

EFFETS DE L'ANGLE DE CALAGE DES PALES D'UNE PETITE EOLIENNE SUR SA PUISSANCE ELECTRIQUE GENEREE.

I. BOUMRAR

Laboratoire d'Energétique Mécanique et Matériaux- LEMM, Université Mouloud Mammeri-Tizi-Ouzou, Algérie.

E-mail: boumrari@hotmail.fr,

RÉSUMÉ

L'étude des potentialités énergétiques éoliennes a montré que les zones limitrophes des autoroutes, où circulent beaucoup de véhicules de poids lourd et autres sont les plus ventées. Au passage de ces véhicules, circulant relativement à grande vitesse, un mouvement de l'air est généré. Ainsi on peut dire que cette région reste l'endroit le mieux approprié pour implanter un petit système éolien rentable et performant pour l'alimentation de panneaux publicitaires dans cet espace.

Le but du présent travail est de montrer l'effet de l'angle de calage des pales de la petite éolienne sur la puissance électrique générée ainsi que l'évaluation de cette production électrique dans une zone autoroutière dominée par la circulation des véhicules de poids lourd à vive allure générateurs de mouvement de l'air ; ce dernier crée un vent de vitesse relativement importante dans une certaine direction bien définie. La connaissance des champs du vent est cruciale pour la conception et la mise en œuvre de la petite machine éolienne, pour produire de l'électricité suffisamment importante à l'alimentation d'une petite batterie destinée à son tour à l'alimentation d'un panneau publicitaire.

Mots clés : *Potentiel énergétique, Eolien autoroutier, Génératrice, Banc d'essai éolien, Eolienne à axe horizontale, Inclinaison des pales éoliennes.*

NOMENCLATURE

Symboles :

C_D : coefficient de traînée,

D ; traînée, N

d : diamètre du rotor, cm

e : Epaisseur de la pale, cm

$\frac{e}{l_0}$: Epaisseur relative de la pale (%),

f/l_0 : Cambrure relatif de la pale,

g : Accélération de gravité, $m.s^{-2}$

l_0 : AB : Corde de la pale, cm

P : puissance électrique générée, W

I : intensité électrique, A

U : tension électrique, V

V_0 : vitesse du vent, m/s

Lettres grecques :

α : angle de calage, ($^\circ$)

ρ_h : Masse volumique de l'huile, $kg.m^{-3}$

ρ : Masse volumique de l'air, $kg.m^{-3}$

Δh : dénivellation des hauteurs d'huile lue sur le multi-manomètre, mm

1. INTRODUCTION

L'humanité est confrontée à un double défi: La demande mondiale d'énergie qui doit être respectée, et la prévention des changements climatiques, avant qu'elle ne devienne incontrôlable. La plupart des scientifiques conviennent maintenant que l'origine anthropique du changement climatique mondial constitue une menace très grave pour la société et les écosystèmes terrestres. La promotion des Energies Renouvelables en Algérie sera réalisée grâce au programme national ambitieux qui s'inscrit dans les projections d'aménagement du territoire à l'horizon 2030. Il cible les populations des sites enclavés, hors réseau conventionnel, pour une équité énergétique nationale prônée avec force, et pour bénéficier également

des avantages indéniables de l'énergie électrique et calorifique à partir des sources d'énergies renouvelables localement disponibles et aisément mobilisables avec les techniques et les technologies mûres actuelles. L'énergie renouvelable est la clé de la prospérité future, pour un environnement mondial sain. Elle est considérée comme un moyen prometteur pour résoudre les problèmes de la pollution de l'environnement tels que les grands accidents écologiques, la pollution des eaux, la pollution maritime, le rayonnement et la radioactivité [1].

Au rythme actuel d'utilisation, en tenant compte de l'accroissement de la population et de la consommation d'énergie dans les pays en développement, les ressources pétrolières, de gaz naturel et d'uranium seront épuisées dans quelques décennies [2]. Ces dernières années, l'énergie éolienne a connu un essor considérable grâce aux améliorations technologiques et l'exigence croissante de la production d'énergie par les sources renouvelables [3].

