

Etude de l'influence d'un diffuseur sur la structure aérodynamique d'une éolienne à axe horizontal type Rutland 913

G. Bouzgarrou, Z. Driss, N. Bahloul, H. Kchaou et M. S. Abid

*Laboratoire des Systèmes Electro-Mécaniques (LASEM), Département de Génie Mécanique,
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), B.P. 1173, Route de Sokra 3038 Sfax, TUNISIE
Bouzgarrou_ghazi@yahoo.fr, Zied.Driss@enis.rnu.tn, MohamedSalah.Abid@enis.rnu.tn*

RESUME

Dans ce papier, une caractérisation aérodynamique des aérogénérateurs à axe horizontal type Rutland 913 avec et sans diffuseur est présentée. Ces résultats sont obtenus par voie de simulation numérique en utilisant le modèle de turbulence RNG k- ϵ . Le but est d'améliorer les conditions de fonctionnement de ce type d'éolien. Les comparaisons effectuées entre nos résultats numériques et celles tirés de la littérature ont montré une bonne concordance.

MOTS CLES

Eolienne / Axe horizontal / Diffuseur / CFD / Aérodynamique / Turbulent / Modèle RNG k- ϵ

1. INTRODUCTION

La recherche aérodynamique dans le domaine des éoliennes est due essentiellement au développement des industries et des fabricants d'éoliennes. Les approches physiques et la modélisation ont joué un grand rôle dans ce domaine. Actuellement la technologie des éoliennes s'intéresse à plusieurs facteurs tels que l'emplacement des éoliennes, leurs géométries, la position de l'une par rapport à l'autre et aussi de la position des petites éoliennes dans les diffuseurs. L'étude de la présence d'un diffuseur en amont d'une éolienne a été abordée dans pas mal de travaux antérieurs. A titre indicatif, on peut citer les travaux expérimentaux réalisés par Ohya et al. [1], Abe et al. [2], Matsushima et al. [3], Jureczko et al. [4], Philipe et al. [5], Natalino et al. [6], Michael et al. [7] et Wang et al. [8]. Dans leur travail expérimental, Ohya et al. [1] ont développé un diffuseur équipé d'un flanc qui permet de créer une dépression avec accélération du vent. Le but de ce travail est de concevoir un système efficace permettant l'accélération du vent. Abe et al. [2] ont étudié par voie expérimentale l'effet d'un diffuseur sur les performances d'un système éolien. Matsushima et al. [3] ont étudié l'influence de l'adjonction du diffuseur sur la puissance récupérée ou développée par une éolienne. Plus particulièrement, ils ont montré expérimentalement que la puissance générée par une éolienne avec diffuseur est de 2,4 fois plus grande que celle d'une éolienne sans diffuseur. L'adjonction d'un diffuseur pour les petites éoliennes est aussi traitée par Jureczko et al. [4], Philipe et al. [5] et Natalino et al. [6]. Michael et al. [7] ont développé une étude empirique du diffuseur. Ils ont affirmé que les études antérieures sont insuffisantes pour pouvoir déterminer les performances d'une éolienne. Le but de cette étude est de trouver une formulation avec laquelle on peut vérifier les différentes configurations d'écoulement. Wang et al. [8] ont développé un système éolien avec diffuseur. L'opportunité de ce travail est de montrer l'importance d'utiliser un diffuseur. L'effet du diffuseur sur la vitesse et la puissance captée ou récupérée par l'éolienne est également étudié. Ils ont montré que la vitesse du vent est multipliée par un coefficient de 1,5 et que la puissance captée est augmentée par multiplication de 2,2. Vue l'insuffisance des résultats numériques pour prédire le comportement aérodynamique d'une éolienne avec diffuseur, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'influence de l'adjonction d'un diffuseur sur la structure aérodynamique d'une éolienne à axe horizontal type Rutland 913. Notre étude présente une grande importance puisque elle

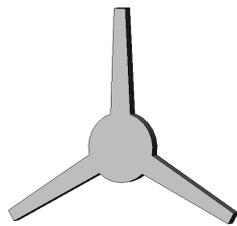
permette de calculer les différents paramètres locaux de l'écoulement et de fournir des connaissances fiables sur les performances des éoliennes.

