

Etudes des Performances Aérodynamiques et Energétiques d'un Rotor Eolien Hélicoïdal à l'Axe Verticale RoDaVi par Analyses Théoriques, Mesures Expérimentales en Soufflerie et Modélisation CFD

A. GAVRUS^a, M. BUISSON^b, M. NDOYE^c, F. MINIO-PALUELLO^d

- a. INSA Rennes - LGCGM (EA 3913), Université Bretagne Loire (UBL), 20 Av. des Buttes de Coësmes, 35708, Rennes, France, adinel.gavrus@insa-rennes
- b. Université Rennes 1, IPR (CNRS UMR 6251), Université Bretagne Loire (UBL), Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France, manuel.buisson@univ-rennes1.fr
- c. M2 Modélisation, Calcul Scientifique et Applications (MCSA) 2016-2017, Université Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France, ndomoussa@gmail.com
- d. AIRCRAFTED, 2 Rue Plichon, 75011 Paris, France, frminio@mac.com

Résumé

L'éolienne à l'axe verticale RoDaVi a été développée et brevetée par la start-up Aircraftfed dont le PDG et le créateur est Francesco Minio Paluello [1], ingénieur dans le domaine de l'aérodynamique. L'objectif principal de ce travail de recherche est d'étudier les performances énergétiques de l'éolienne hélicoïdale innovante RoDaVi partant des études théoriques d'écoulement avec prise en compte de l'interaction fluide-structure, voir des simulations numériques type Computational Fluid Dynamics (CFD) afin de pouvoir estimer la puissance réelle que pourrait fournir une telle éolienne. Des modèles de calcul analytiques, des analyses de similitude, des mesures expérimentales sur des maquettes à l'échelle réduites en soufflerie (Fig. 1) [2] et une technique hybride analytique-numérique [3] d'extrapolation des résultats à l'échelle réelle ont été réalisées (Fig.2-3, Tab.1-2). Dans un premier temps il est utilisé le théorème d'Euler employé en mécanique des fluides et la théorie de Betz [4-6] pour en déduire avec une géométrie simplifiée la puissance fourni d'une maquette de l'éolienne hélicoïdale RoDaVi à l'échelle 1:10 en utilisant une méthode originale d'estimation de la surface de portance de référence par rapport à la géométrie réelle du rotor RoDaVi via un modèle de similitude et une technique de calibration des coefficients de portances locales afin de pouvoir estimer la puissance à l'échelle réelle [3]. Une simulation numérique CFD avec l'option Machine Tournante est utilisée pour renforcer la calibration des coefficients de portance et de pression, voir surtout l'estimation de la puissance fourni à la fois à l'échelle de la maquette 1:10 qu'à l'échelle réelle 1:1. Des comparaisons avec les mesures expérimentales réalisées en soufflerie au Laboratoire LGCGM (EA3913) de l'INSA Rennes (France) sur la maquette 1:10 ont été utilisées afin de valider les méthodes d'études analytiques et numériques proposées [2,3]. Il est trouvé qu'une puissance électrique maximale d'environ 1.7 W pourrait être obtenue pour la maquette 1 :10 et de 1.2 KW pour le rotor à l'échelle réelle pour une vitesse du vent d'environ 30 Km/h (Tab.2). Une seconde simulation numérique avec prise en compte de l'interaction fluide structure en couplage fort est développée afin d'y tenir compte des phénomènes réels du régime d'écoulement de l'air autour du rotor solide hélicoïdal et surtout de la conséquence sur la cinématique de rotation et au niveau de la résistance

mécanique. Les perspectives d'étude cherchent à optimiser les performances énergétiques au niveau des valeurs optimales de l'ensemble de paramètres structurels (géométrie du profil, conditions aux limites) et des conditions de chargement.

