

Effet de l'érosion par des particules de sable sur la performance des pales d'éoliennes dans les zones arides et semi-arides

Ahmida Rezig^{1,*}, Ahmed Yousfi¹, Sylvain Fréour², Frédéric Jacquemin².

¹ Mechanical Laboratory, University Amar Telidji of Laghouat, Algeria.

² GeM – Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, UMR CNRS 6183, Université de Nantes-École Centrale de Nantes, 58 rue Michel Ange, BP 420, 44606 Saint-Nazaire, France.

Résumé: Cet article présente les résultats d'une recherche expérimentale visant à étudier la dégradation de la surface des pales d'éoliennes situées dans des zones arides causée par les impacts de particules de sable et l'influence qui en résulte sur leur performance énergétique. Les essais sont effectués dans une sableuse à érosion puis dans la soufflerie pour la pale en fibre de verre / polyester non revêtue sous différents angles et durées d'impact. Les forces aérodynamiques sur les profils NACA 4412 sont déterminées expérimentalement. Tous les profils ($AR = 0,571$) sont testés dans une soufflerie à une vitesse de l'air de 10 m/s au nombre de Reynolds 6.5×10^5 . Les résultats montrent les différences de comportement détectées pour les échantillons avec $T = 160s$, $T = 240s$ et $T = 340s$ (quand Ra augmente) en les comparant avec l'échantillon lisse ($T = 0s$, $Ra = 0,94$). Les coefficients de force (CL et CD) montrent des changements significatifs qui conduisent à une diminution du rapport portance-trainée et donc une perte de performance notable.

1 Introduction

Les éoliennes situées dans des zones arides où il y a abondance de poussière sont plus sensibles à l'érosion qu'une éolienne située dans une zone où ces facteurs ne sont pas présents. Le projet d'installation d'un parc éolien dans la zone venteuse de Laghouat, dans le sud de l'Algérie, s'avérera utile dans les années à venir. C'est bien connu que le vent de sable est un phénomène météorologique commun à cette région. Le bord d'attaque d'une pale est la partie principale qui entre en contact avec l'air. Cependant, le vent transportant de grandes quantités de sables peut éroder le bord d'attaque d'une pale d'une éolienne. En conséquence, la rugosité de surface augmente et altère ainsi les performances aérodynamiques. Il est généralement, admis que le bord d'attaque constitue un défi critique pour les fabricants et les opérateurs. Wood [1] déclare que certains opérateurs ont constaté que l'érosion de bord d'attaque peut devenir un problème après seulement deux ans de fonctionnement de l'éolienne; beaucoup plus tôt que prévu. L'industrie de l'énergie

* Corresponding author: rezigah_go@yahoo.fr

éolienne a fortement tendance à attirer l'attention sur l'impact potentiellement grave de l'environnement sur les bords d'attaque des éoliennes et donc sur leur taux de production énergétique. La perte annuelle de production d'énergie peut atteindre 20% en raison de l'érosion selon les recherches les plus récentes [2]. LM Wind Power a mené une étude sur plus de 400 éoliennes afin de déterminer le degré de fiabilité du bord d'attaque de leurs aubes dans plusieurs sites. Les lames ont été soigneusement inspectées et les défauts sur les bords d'attaque ont été enregistrés. Tous les défauts sont classés en plusieurs modes de défaillance. Les modes de défaillance observés ont montré que les approches et les normes de test sont insuffisantes pour assurer une bonne protection du bord d'attaque. Une meilleure corrélation des conditions environnementales telles que l'intensité des UV, la température et les précipitations, ainsi que des conditions de fonctionnement telles que la vitesse de pointe nominale et le temps de fonctionnement de la turbine, peut donner de nouveaux protocoles d'essai efficaces [3].

1.1 Effets de la rugosité sur la performance

Outre la forme aérodynamique, la rugosité de la surface d'une pale joue un rôle essentiel dans la séparation du flux ou la transition du flux laminaire vers le flux turbulent et, par conséquent, elle a une influence significative sur les performances des éoliennes. Afin de quantifier la perte de performance due à la rugosité, plusieurs chercheurs Ferrer et Munduate [4]; Gregory et O'Reilly [5] ont effectué des expériences en soufflerie et des simulations numériques sur des pales. Les dommages aux pales peuvent être classés en deux types: les dommages mineurs, qui ne causent qu'une perte dans l'action du vent sans entraîner d'arrêt de l'éolienne, et les dommages majeurs (catastrophiques) qui arrêtent l'éolienne et ne peuvent être corrigés que par remplacement [6]. Dans ce contexte, nous effectuerons une étude de corrélation profonde des conditions environnementales (plage de température, taux d'émission de poussière et durée des vents de sable) et des conditions d'essai (temps d'impact, vitesse d'écoulement et taille des particules) sur la performance énergétique des pales d'éoliennes.

