

Effet de pression sur la force appliquée sur un aéro-turbine

[Pressure effect on the force applied to Aero-Turbine]

Mohamed MOHAMED LEMINE¹⁻², Larbi EL BAKKALI¹, and Abdel Kader Mahmoud²

¹Laboratoire de Modélisation et Simulation des Systèmes Mécaniques, FS-Tétouan, UAE, B.P: 2121, M'Hannah, 93000, Tétouan, Maroc

²Laboratoire de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables (LRAER), FST, USTM-Mauritanie, B.P: 880, Nouakchott, Mauritanie

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In this paper, we present a modeling study that combines some mathematical models in order to discover the effect of the environment pressure studied on the force on the wind rotor. Indeed, there are other parameters affecting the aerodynamic force which the wind speed, temperature and the radius of the blade. This study allows us to analyze and evaluate the influence of the pressure of the atmosphere by fixing the other parameters. This article presents the results following our numerical simulation work.

KEYWORDS: wind turbine; aerodynamic force; pressure; modeling; the air density; environmental change.

RÉSUMÉ: Dans ce document, nous présentons une étude de modélisation à travers Matlab. La modélisation fait intervenir les modèles mathématiques déterminants pour faire ressortir l'effet de la pression dans le milieu étudié sur la force appliquée aux pales de l'aérogénérateur. En effet, il existe d'autres paramètres affectant la force aérodynamique dont la vitesse du vent, température et le rayon de la pale. Ainsi, cette étude nous a permis d'analyser et d'évaluer l'influence de la pression de l'atmosphère en fixant les autres paramètres. En fin, dans ce papier nous présentons les résultats qui ont été trouvés suite à par simulation numérique à travers Matlab.

MOTS-CLEFS: aérogénérateur; force aérodynamique; pression; modélisation; densité de l'air; changement environnemental.

1 INTRODUCTION

Actuellement les énergies renouvelables trouvent leur place, de plus en plus en Afrique. Elles sont des sources inépuisables, durables et non polluantes sur notre continent. Pour générer plus de puissance et répondre aux besoins énergétiques actuels et futurs [1,2], les décideurs de nos pays ont entrepris des politiques énergétiques pour intégrer les énergies renouvelables dans la mixte énergétique en Afrique.

Les énergies renouvelables sont produites via plusieurs sources selon leurs catégories. Parmi les différentes sources de production énergétique on s'intéresse plus en Afrique du Nord à l'énergie éolienne.

Ainsi, il est important de noter les régimes des vents qui sévissent sur la cote de l'Atlantique Nord de l'Afrique. Cette zone est régie par trois centres d'action de vent :

- l'anticyclone des Açores, centré au sud-ouest de l'archipel des Açores ; l'alizé maritime issu de cet anticyclone souffle de manière permanente sur le littoral marocain, mauritanien et sénégalais. Il est de direction nord, nord-ouest ;

- l'anticyclone de Sainte Hélène ou mousson : centré sur l'Atlantique sud, il souffle de direction sud ou sud-ouest. Il est le responsable des pluies estivales ;
- les zones anticycloniques qui s'installent sur le Sahara en hiver et migrent vers le nord ont donné naissance à une dépression saharienne ;
- L'Harmattan, issu de ces zones anticycloniques, est frais et sec pendant l'hiver et chaud et sec pendant l'été.

Actuellement, une meilleure connaissance de cette zone, en termes de potentiel éolien existe, puisque de nombreuses études (Maroc Mauritanie Sénégal) expérimentales et théoriques ont confirmées au cours des dernières années que les alizés qui soufflent le long de la côte atlantique sont parmi les vents les plus productifs qui sont disponibles sur Terre [3].

Les chercheurs sont invités à découvrir les meilleurs outils pour améliorer le rendement de l'énergie du vent dans le but de profiter le maximum possible de cette énergie. Dans ce contexte, des systèmes de mesures ont été installés en Mauritanie [4] pour avoir le potentielle de l'énergie du vent. D'autres chercheurs [5] ont proposé l'utilisation de cette énergie comme source de production d'électricité pour les bâtiments, sans, oublier d'autres solutions qui verront le jour dans l'avenir proche.