Abstract :

The RoDaVi vertical axis wind turbine was developed and patented by the Aircraft start-up whose PDG and creator is Francesco Minio Paluello [1], an aerodynamics engineer. The main objective of this research is to study the energy performance of the innovative RoDaVi helicoidally wind turbine starting from the theoretical flow studies taking into account the fluid-structure interaction using Computational Fluid Dynamics (CFD) numerical simulations in order to estimate the power that such a wind turbine could provide. Analytical computation models, similarity analyses, experimental measurements on reduced scale models using a wind tunnel (Fig. 1) [2] and a hybrid analytical-numerical technique [3] to can extrapolate the results to the real scale were carried out (Fig.2-3, Tab.1-2). Firstly, Euler's theorem used in fluid mechanics and Betz theory [4-6] is taking into account to deduce, with a simplified geometry, the mechanical power supplied from a model of the RoDaVi helicoidally wind turbine at a scale of 1:10 using an original estimation method to evaluate the reference lift surface with respect to the real geometry of the RoDaVi rotor via a similarity model and a calibration technique of the local lift coefficient in order to evaluate the power at the real scale [3]. A CFD numerical simulation using Rotating Machine option is used to reinforce the calibration of the lift and pressure coefficients, especially the estimation of the power supplied at both the 1:10 scale and at the same time on the real scale 1:1. Comparisons with the experimental wind tunnel measurements at the LGCGM Laboratory (EA3913) of INSA Rennes (France) on a 1:10 reduced model were used to validate the analytical and numerical studied methods [2,3]. It is found that a maximal electric power of about 1.7 W could be obtained in the case of the 1:10 rotor model and of 1.2 KW for the full-scale rotor for a wind speed of about 30 Km/h (Tab.2). A second numerical simulation taking into account the fluid structure interaction in strong coupling is developed in order to take into account the real phenomena of the air flow regime around the helicoidally solid rotor and especially the consequence on the rotation kinematics and on the mechanical strength. The study perspectives seek to optimize the energy performance by the find of optimal values concerning the structural parameters (profile geometry, boundary conditions) and loading conditions.

Mots clefs : Eolienne à l'Axe Verticale RoDaVi, Surface de Référence, Analyse de Similitude, Calibration Coefficients de Portance et Pression, CFD, Machine Tournante, Interaction Fluide-Structure

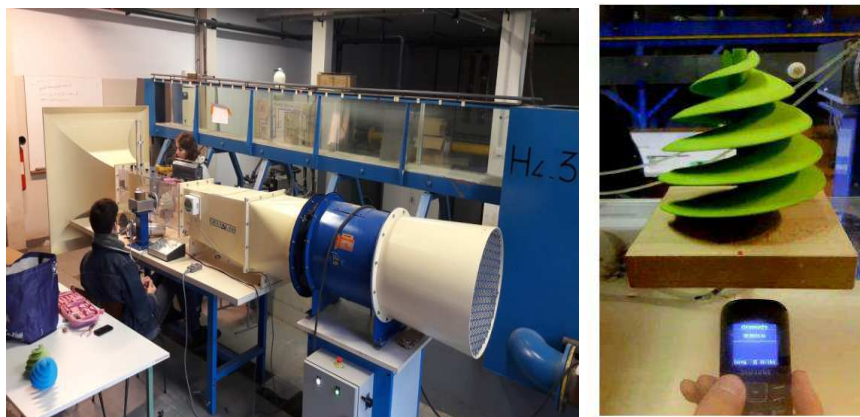


Fig.1. Mesures expérimentales en Soufflerie (INSA Rennes) de la vitesse de rotation ω de l'éolienne sur maquette RoDaVi 1:10 en fonction de différentes vitesses de l'air [2]