2. PARAMETRES GEOMETRIQUES

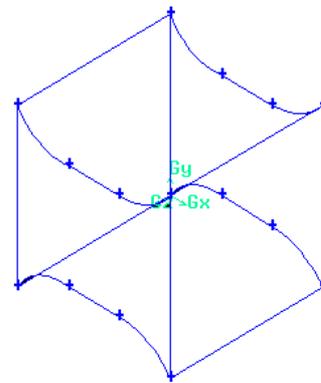
Dans ce papier, nous nous sommes intéressés à la caractérisation aérodynamique des aérogénérateurs à axe horizontal type Rutland 913 (Figure 1.a). Cette éolienne est déjà définie par Wang et al. [8] dans leur travail expérimental. Plus particulièrement, nous avons entamé une étude comparative entre l'éolienne Rutland 913 avec et sans diffuseur afin de montrer l'influence du diffuseur sur les paramètres aérodynamiques de l'éolienne (Figure 1.b). Dans cette étude, on s'est intéressé à un diffuseur dont les dimensions figurent dans le tableau 1.

Tableau 1. Dimensions du diffuseur

Entrée diffuseur			Partie cylindrique		Sortie diffuseur		
Re (m)	R1 (m)	Le (m)	Lc (m)	Rc (m)	Lt (m)	Rc (m)	Rt (m)
2	3	2	2	2	2	2	3



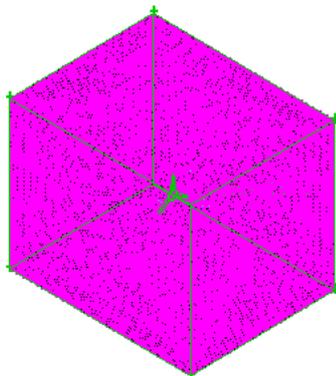
a. Rutland 3 pales



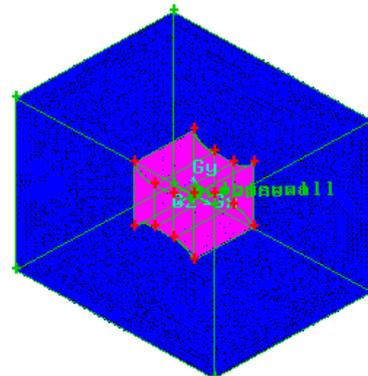
b. diffuseur

Figure 1. Paramètres géométriques

Le volume de contrôle dans le cas d'une éolienne équipée d'un diffuseur est un parallélépipède de longueur $L=10$, de largeur $l=8$ et de hauteur $H=8$. La représentation des structures maillées dans les volumes de contrôle est donnée par la figure 2. Le type de maillage, la taille des nœuds et le nombre total des nœuds sont données dans le tableau 2.



a. Rutland 3 pales sans diffuseur



b. Rutland 3 pales avec diffuseur

Figure 2. Géométries maillées dans l'espace

Tableau 2. Paramètres du maillage

Paramètres	Rutland 3 pales avec diffuseur	Rutland 3 pales
Type de maillage	Tête/hybride	Tête/hybride
Taille du maillage	0.1 entre l'éolienne et le diffuseur	0.1
	0.2 entre le diffuseur et le volume de contrôle	
Nombre de noeuds	586999 entre l'éolienne et le diffuseur	586557
	299398 entre le diffuseur et le volume de contrôle	

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats numériques présentés sont issus de l'application du code de calcul de dynamique des fluides numériques Fluent. La présentation des résultats porte essentiellement sur l'interprétation de la répartition du champ des vitesses et des pressions dans différents plans. Les trois plans de présentation choisis sont définis par les équations : $x=0$, $y=0$ et $z=0$. Ce qui correspond respectivement à des plans situés au niveau des pales de l'éolienne, proche de l'éolienne et au niveau des plans limites proche des parois du volume de contrôle (figure 3).