C'est pourquoi, nous proposons cette contribution d'une étude théorique qui combine deux méthodes : loi des gaz parfait et la théorie de Betz. La première approche permet de modéliser l'impact de la pression sur la densité de l'air sec et la deuxième donne l'équation de la force aérodynamique [6,7,8]. L'association de ces deux approches nous a permis d'évaluer et d'analyser l'influence de la pression sur la force aérodynamique. Pour mieux analyser cet impact, nous avons simulé ces approches analytiques.

2 MODÉLISATION

La masse volumique de l'air est variable en fonction de plusieurs paramètres dont la pression atmosphérique et la température ambiante de l'air [9,10,11,12]. Pour déterminer la valeur exacte de la masse volumique de l'air, il faut prendre tous ces paramètres en considération, car ils affectent le résultat final. Ainsi, la masse volumique de l'air est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{air-sec} = \frac{P_{re} * M}{R * T} \quad (1)$$

Principe de variation de quantité de mouvement (de l'air du vent entre l'amont et l'aval de l'hélice) permet d'écrire les relations de la force s'exerçant sur la pale [13]:

$$F_x = 2(1-a)\rho S V_1^2 \quad (2)$$

Pour simuler l'impact de la pression sur la force aérodynamique, on crée le modèle ci-dessous qui est issu de l'intégration du premier modèle dans celui du second :

$$F_{aé} = 2(1-a)\left(\frac{P_{re} M}{R_s T}\right) S V_1^2 \quad (3)$$

3 SIMULATION

Pour notre travail de simulation, nous avons analysé, la force appliquée sur la turbine. Il ressort de cette force qu'elle peut être affectée par la variation de pression avec le changement d'autres paramètres. Ainsi, Pour arriver à notre objectif, nous avons introduit dans notre travail, les hypothèses suivantes, en tenant compte des vitesses du vent existantes (entre 4,3 m/s, minimum et 9 m/s, maximum) dans la zone du littoral de Nouakchott et des types d'aérogénérateurs, nous pouvons citer les exemples de Bornay (1500 et 3000), pour certaines valeurs qui sont utilisés dans cette zone, dans les localités isolés:

- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 4.3 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur R = 2m ; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une pression P = [101025;101425]. (Figure 1)
- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 9 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur R = 2m ; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une pression P = [101025;101425]. (Figure 2)

Dans les deux premières hypothèses on a fixé le rayon et on fait varier la valeur de la vitesse du vent.

- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 4.3 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur $R = 16\text{ m}$; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une pression $P = [101025;101425]$. (Figure 3)
- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 9 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur $R = 16\text{ m}$; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une pression $P = [101025;101425]$. (Figure 4)

Dans les deux hypothèses ci-dessus on a varié la valeur de la vitesse du vent et on a fixé la valeur de la longueur de la pale (rayon).

3.1 FORCE AXIALE EN FONCTION DU FACTEUR D'INTERFÉRENCE AVEC $V = 4,3\text{m/s}$; $R = 2\text{M}$ ET $P = [101025;101425]$

La variation de la pression a provoqué un faible changement sur la force qui est due au mouvement du vent. Les différentes variations des courbes de la force aérodynamique sont obtenues en fonction du facteur d'interférence. On note que ces courbes varient selon une fonction exponentielle. La nouvelle expression simulée suit la loi donnée par l'équation (3), elle est proportionnelle suivant l'augmentation de la pression. Il est à signaler que les amplitudes de la force ont pris les valeurs dans l'intervalle [0-120].

