulence sur la chute de pression du cyclone

Dans la Figure 11a, on présente la perte de charge du cyclone en fonction de la température du fluide pour $T = [293 - 850 - 1123]$ K. A débit constant, on constate que la corrélation trouvée est que, plus la température augmente, plus la chute de pression diminue, pour les deux modèles de turbulence RNG $k - \varepsilon$ et RSM.

Un rapprochement a été mené comparativement par rapport à d'autres travaux effectués par d'autres auteurs dans le même domaine (approche faite avec Gimbun [8]). L'affrontement entre les deux résultats présente un comportement similaire. (Fig. 11b)

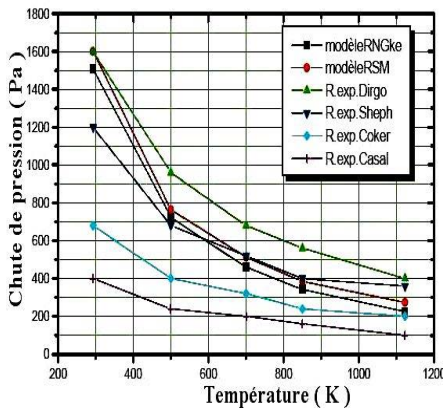


Fig. 11a: Comparaison aérodynamique de la chute de pression entre les modèles RNG $k - \varepsilon$ et RSM, avec la température

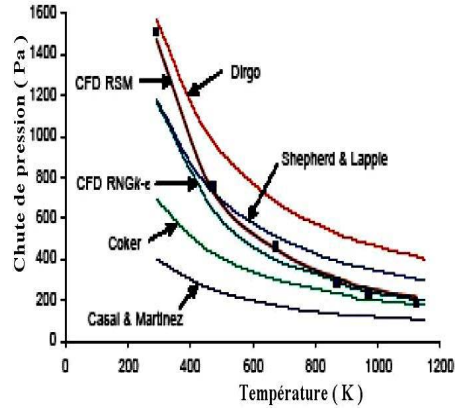


Fig. 11b: Comparaison aérodynamique de la chute de pression entre les modèles RNG $k - \varepsilon$ et RSM avec autres auteurs

Dans les Figures 12 et 13, on expose les profils de la pression statique pour les températures $T = 293\text{K}$ et $T = 1123\text{ K}$.

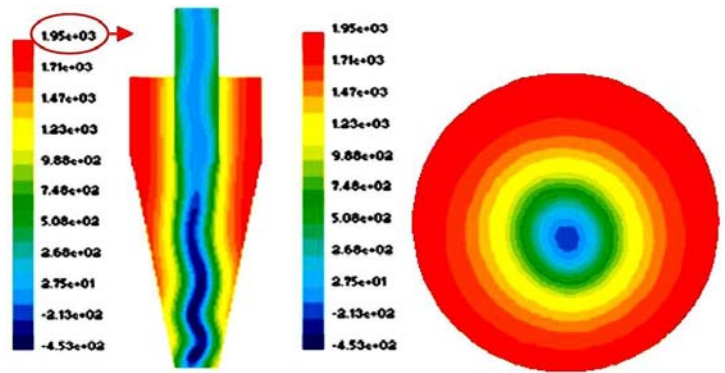


Fig. 12: Contours de la pression statique, modèle RSM, Température $T = 293\text{ K}$

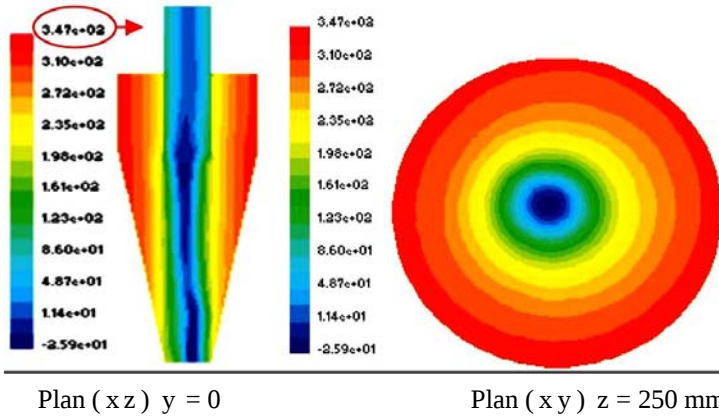


Fig. 13: Contours de la pression statique, modèle RSM, Température $T = 1123$ K

Les pressions deviennent faibles en augmentant la température. Puisque la densité du fluide diminue alors que la viscosité augmente. Si on examine le positionnement de l'axe de l'écoulement, on observe que l'intensité de la fréquence d'oscillation diminue avec l'augmentation de la température.