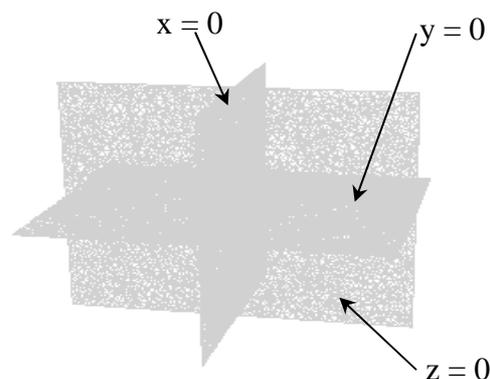
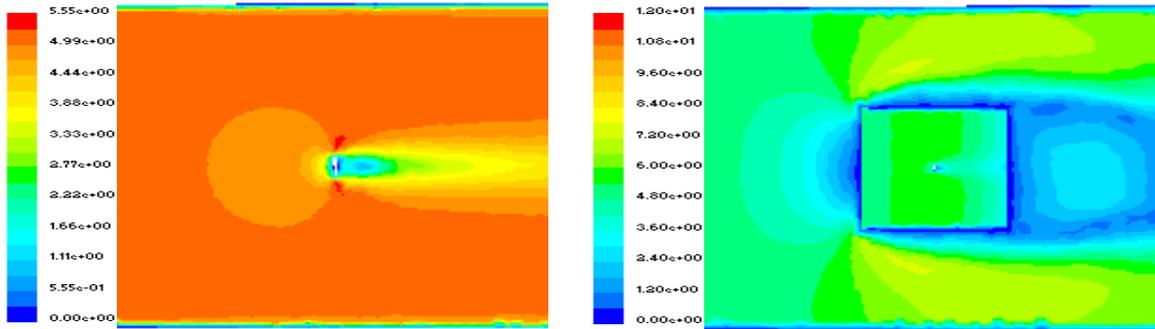


Figure 3. Plans de visualisation

3.1 Champ des vitesses

Sur les figures 4, 5 et 6 est présentée la répartition de la vitesse moyenne dans les trois plans qui correspondent respectivement aux plans longitudinaux définis par $y=0$ et $z=0$ et le plan transversal défini par $x=0$. Ces figures montrent que la vitesse augmente graduellement le long du diffuseur. On remarque l'existence d'une valeur maximale de cette vitesse qui est obtenue pour une position axiale au voisinage de l'éolienne. La valeur de la vitesse atteint une valeur proche de $6,8 \text{ ms}^{-1}$ dans le cas d'une éolienne équipée d'un diffuseur, alors qu'elle est de l'ordre de $5,5 \text{ ms}^{-1}$ dans le cas d'une éolienne sans diffuseur. Par ailleurs, le rapport des vitesses R_v est de l'ordre de 1,11 dans le cas d'une éolienne à trois pales sans diffuseur. Cependant, il est de l'ordre de 1,36 dans le cas d'une éolienne équipée par un diffuseur. La vitesse à l'entrée du volume de contrôle est la même pour les deux configurations et est égale à 5 ms^{-1} . On remarque aussi que l'augmentation de vitesse est plus importante lorsque l'éolienne est équipée d'un diffuseur. Cette augmentation de vitesse moyenne permet d'augmenter la valeur de l'énergie capturée et de la puissance théorique développée par l'éolienne d'un facteur de l'ordre de 2,51. Sur la figure 5 on peut remarquer que la vitesse moyenne diminue progressivement après l'éolienne. La diminution s'aperçoit de la position de l'éolienne jusqu'aux limites du volume de contrôle. Ceci est expliqué par le fait que l'éolienne joue le rôle d'un obstacle devant l'écoulement ainsi qu'elle capture l'énergie cinétique du vent. Sur la figure 6 est présentée la vitesse moyenne dans un plan perpendiculaire à l'écoulement. On remarque que la