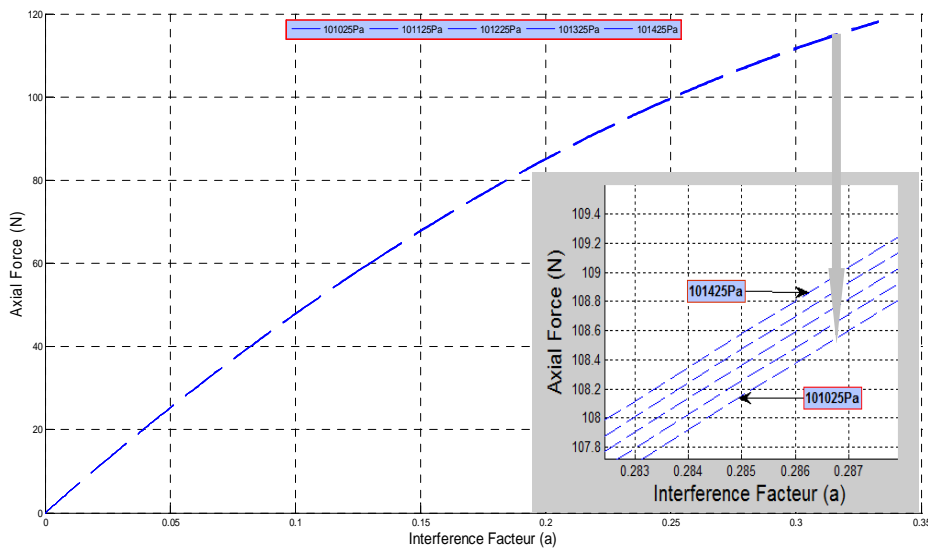


Fig. 1. Force Axiale en fonction du facteur d'interférence avec $V = 4,3\text{m/s}$; $R = 2\text{m}$ et $P = [101025;101425]$

3.2 FORCE AXIALE EN FONCTION DU FACTEUR D'INTERFERENCE AVEC $V = 9\text{m/s}$; $R = 2\text{M}$ ET $P = [101025;101425]$

Dans un second temps, nous avons réalisé la simulation à travers une nouvelle valeur de la vitesse du vent plus grande que celle donnée précédemment. Après avoir changé la valeur de la vitesse du vent accompagnée par une variation de la pression atmosphérique. Nous avons remarqué que la force axiale a connu un faible changement suivant un processus croissant en fonction du facteur d'interférence. D'après la figure 2 on peut remarquer que suivant la valeur de la pression, les extrémités maximales de la force varient d'une manière négligeable, sachant que les résultats trouvés sont obtenus avec une valeur maximale du facteur d'interférence $a = 0,333$.

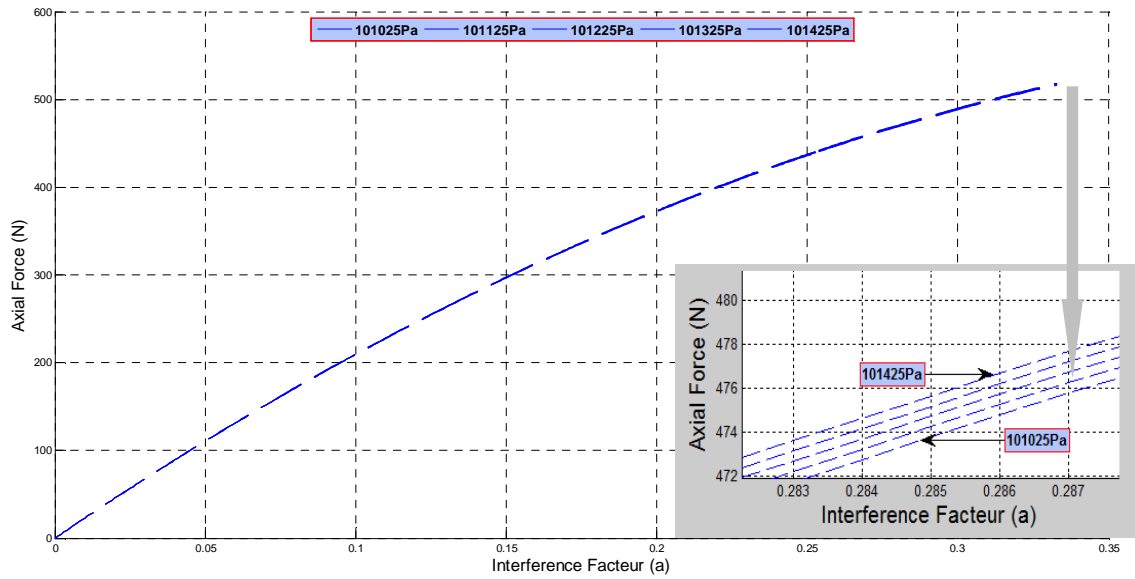


Fig. 2. Force Axiale en fonction du facteur d'interférence avec $V = 9\text{m/s}$; $R = 2\text{m}$ et $P = [101025;101425]$

3.3 FORCE AXIALE EN FONCTION DU FACTEUR D'INTERFERENCE AVEC $V = 4,3\text{m/s}$; $R = 16\text{M}$ ET $P = [101025;101425]$

Dans la figure ci dessous, on présente l'impact de la pression sur la force appliquée à l'aérogénérateur. Cet impact est caractérisé par une longueur de pale de $R = 16\text{m}$ et un milieu qui a un profil du vent d'une vitesse $v = 4.3\text{ m/s}$ et une pression variante.