A.K. Wright et D.H. Wood [4] ont confirmé qu'afin d'extraire le maximum de puissance possible, il est important que les pales d'une petite éolienne commencent à tourner à la plus basse vitesse de vent possible. L'éolienne à trois pales et à axe horizontal de diamètre 2 m a été étudiée dans les conditions d'essai réel, les résultats sont comparés aux calculs utilisant une analyse quasi-stationnaire d'élément de pale. Les valeurs des vitesses de vent auxquelles le rotor de la turbine démarre et cesse de tourner ont été déterminés. Les calculs suggèrent que la majeure partie du couple de démarrage est produite près du moyeu, tandis que la plupart de couples producteurs de puissance vient de la région de bout. La signification de ces résultats pour la conception d'une pale est discutée.

Un système de très petite éolienne a été développé pour de multi-objectifs par Hiroyuki Hirahara *and al* [5], sa réalisation a été rapportée dans cet article. Le diamètre du rotor de la turbine est de 500 millimètres. Les essais du rendement énergétique, de la vitesse de rotor, du coefficient de puissance et du couple de la turbine ont été effectués pour une large plage de vitesse libre. L'écoulement autour de l'éolienne et l'influence de la turbulence ont été étudiés avec la méthode PIV. Le coefficient de puissance expérimentalement obtenu était au maximum de 0.40 et 0.36 évalué en condition courante, respectivement. Rivalisant avec les autres turbines commerciales, elle est excellente à une vitesse lente de turbine. La vitesse d'approche de l'écoulement passant au bout de pale a été obtenue et le vortex de bout de pale a été également clairement visualisé.

Dans ce travail on présente l'estimation de la production électrique d'un système éolien dans la zone limitrophe d'une autoroute ou beaucoup de véhicules circulent à vive allure et crée un mouvement d'air qui peut être assimilé à du vent d'une vitesse considérable récupérable par une petite éolienne pour la recharge d'une batterie alimentant un panneau publicitaire placé à proximité de cette autoroute rapide.

2. METHODE EXPERIMENTALE

2.1. Réalisation du banc d'essai et matériel requis

Pour la réalisation de notre banc d'essai nous avons fabriqué une éolienne de diamètre assez faible pour pouvoir l'introduire dans la veine d'essai de la soufflerie sachant que celle-ci dispose d'une hauteur et une largeur de 300×300 mm.

Cette éolienne est liée à la balance aérodynamique avec une tige métallique, des moyens de mesure sont introduits pour compléter le banc d'essai : un indicateur de contraintes, une chaîne d'acquisition de données insérée dans le port arrière d'un Micro-ordinateur, une résistance variable, un ampèremètre et un voltmètre et des fils de connexion conducteurs d'électricité.

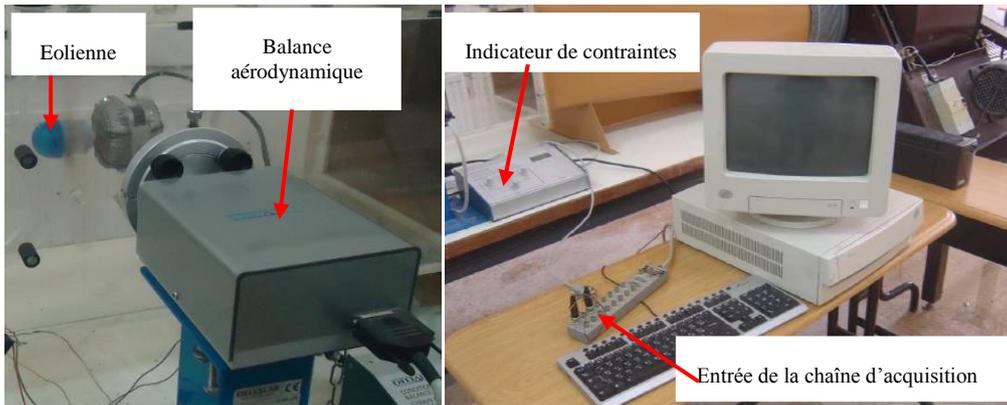


FIGURE 1. Matériel requis pour le banc d'essai éolien.