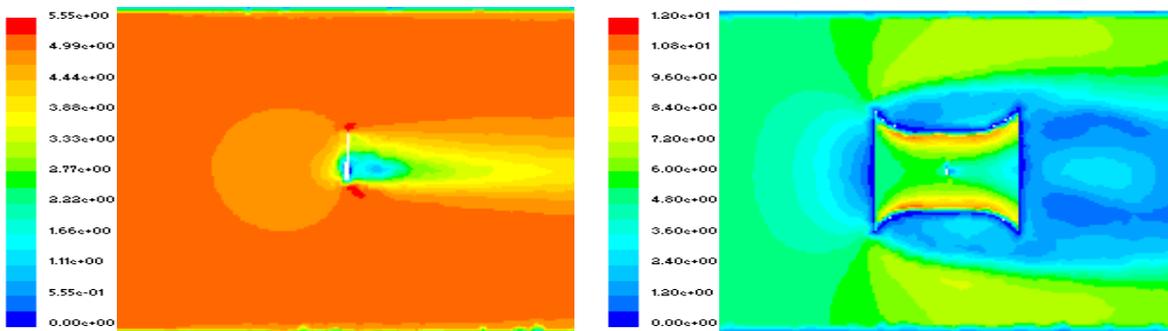
valeur maximale est atteinte au voisinage de l'éolienne alors que la valeur minimale est localisée au niveau de l'axe de l'éolienne. Ainsi la distribution de la vitesse moyenne montre que la vitesse à la sortie du diffuseur est très faible permettant ainsi une amélioration de la valeur de l'énergie capturée par l'éolienne.



a. Rutland 3 pales sans diffuseur

b. Rutland 3 pales avec diffuseur

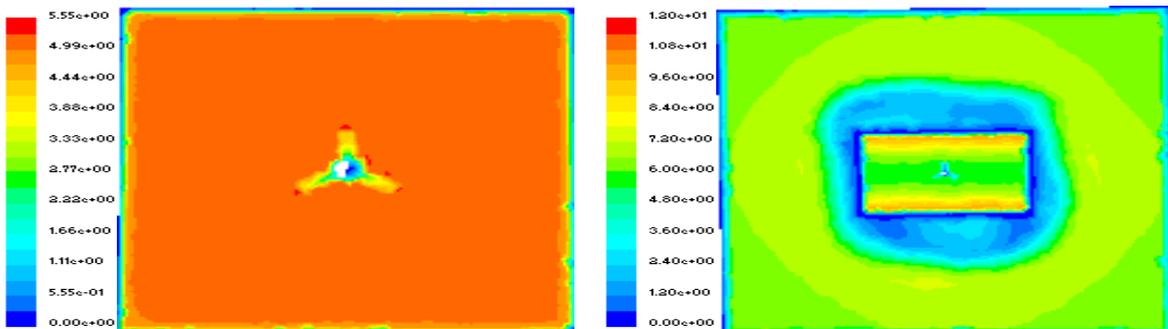
Figure 4. Vitesse moyenne dans le plan longitudinal défini par $y=0$



a. Rutland 3 pales sans diffuseur

b. Rutland 3 pales avec diffuseur

Figure 5. Vitesse moyenne dans le plan longitudinal défini par $z=0$



a. Rutland 3 pales sans diffuseur

b. Rutland 3 pales avec diffuseur

Figure 6. Vitesse moyenne dans le plan transversal défini par $x=0$

3.2 Champ des pressions

Sur la figure 7 est présentée la pression totale dans le plan longitudinal $z=0$. D'après cette figure, on remarque que la distribution de la pression totale dans le diffuseur et le long du volume de contrôle reflète celle de l'énergie totale transportée par le vent. Par ailleurs, on peut constater que la pression totale est faible juste après de l'éolienne. En effet, l'écoulement entre avec une grande énergie cinétique. Ensuite, il est accéléré dans le diffuseur. Au niveau de l'éolienne, cet écoulement sera bloqué par l'éolienne qui absorbe une grande quantité de l'énergie transportée par ce vent. Ceci crée une région de dépression maximale qui se localise après l'éolienne dans les deux configurations. La comparaison des résultats fournis pour les deux configurations renseigne sur l'importance du rôle du diffuseur dans l'augmentation de l'énergie capturée par l'éolienne. En effet, on note que les

valeurs de la pression totale pour les deux géométries avec et sans diffuseur sont respectivement de l'ordre de 28,1 Pa et de 24,3 Pa.