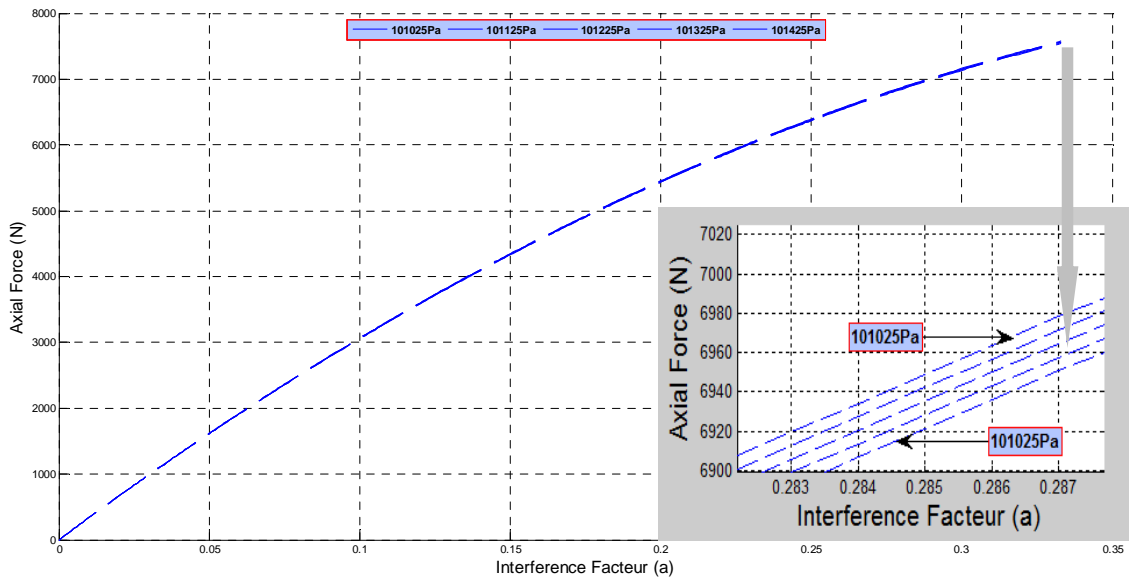


Fig. 3. Force Axiale en fonction du facteur d'interférence avec $V = 4,3\text{m/s}$; $R = 16\text{m}$ et $P = [101025;101425]$

3.4 FORCE AXIALE EN FONCTION DU FACTEUR D'INTERFERENCE AVEC $V = 9\text{m/s}$; $R = 16\text{M}$ ET $P = [101025;101425]$

En changeant la valeur de la vitesse du vent pour prendre une valeur différente de celle donnée dans la précédente simulation, et en donnant une nouvelle valeur au rayon de l'aérogénérateur $R = 16\text{ m}$, on veut découvrir le rôle joué par la pression sur la force agissant sur la pale en fonction du facteur d'interférence «a».