4.3.2 Comparaison aérodynamique entre deux modèles de turbulence sur le champ thermique du cyclone

Dans les Figures 14 et 15, on présente les profils de la température pour les différentes températures d'entrée qui sont $T = [293 - 850 - 1123]$ K. On remarque que pour $T = 293$ K, pratiquement le fluide prend la température de la paroi. Tandis que pour les deux autres températures, la température est maximale dans la région du flux descendant entre la paroi et l'axe du cyclone.

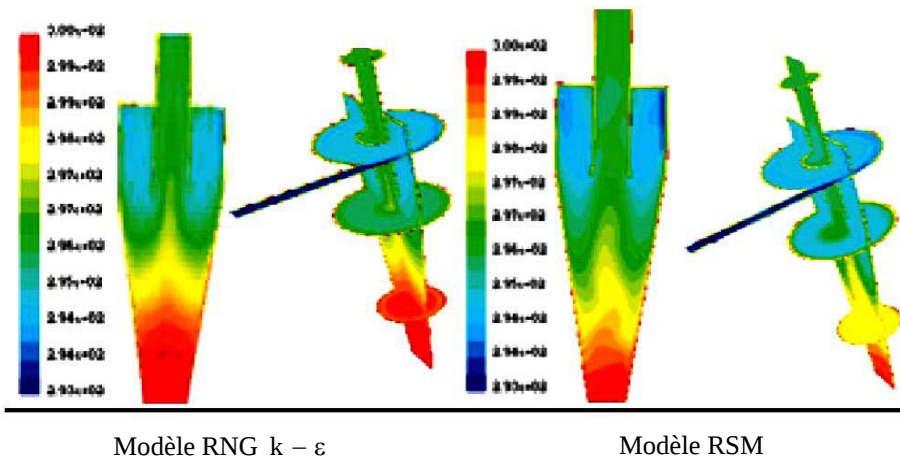


Fig. 14: Plan $(x z)$ $y = 0$, contours de la température statique, température $T = 293$ K

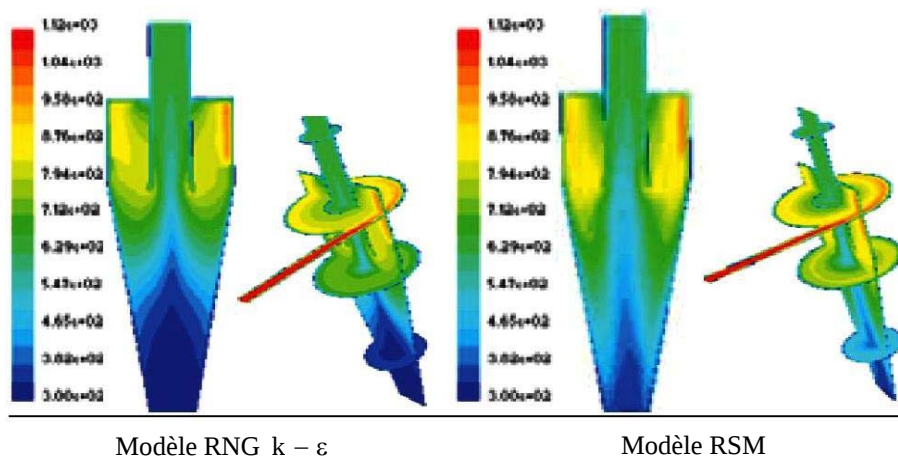


Fig. 15: Plan $(x z)$ $y = 0$, contours de la température statique, température $T = 1123$ K

Nombre de Nusselt

Les valeurs locales du nombre de Nusselt sont illustrées dans les Figures 16 et 17. On remarque que le nombre de Nusselt présente un échange de chaleur très important juste où le fluide pénètre dans la partie cylindrique. Là, la couche thermique devient très mince plaquée contre la paroi par le fluide déjà en rotation. Ce qui donne un échange très important dans la zone d'entrée localisée par une surface rouge.

A fur et à mesure que le fluide descend vers le bas, le fluide effectue un échange de chaleur. Par conséquent, sa température diminue, ce qui provoque une diminution du nombre de Nusselt.