2.2. Caractéristiques géométriques des pales

Notre éolienne est composée de trois pales, une génératrice, une tige de 12mm de diamètre pour fixer l'éolienne à la balance aérodynamique, l'angle de calage des pales est variable.



FIGURE 2. Pale utilisée (en bois).

$e = 0.6 \text{ cm}$, $AB = 2.8 \text{ cm}$, $\frac{e}{AB} = \frac{0.6}{2.8} = 0.21$, 21% un profil épais, $f/AB = 0$ profil symétrique, $d = 27 \text{ cm}$, Incidence des pales (angle de calage) est variable de ($\alpha = 10^\circ$, puis 20° , 40° , 50° , 60° jusqu'à 70°).

2.3. Caractéristiques de la génératrice et du circuit électrique

Notre éolienne utilise un moteur monophasé à aimant permanent d'une puissance de 33W, la puissance maximale délivrée lorsque la dynamo tourne à la vitesse nominale. Un circuit électronique de pont de diode qui permet de redresser le courant pour obtenir un courant continu facile à mesurer.

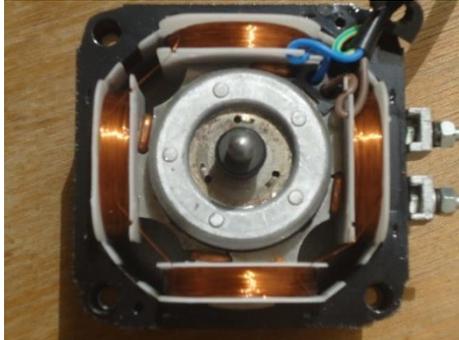


FIGURE 3. Génératrice utilisée.

Le montage consiste à dissiper l'énergie produite dans une résistance variable (de 0 à 12000 Ω), tout en mesurant la tension par un voltmètre placé en parallèle et l'intensité du courant par un ampèremètre placé en série dans le circuit ci-dessous. L'énergie électrique débitée par l'éolienne est calculée à partir de la relation suivante :

$$P = U \cdot I \quad (1)$$

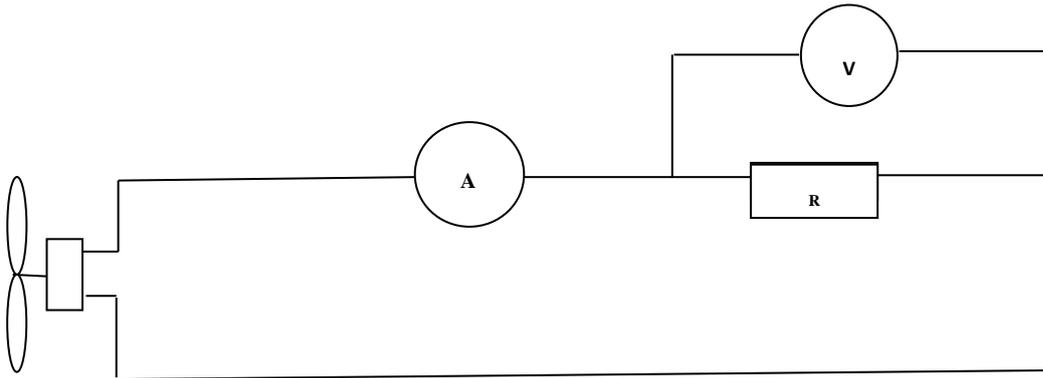


FIGURE 4. Circuit électrique du banc d'essai.

Quatre diodes sont montées en pont qui redresse le courant alternatif en courant continu, c'est-à-dire ne circulant que dans un seul sens.