2 Procédure, matériaux et appareils

2.1 Spécimens

Le profil aérodynamique sélectionné est le NACA 4412 (Fig.1) conçu pour les sections radiales des pales d'éoliennes. Il a été choisi pour effectuer des essais expérimentaux et peut donner un rapport portance / traînée très élevé à $Re \approx 6.5 \times 10^5$. L'échantillon a une section de $175 \times 100 \text{ mm}^2$ ($AR = 0,571$). Tous les échantillons sont conçus pour avoir la même rugosité ($Ra = 0,94 \text{ }\mu\text{m}$).

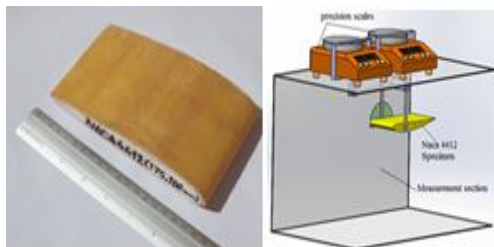


Tableau 1: Résultats de Ra expérimentale [μm].

Angle of impact	Time of exposure to sand particles impact			
	0 s	160 s	240 s	340 s
0°	0.94	4.41	8.52	13.5

Fig. 1 : Photos de l'échantillon lisse dans la vienne.

Nous avons tenu compte de divers temps d'exposition au sablage pour l'échantillon: 160 s, 240 s et 340 s. Après le sablage, il faut nettoyer les spécimens, puis prélever les poids pour déterminer la perte de masse de chaque spécimen. Ensuite, avant de tester les échantillons dans la soufflerie, il faut mesurer Ra sur le plan tangent à 0° AOA. Ces quatre formes aérodynamiques seront étudiées à $Re = 6,5 \times 10^5$ sur une plage de $-4,5^\circ < \alpha < 20^\circ$. Après chaque exposition au sablage, la valeur de la rugosité est mesurée à l'aide d'un Rugotest) (Tab.1).

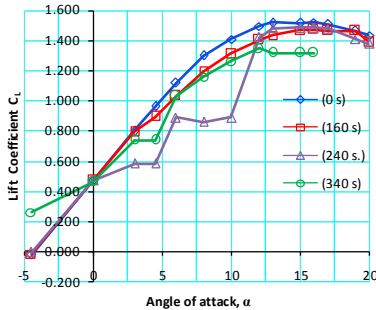


Fig.2: Effet de la durée de l'impact sur le coefficient de portance.

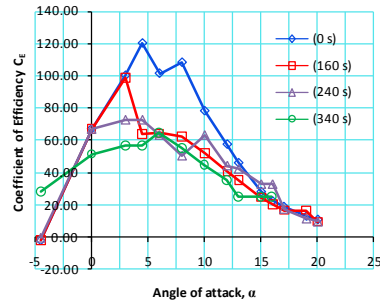


Fig.3: Comparaison des coefficients d'efficacité des profils

3 Conclusion

Des investigations expérimentales effectuées à différents angles d'impact montrent que les taux d'usure érosifs ainsi que la rugosité de surface sont étroitement liés. Le profil lisse atteint des coefficients de portance plus élevés que le profil aérodynamique ($t = 240$ s), dont les coefficients de portance sont souvent inférieurs aux autres profils érodés ($t = 160$ s et $t = 340$ s) dans la plage $0^\circ < \alpha < 12^\circ$ (voir fig.1). En comparant les profils dégradés par l'érosion du sable avec celui qui est lisse à $\alpha = 4,5^\circ$, le profil lisse a la performance la plus élevée. On peut dire que les profils érodés perdent leur performance avec un taux moyen de 45,44% (voir fig.2). Cela signifie que la production d'énergie des pales d'éoliennes diminue dans cet environnement sévère et que sa durabilité est également réduite.

Références

1. K. Wood, Blade repair: Closing the maintenance gap. Composites Technology, April, 2011.
2. 3M, [Online]. Available: www.3M.com/wind. 2012.
3. E. Ferrer, X. Munduate, CFD predictions of transition and distributed roughness over a wind turbine airfoil. In: 47th AIAA aerospace sciences meeting. January, 2009.
4. MD.Haag, Advances in leading Edge protection of wind turbine blades, conference proceeding LM Wind Power, Denmark, 4 February, 2013.
5. N. Gregory, L. O'Reilly, Low speed aerodynamic characteristics of NACA 0012 aerofoil section, including the effects of upper-surface roughness simulating hoar frost. Aeronautical Research Council reports and memoranda. London, UK 1973.
6. M. Shafiee, M. Patriksson, A. Strömberg, An Optimal Number-Dependent Preventive Maintenance Strategy for Offshore Wind Turbine Blades Considering Logistics, Advances in Operations Research Volume, 2013.