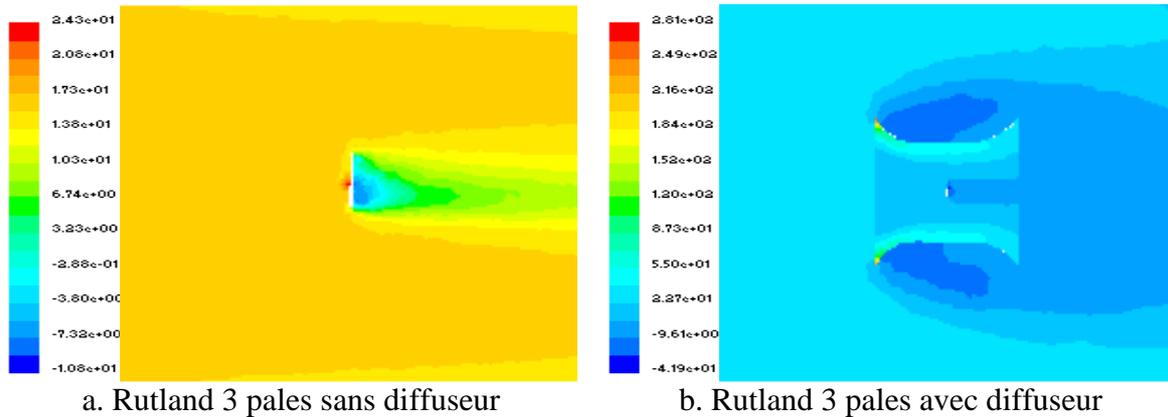


Figure 7. Pression totale dans le plan longitudinal défini par $z=0$

3.3 Importance du diffuseur

Sur la figure 8 est présentée l'évolution du rapport des vitesses moyennes suivant la composante axiale de l'écoulement. Les profils superposés correspondent à deux configurations à savoir : une éolienne à trois pales équipée par un diffuseur et une autre ayant le même nombre de pales mais sans diffuseur. Ces profils sont tracés pour différentes positions axiales situées en amont et en aval de l'éolienne. On constate que ces profils ont une forme parabolique. Cette forme présente un maximum localisé au niveau de l'éolienne. Toutefois, on note une augmentation de ce rapport jusqu'à la position axiale de l'éolienne. Cependant, en s'éloignant de cette position on remarque que ce rapport diminue progressivement. Egalement, on constate que ces rapports sont plus importants pour une éolienne équipée d'un diffuseur.

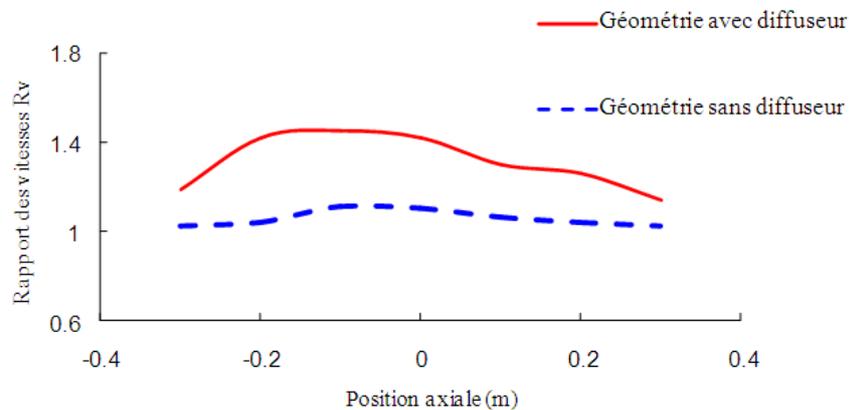


Figure 8. Variation du rapport des vitesses en fonction de la position axiale

3.4 Comparaison avec des travaux antérieurs

Dans ce paragraphe, on s'est intéressé à la comparaison de nos résultats numériques avec des travaux antérieurs tirés de la littérature. Sur la figure 9 est présentée l'évolution du rapport des vitesses moyennes suivant la composante axiale de l'écoulement. Les profils superposés correspondent aux résultats expérimentaux de Wang et al. [8] et nos résultats issus de la simulation numérique. Ces profils sont tracés pour différentes positions axiales situées en amont et en aval de l'éolienne placée dans le diffuseur. D'après cette figure, on constate que les profils ont une forme parabolique. Cette forme présente un maximum localisé au niveau de l'éolienne. Toutefois, on note une augmentation de ce rapport progressivement jusqu'à la position axiale de l'éolienne. Cependant, en s'éloignant de cette position on remarque que ce rapport diminue progressivement.