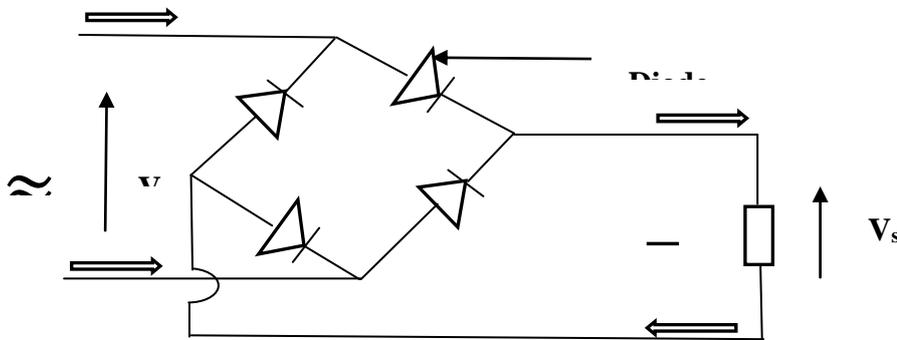


FIGURE 5. Schéma d'un pont de diodes.

3. RESULTATS

3.1. Résistance optimale

Un tube de Pitot relié à un multi-manomètre nous permet de mesurer la vitesse du vent en lisant la différence des hauteurs d'huile sur deux colonnes du manomètre cette vitesse est calculée avec la relation suivante :

$$V_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_h \cdot g \cdot \Delta h}{\rho}} \tag{2}$$

$\rho_h = 825.418 \text{ Kg/m}^3$, $\rho = 1.225 \text{ Kg/m}^3$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, Δh : dénivellation de hauteur d'huile lue sur le multi-manomètre, elle est définie pour chaque vitesse : $V_1 = 10.5 \text{ m/s}$, $V_2 = 14 \text{ m/s}$, $V_3 = 17.4 \text{ m/s}$ et $V_4 = 20.3 \text{ m/s}$.

Pour chercher la résistance optimale qui nous fournisse la puissance maximale, la vitesse du vent est fixée à $V = V_4$ et l'angle de calage à $\alpha = 40^\circ$ et on trouve $R = 1500 \Omega$. Les résultats trouvés sont représentés ci-après:

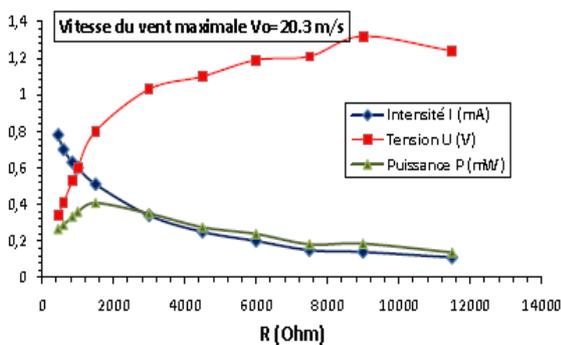


FIGURE 6. Intensité, tension et puissance en fonction de la résistance.

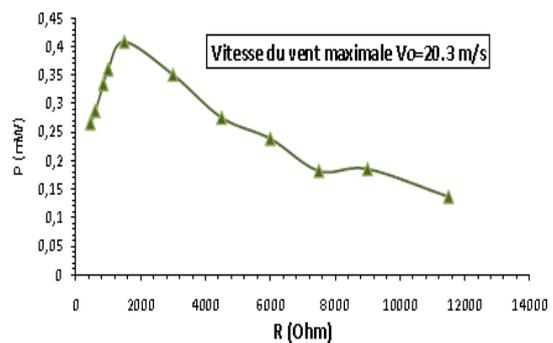


FIGURE 7. Puissance en fonction de la résistance.

La tension en théorie est donnée par la relation suivante :

$$U = R \cdot I \tag{3}$$

Les courbes de la figure 6 montrent que plus la résistance placée dans le circuit électrique augmente, l'intensité diminue et la tension augmente, cela est en bon accord avec la relation (3).