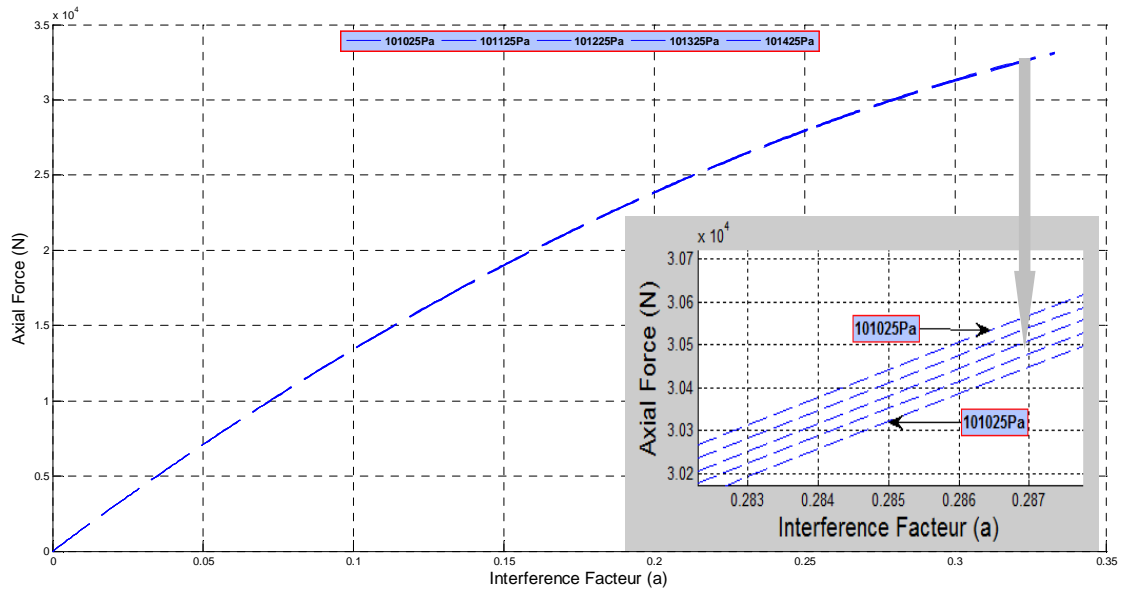


Fig. 4. Force Axiale en fonction du facteur d'interférence avec $V = 9\text{m/s}$; $R = 16\text{m}$ et $P = [101025;101425]$

4 DISCUSSION

Suivant notre étude de synthèse sur les résultats trouvés ci-dessus, nous avons constaté que les paramètres qui affectent la force aérodynamique exercé sur l'éolien sont divers. D'après nos résultats on peut dire que la variation de la pression du milieu d'installation a un effet minimum sur l'évolution de la force appliqué sur l'aérogénérateur, suivant la variation de la vitesse du vent et le rayon de l'aérogénérateur.

L'analyse des figures (1-4) résultantes de notre travail de simulation montre que les extrémités maximales des courbes représentatives de la force changent de manière faible, ce qui n'est visible qu'après l'agrandissement, du schéma graphique, mais elles sont semblables en termes de forme de représentation. On peut dire que nos travaux de simulation ont donné des résultats proches avec ceux qui ont été trouvés à travers, les équations mathématiques de (1) et de (3). Ces équations mathématiques ont été présentées dans la partie de « Modélisation ».

L'installation de l'aéromoteur dans un milieu de pression très élevée permet d'augmenter la force exercée sur celui ci. Cette variation peut l'affecter de plus en plus, si l'on change les deux paramètres (la vitesse du vent qui souffle dans le milieu étudié et le rayon de l'hélice). La pression de l'atmosphère où est implanté l'aérogénérateur, représente un simple facteur, dans les changements que peut subir la force axiale.

Dans ce document, on a cherché à prouver que :

- la pression de l'environnement d'implantation a un effet minimum sur la force aérodynamique et agit suivant la loi physique qui régit la masse volumique de l'air.
- la force appliquée sur la pale est influencée par la variation de la pression avec un changement de la vitesse du vent soufflant dans le site d'installation (voir les figures 1 et 2),
- la variation de la pression accompagnée par un changement de la longueur du rotor influence sur la force appliquée de la turbine (voir les figures 3 et 4)

Dans ce papier, nous avons montré que la pression a un effet faible sur la force aérodynamique en fonction du facteur d'interférence en prenant en compte les autres paramètres, dont la vitesse du vent dans le milieu d'implantation et le rayon de l'hélice.

5 CONCLUSION

Dans notre étude on s'est basé sur l'utilisation des modèles mathématiques qui définissent l'effet de certains paramètres sur le changement de la force appliquée sur la pale aéro-turbin. Notre travail de simulation des modèles mathématiques

nous a conduits dans l'analyse de l'impact de la variation de la pression atmosphérique accompagnée par un changement de la vitesse du vent du milieu d'installation de l'aérogénérateur, le rayon de l'hélice et en considérant les autres paramètres fixes.

Ainsi, on peut en déduire les résultats ci-dessous :

- La pression atmosphérique du milieu d'implantation a un effet minimum sur la force aérodynamique.
- D'après les deux figures 1 et 2, on peut dire que la variation de la pression avec un changement de la vitesse du vent ont une influence sur la force appliquée sur la pale.
- Si on varie la pression de l'air et on change le rayon de la pale on trouve que ces modifications ont un effet sur la force aérodynamique (voir les figures 3 et 4)

Les résultats trouvés dans les figures (1), (2), (3) et (4) sont conformes avec ceux trouvés par les équations mathématiques (1) et (3) présentées dans la partie de « Modélisation ».