Cette constatation est justifiée par le fait que l'éolienne absorbe l'énergie cinétique transportée par le vent. La bonne concordance de nos résultats numériques avec celle tirés de la littérature prouve la validité de la méthode d'analyse.

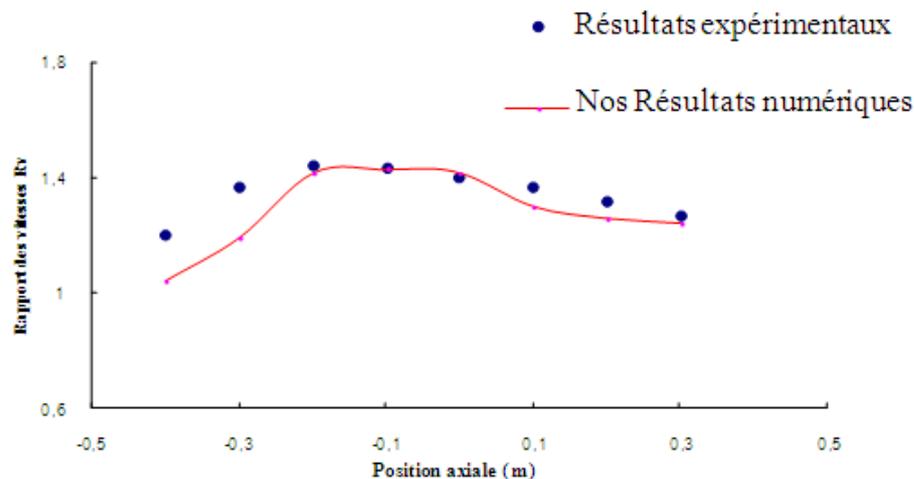


Figure 9. Variation du rapport des vitesses en fonction de la position axiale

4. CONCLUSION

Dans ce travail, une étude comparative entre deux configurations différentes est abordée. Plus particulièrement, on a étudié l'influence de l'adjonction d'un diffuseur sur la caractérisation aérodynamique des aérogénérateurs à axe horizontal type Rutland 913. Pour ces configurations, on a présenté la distribution du champ des vitesses et des pressions dans différents plans du volume de contrôle. Le but est de caractériser les conditions de fonctionnement permettant d'améliorer la puissance développée par l'éolienne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Y. Ohya, K. Abe, 2003, An investigation of flow fields around flanged diffusers using CFD, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 92, pp. 315-330.
2. K. Abe, M. Nishida, A. Sakurai, Y. Ohya, H. Kihara, E. Wada, K. Sato, 2005, Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 93, pp. 951-970.
3. T. Matsushima, S. Takagi, S. Muroyama, 2005, Characteristics of a highly efficient propeller type small wind turbine with a diffuser, *Renewable Energy*, Vol. 31, pp. 1343-1354.
4. M. Jureczko, M. Pawlak, A. Mezyk, 2005, Optimisation of wind turbine blades, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 167, pp. 463-471.
5. D.G. Phillips, R.G.J. Flay, T.A. Nash, 1999, Aerodynamic analysis and monitoring of the vortex diffuser-augmented wind turbine, *IPENZ Transaction*, Vol. 26.
6. M. Natalino, C. Francesco, C.E. Carcangiu, 2006, Numerical Prediction of Horizontal Axis Wind Turbine Flow, *University of Cagliari, Department of Mechanical Engineering*.
7. M. Michael, J. Werle, M.W. Presz, 2000, Ducted Wind/Water Turbine and Propellers Revisited, *FLODESIGN, INC. WILBRAHAM, MA.01095*.
8. F. Wang, L. Bai, J. Fletcher, J. Whiteford, D. Cullen, 2008, The methodology for aerodynamic study on a small domestic wind turbine with scoop, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, pp. 1-24.