Nous remarquons que dans ces conditions de vitesse ($V=V_4$) et de l'angle de calage $\alpha=40^\circ$ la puissance maximale est extraite pour une résistance de 1500Ω .

3.2. Evolutions des grandeurs électriques (intensité, tension, puissance)

Après avoir trouvé la résistance optimale de 1500Ω , nous allons varier la vitesse du vent, pour chaque angle de calage. Nous avons choisi les résultats obtenus pour $\alpha=40^\circ$, les vitesses du vent variant de $V=V_1$ jusqu'à $V=V_4$.

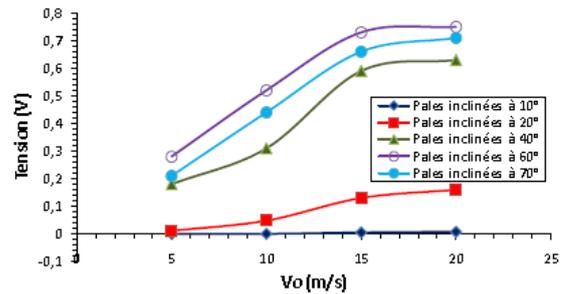
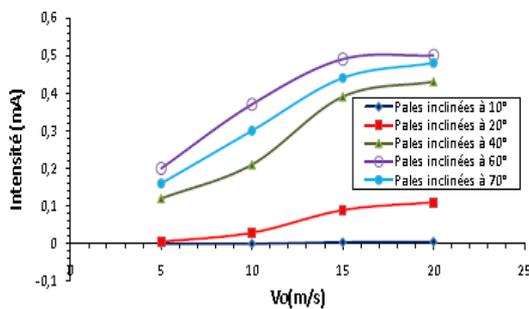


FIGURE 8. Intensité en fonction de la vitesse du vent. FIGURE 9. Tension en fonction de la vitesse du vent.

Les courbes des figures 8 et 9 donnent une idée sur l'évolution de la l'intensité et de la tension en fonction de la vitesse du vent. Il s'avère que celle-ci augmente avec la vitesse du vent jusqu'à V_3 à partir de laquelle elle reste quasi-constante.

3.3. Influence de l'angle de calage des pales

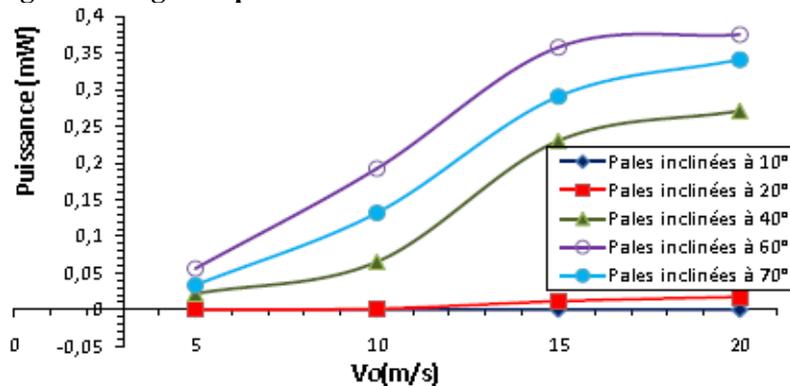


FIGURE 10. Evolution de la puissance électrique en fonction de la vitesse du vent et de l'angle de calage des pales.

La figure 10 montre l'évolution de la puissance électrique récupérée en fonction de la vitesse du vent et de l'angle de calage des pales. On observe une augmentation de la puissance récupérée qui atteint une valeur maximale avec un angle de calage des pales $\alpha=60^\circ$ et une vitesse du vent $V_o=V_4=20.3 \text{ m/s}$.

Nous remarquons que la pente de la courbe est importante à partir de l'angle de calage $\alpha=40^\circ$. On remarque aussi que l'angle de calage $\alpha=60^\circ$ nous donne la puissance maximale à partir duquel même si on augmente la valeur de l'angle de calage la puissance diminue.