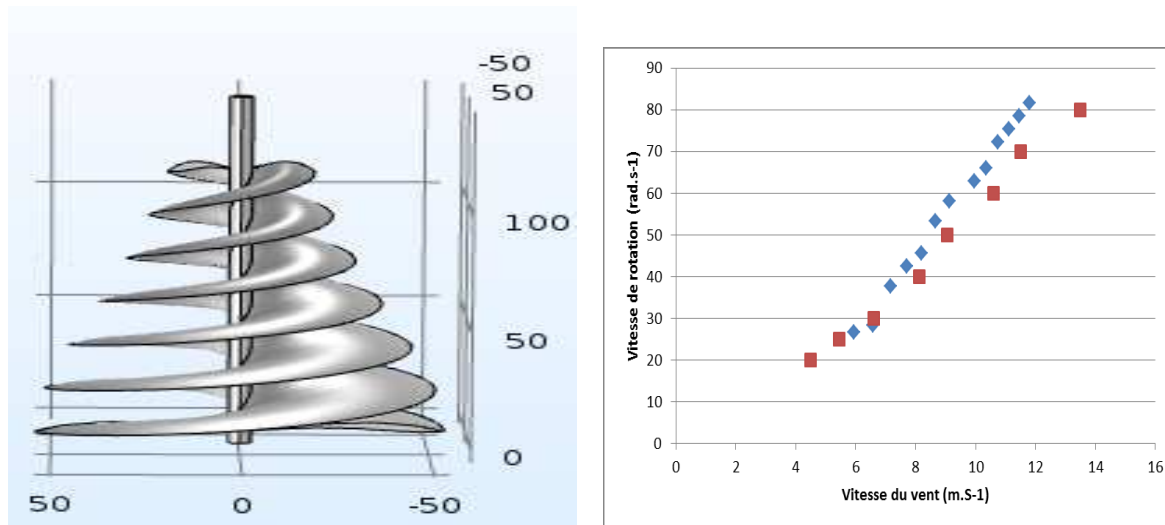


Fig.2. Comparaison des vitesses de rotation du rotor RoDaVi maquette 1:10 avec un profil type GM15 en fonction de différentes vitesses de l'air (vitesse du vent) obtenues en soufflerie INSA Rennes (couleur bleu) et par modélisation numérique CFD (couleur rouge) [1-3]

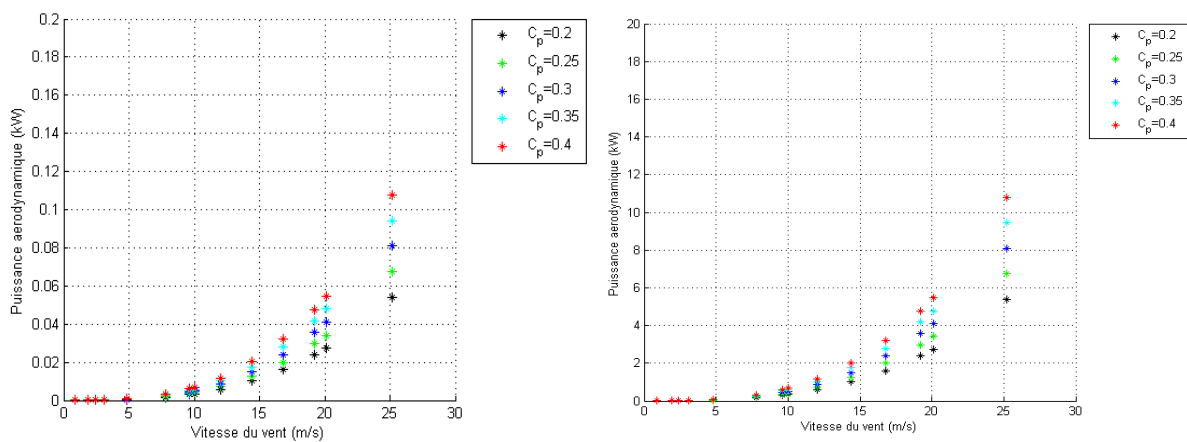


Fig.3. Variation de la puissance aérodynamique P en fonction de la puissance du vent fonction de la vitesse v (rotor hélicoïdal RoDaVi Maquette 1:10 et Echelle Réelle 1:1) en utilisant un modèle de calcul par similitude d'échelle géométrique et cinématique en utilisant la notion d'énergie spécifique surfacique du vent avec prise en compte d'une surface latérale équivalente conique S ($P_{aerodynamique} = C_p \cdot P_{vent} = C_p \cdot \frac{\rho S v^3}{2}$ avec facteur de similitude géométrique égale à 10 et $C_p(\beta, \lambda) \leq 16/27$ – coefficient de rendement de Betz [4-6] exprimé en fonction de l'angle d'orientation de la pale de l'éolienne β et du ratio λ entre la vitesse tangentielle du rotor et la vitesse du vent ; $P_{réelle 1 : 1} / P_{maquette 1 : 10} = 100$) [3]