Les simulations réalisées viennent dans le cadre de notre contribution sur le développement de l'influence de la pression sur la force aérodynamique appliquée sur la turbine. Afin de trouver des résultats qui couvrent le maximum possible de situations, on a tenu compte des différentes valeurs de la vitesse du vent possible sur notre site de Nouakchott et la longueur des pales des machines qui sont expérimentées dans cette zone. Les courbes trouvées suite à notre travail de simulation prennent à leurs extrémités la même valeur maximale du facteur d'interférence.

En conclusion, on peut dire que l'effet de la pression atmosphérique sur la force appliquée sur la pale de l'aérogénérateur est faible par rapport aux autres.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Larbi EL BAKKALI et Abdel Kader MAHMOUD respectivement, responsable du Laboratoire de Modélisation et Simulation des Systèmes Mécaniques, FS-Tétouan, UAE et responsable du Laboratoire de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables, FST, USTM. Un grand merci à tous les membres de ces deux laboratoires pour leurs collaborations actives pour le rayonnement de la recherche au sein de nos deux pays.

REFERENCES

- [1] Z. A. Adnan, « AFRICA 2030 : ROAMAP FOR A RENEWABLE ENERGY FUTURE », International Renewable Energy Agency.
- [2] T. F. Ishugah, Y. Li, R. Z. Wang, et J. K. Kiplagat, « Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: A review », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, p. 613-626, sept. 2014.
- [3] B. Khalid, « Sahara Wind-Hydrogen Development Project Morocco and Mauritania », Sahara Wind Inc, Durée: 4-5 ans 2007.bb
- [4] S. M. Mustapha, « Sfp982620 Wind Monitoring platform in Mauritania », Université de Nouakchott, Mauritanie.
- [5] S.-Y. Liu et Y.-F. Ho, « Wind energy applications for Taiwan buildings: What are the challenges and strategies for small wind energy systems exploitation? », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, p. 39-55, juin 2016.
- [6] B. Sanderse, « Aerodynamics of wind turbine wakes », *Energy Res. Cent. Neth. ECN ECN-E-09-016 Petten Neth. Tech Rep*, vol. 5, n° 15, p. 153, 2009.
- [7] M. MOHAMED LEMINE, L. EL BAKKALI, et A. K. Mahmoud, « Modeling and Simulation of the Energy Conversion System of a Wind Turbine », *Int. J. Mech. Mechatron. Eng. IJMME - IJENS*, vol. 16, n° 2, p. 1-9, avr. 2016.
- [8] M. O. L. Hansen, *Aerodynamics of wind turbines*, Reprinted. London: Earthscan, 2010.
- [9] A. Thomas et S. Lennart, « Wind energy technology and current status: a review », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 4, n° 4, p. 315-374, 2000.
- [10] C. Marimuthu et V. Kirubakaran, « A CRITICAL REVIEW OF FACTORS AFFECTING WIND TURBINE AND SOLAR CELL SYSTEM POWER PRODUCTION », *Int J Adv Engg Res Stud.-March*, vol. 143, p. 147, 2014.
- [11] A. A. Koukpedji, B. B. Kounouhewa, E. Agoua, A. Houekpoheha, et J. C. Orou, « Influence de la température, de la pression et de l'humidité relative de l'air sur le potentiel éolien dans la zone côtière du Bénin dans le Golfe de Guinée », *Rev. Energ. Renouvelables*, vol. 18, n° 2, p. 217-226, 2015.
- [12] S. M. El Moustapha, M. L. Ndiaye, P. A. Ndiaye, A. K. O. Mahmoud, et I. Youm, « Influence des paramètres météorologiques sur la production d'un aérogénérateur: Application sur le littoral Sahélien », *Rev. Energ. Renouvelables*, vol. 17, n° 1, p. 43-54, 2014.
- [13] M. Mohamed LEMINE, L. EL BAKKALI, et A. K. Mahmoud, « Modélisation et Simulation du système de conversion énergétique d'un aérogénérateur », présenté à <http://cpi2015.sciencesconf.org/>, 2015.