3.4. Évolution des grandeurs aérodynamiques

La balance aérodynamique nous permet de mesurer la traînée du vent D qui agit sur les pales de l'éolienne, par conséquent on déduit le coefficient aérodynamique de traînée correspondant C_D en fonction de la force de traînée D mesurée qui agit sur l'éolienne de surface balayée S_c et de la vitesse du vent V_o par :

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho \cdot S_c \cdot V_o^2} \quad (4)$$

$$S_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 5.72 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

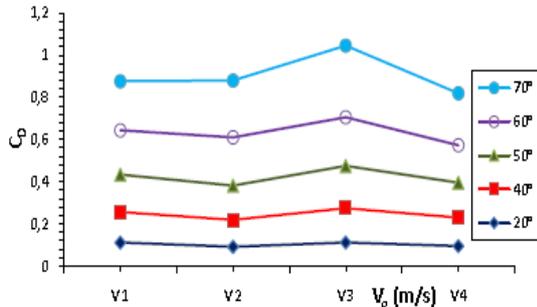


FIGURE 11. Evolution de C_D en fonction de l'angle de calage.

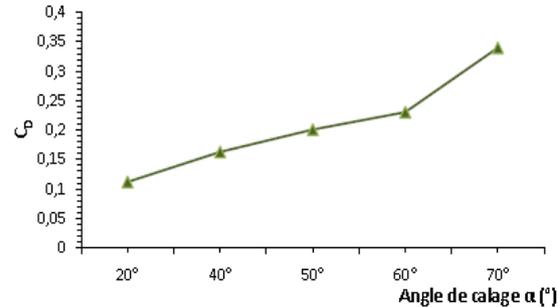


FIGURE 12. Evolution de la traînée en fonction de l'angle de calage pour $V_o=20.3$ m/s.

Les figures 11 et 12 montrent que le coefficient de traînée augmente avec l'angle de calage α (°) quel que soit la vitesse du vent considérée.

En aérodynamique la traînée D correspond à la résistance de l'air, celle-ci augmente avec la surface exposée à l'écoulement de l'air.

4. CONCLUSIONS

1- En premier lieu, les résultats obtenus pour la recherche de la résistance optimale correspondant à une puissance maximale, montre que la valeur qui nous permis de dissiper la puissance maximale est $R= 1500 \Omega$, par la suite cette résistance a été utilisée dans tous les essais.

2- D'autre part, en analysant les résultats obtenus avec la variation de l'angle de calage des pales, nous avons constaté que l'angle $\alpha = 60^\circ$, nous donne une puissance supérieure à celles obtenues avec les autres angles de calage; dès qu'on atteint l'angle de calage de 70° la puissance diminue brusquement.

3- Tous les résultats obtenus montrent que la puissance électrique générée est très affectée par l'angle de calage des pales de l'éolienne.

REFERENCES

- [1] Pacific Northwest laboratory, Wind Energy Ressource Atlas, *Vol.1 et 2PNL-3194, Pacific Northwest laboratory Richland, Washington, U.S.A, 1981.*
- [2] I. Troen and E.L. Petersen, European Wind Atlas, *Riso National Laboratory, Roskilde, Danemark, 1989.*
- [3] M. Said and A. Ibrahim, Energy in the Arab World, *Energy, N 9-3, pp. 217-38, 1984.*
- [4] A.K. Wright, D.H. Wood, The starting and low wind speed behavior of a small horizontal axis wind turbine, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Available online 18 September 2004.*
- [5] Hiroyuki Hirahara^a, M. Zakir Hossain^b, Masaaki Kawahashi^a, Yoshitami Nonomura^c, Testing basic performance of a very small wind turbine designed for multi-purposes, *Renewable energy, Available online 18 December 2004.*
- [6] F. Youcef Ettoumi, Ressources Energétiques Renouvelables en Algérie, *Thèse de Doctorat d'état, USTHB, 2002, Alger, Algérie.*