Tab. 1 : Tableau comparatif des valeurs de puissances mécaniques P et électriques P_E ($\eta_m = 0.593$ – rendement maximal de conversion) obtenues par simulation CFD option « Machine Tournante » et par le modèle de calcul analytique proposé (maquette RoDaVi échelle 1:10) avec Puissance Electrique moyenne d'environ 1.7 W pour une vitesse du vent de 30 km/h [3]

ω (rad/s)	4	8	10	13	20	30	40	50	60	70	80	84	105	130
Vitesse du vent (m/s)	0.9	1.9	2.4	3.1	4.8	7.8	9.6	12	14.4	16.8	19.2	20.1	25.2	31
C_CFD (N.m)	0.003	0.008	0.012	0.02	0.04	0.09	0.15	0.2	0.30	0.39	0.48	0.52	0.74	1.01
P_A_cône (W)	0.004	0.034	0.069	0.02	0.55	2.37	4.42	8.7	14.9	23.7	35.4	40.7	80.1	149
P_CFD (W)	0.010	0.066	0.124	0.2	0.88	2.73	6.03	11.	17.9	27.02	38.4	43.6	77.3	131
P_E (W) = $\eta_m * P_{CFD}$	0.006	0.039	0.074	0.12	0.52	1.62	3.58	6.52	10.6	16.02	22.8	25.9	45.8	77.7

Tab. 2 : Tableau comparatif des valeurs de puissances mécaniques P et électriques P_E (avec $\eta_m = 0.593$ – rendement maximal de conversion basé sur la limite supérieure de Betz) obtenues par simulation CFD option « Machine Tournante » et par le modèle de calcul analytique proposé (rotor RoDaVi échelle réelle 1:1) avec Puissance Electrique moyenne d'environ 1.2 KW pour une vitesse du vent de 30 km/h [3]

ω (rad/s)	0.4	0.8	1	1.3	2	3	4	5	6	7	8	8.4	10.5	13
Vitesse du vent (m/s)	0.9	1.9	2.4	3.1	4.8	7.8	9.6	12	14.4	16.8	19.2	20.1	25.2	31
C_CFD (N.m)	5.5	20.4	31.8	56.2	172	424	768	1212	1756	2401	3149	3477	5470	8423
P_A_cône (KW)	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	0.07	0.02	0.06	0.24	0.44	0.87	1.495	2.374	3.543	4.07	8.01	14.9
P_CFD (kW)	0.03	0.09	0.14	0.25	0.77	1.90	3.46	5.45	7.9	10.8	14.17	15.6	24.6	37.9
P_E(KW) = $\eta_m * P_{CFD}$	0.02	0.06	0.08	0.15	0.46	1.13	2.05	3.23	4.7	6.4	8.4	9.25	14.6	22.5

Références

- [1] F. Minio-Paluello, Rotor Eolien Hélicoïdal à Profil Aérodynamique (Helicoïdal Wind-Power Rotor With Aerodynamic Profile), Brevet International, WO 2019/034225 A1, Dépôt 13 août 2017, Publication 21 février 2019
- [2] P. Baron, M. Lemaitre, J. Mosset, Conception et optimisation d'une éolienne innovante, Rapport de Projet Industriel 5^{ème} année GMA 2016-2017, INSA Rennes, Co-encadrement : A. Gavrus (INSA Rennes) et M. Buisson (Univ. Rennes 1), 2017
- [3] M. Ndoye, Analyse Théorique, Etude Numérique CFD et Validation Expérimentale en vue d'Optimisation des Performances Aérodynamiques et Energétiques d'un Rotor Eolien Innovant RoDaVi, Rapport Master 2R Modélisation, Calcul Scientifique et Applications, Responsable Stage : A. Gavrus (Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique LGCGM - EA3913) et Co-Encadrant : M. Buisson (Institut Physique de Rennes IPR - CNRS UMR 6251), France, 2017
- [4] L. Beaudet, Etude expérimentale et numérique du décrochage dynamique sur une éolienne à axe vertical de forte solidité, Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2014
- [5] N. Badea, Wind Energy, University Foundation Edition of Univ. UDJG "Dunarea de Jos", Galati, Romania, 2015
- [6] A. Betz, Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1926