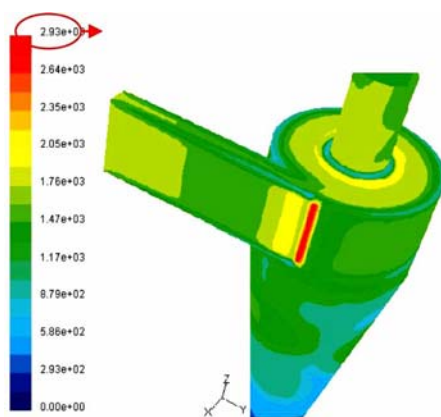


Fig. 16: Contours du nombre de Nusselt à la température d'entrée $T = 293$ K

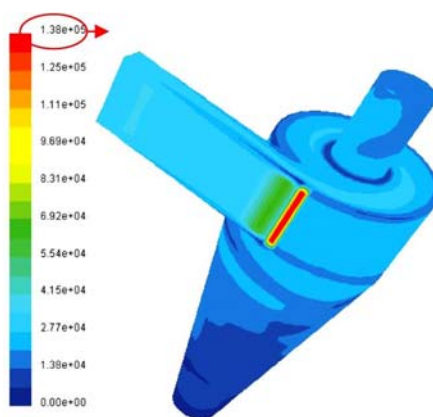


Fig. 17: Contours du nombre de Nusselt à la température d'entrée $T = 850$ K

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 de la vitesse d'entrée et diminue avec l'augmentation de la température. L'influence de la température de l'air sur la chute de pression est attribuée au changement de l'intensité du mouvement tourbillonnaire de l'air.

L'élévation de la température mène à une diminution de densité du gaz et d'une augmentation de viscosité, ces deux paramètres ayant pour résultat un écoulement tourbillonnant plus faible et à une réduction de la perte de charge le long du cyclone.

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

REFERENCES

- [1] C.H. Kim and Jin W. Lee, 'A New Collection Efficiency Model For Small Cyclones Considering the Boundary-Layer Effect', Journal of Aerosol Science, Vol. 32, N°2, 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, Vol. 68, N°126, pp. 196 - 206, 1972.
- [3] D.L. Iozia and D. Leith, 'The Logistic Function and Cyclone Fractional Efficiency', Aerosol Science and Technology, Vol. 12, N°3, pp. 598 - 606, 1990.
- [4] F.M. Erdal, S.A. Shirazi, O. Shoham and G.E. Kouba, 'CFD Simulation of Single-Phase and Two-Phase Flow in Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators', SPE Annual Technical Conference & Exhibition of the Society of Petroleum Engineers SPE, Denver, USA, 6-9 October, 1996.
- [5] H.S. Bryant, R.W. Zilverman and F.A. Zenz, 'How Dust in Gas Affects Cyclone Pressure Drop', Hydrocarbon Processing, Vol. 62, N°6, pp. 87- 90, 1983.
- [6] J. Gimbut, T.G. Chuah, A. Fakhru'l-Razi and T.S.Y. Choong, '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.
- [7] J. Gimbut, T.G. Chuah, S.Y.T. Choong and A. Fakhru'l-Razi, 'A CFD Study on the Prediction of Cyclone Collection Efficiency', International Journal for Computational Method in Engineering Science and Mechanics, Vol. 6, N°3, pp. 161 – 168, 2005.
- [8] K. Talbi, A. Donnot, Z. Nemouchi et M.O. Rigo, 'Etude Expérimentale par LDA d'un Ecoulement Tridimensionnel Turbulent de l'Air dans un Cyclone', European Journal of Mechanical and Environmental Engineering, Vol. 48, N°4, pp. 268 – 276, 2003.
- [9] M. Bohnet, 'Influence of the Gas Temperature on the Separation Efficiency of Aerocyclones', Chemical Engineering and Processing, Vol. 34, N°3, pp. 151 - 156, 1995.
- [10] M. Slack, 'Cyclonic Separator', Fluent Europe Ltd., 2002. GTC1 - CT99 – 10030. [Http://www.qnet-cfd.net](http://www.qnet-cfd.net).
- [11] 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.

- [12] P.A. Funk, S.E. Hughs and G.A. Holt, '*Entrance Velocity Optimization for Modified Dust Cyclones*', The Journal of Cotton Science, Vol. 4, pp. 178 – 182, 2000.
- [13] S.V. Patankar, '*Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*', Hemisphere. Washington, DC, pp. 115 - 120, 1980.
- [14] V. Potel, A. Donnot et M.O Rigo, '*Etude Expérimentale de l'Axisymétrie d'un Ecoulement Cyclonique*', Actes du 13^{ème} Congrès Français de Mécanique, Vol. 2, pp. 135 – 138, Poitiers 1-5 Sep.1997.
- [15] S.M. Fraser and M.Z. Abdullah, '*LDA Measurements on a Modified Cyclone*', ASME Laser Anemometry, Vol. 229, pp. 395 - 403, 1995.
- [16] J.J. Derksen and H.E.A. Van den Akker, '*Simulation of Vortex Core Precession in a Reverse-Flow Cyclone*', AIChE Journal, Vol. 46, N°7, pp. 1317 – 1331, 2000.