

# Détermination des paramètres aérodynamiques d'une petite éolienne par l'utilisation de la théorie simplifiée.

Dr. HADID M, M. MEKLID M.T., M. AGLI F.  
Laboratoire de génie mécanique, Université de Mohamed Khider. Biskra.  
[mhadid07@yahoo.fr](mailto:mhadid07@yahoo.fr)

## Résumé :

### 1. Introduction :

Ce travail donne une démarche pratique dans la conception et l'étude des éoliennes à axe horizontal. Il représente un maillon dans une série de travaux qui ont pour but la maîtrise technologique de la conception et la réalisation d'éolienne. Il ne traite pas un aspect très pointu, mais il essaye de combler un déficit dans les travaux scientifiques technologiques aboutissant à des réalisations pratiques en Algérie. En utilisant les modèles et les calculs théoriques applicables au aérogénérateur d'une façon claire et organisée, avec comme objectif l'aboutissement du travail par une réalisation utile et utilisable et qui rend service à la communauté. L'étude porte sur le calcul des paramètres aérodynamiques d'une petite éolienne à axe horizontal. Il est commencé par la présentation de la théorie générale de Betz, ensuite il développe les équations concernant l'action aérodynamique du vent sur une pale d'éolienne, en passant par la définition des paramètres géométriques d'une pale d'éolienne. L'évaluation de la poussée axiale et du couple moteur agissant sur l'éolienne par la confrontation des deux méthodes, l'équation de Betz et l'action aérodynamique, aboutie aux paramètres nécessaires pour la conception de l'éolienne. Un cas pratique est considéré concernant une petite éolienne de 2 mètres de diamètre, le cas constitue un moyen illustrant les différentes étapes pratiques à suivre pour le calcul. Ce travail s'arrête à cette étape, il est complété par un autre travail qui utilise les paramètres trouvés pour la conception par la CAO d'une pale et par sa réalisation.

### 2. Théorie de Betz :

La théorie générale du moteur éolien à axe horizontal a été établie par *Betz*. En supposant un moteur éolien de section  $S$  placé dans un air animé à l'infini en amont d'une vitesse  $V_1$  et à l'infini en aval d'une vitesse  $V_2$ . La production d'énergie ne peut se faire qu'au préjudice de l'énergie cinétique de l'air, la vitesse  $V_2$  est nécessairement inférieure à  $V_1$ . La théorie se base sur trois principes : 1/ L'égalité qui traduit l'incompressibilité de l'air et la continuité du coulement. 2/ La variation de la quantité de mouvement. 3/ La variation  $\Delta T$  de l'énergie cinétique de la masse d'air qui traverse l'éolienne. Ce qui conduit à la puissance maximale susceptible d'être recueillie de la veine fluide qui traverse le moteur éolien :

$$P_{\max} = \frac{8}{27} \rho S V_1^3 = 0,37 S V_1^3$$

### 3. Actions aérodynamiques du vent sur un élément de pale :

Considérons maintenant l'élément de pale de profondeur  $dr$  situé à la distance  $r$  de l'axe de l'hélice. Appelons  $dR_x$  et  $dR_z$  les composantes de la force aérodynamique  $dR$  qui s'exerce sur cet élément suivant la direction parallèle à  $W$  et suivant la direction perpendiculaire respectivement. Ces composantes ne sont autres que la traînée et la portance du profil considéré dans un vent d'intensité  $W$ .

$$dR_z = \frac{1}{2} \rho C_z W^2 l dr$$

$$dR_x = \frac{1}{2} \rho C_x W^2 l dr$$

### 4. Etablissement d'une relation de base :

Pour déterminer la largeur donnée aux pales, nous valuerons de deux manières, dans les conditions optimales de fonctionnement, la poussée axiale sur l'élément de profil compris entre  $r$  et  $r + dr$ .

**première évaluation :** Selon la théorie de *Betz*.

**Deuxième évaluation :** Selon les efforts aérodynamiques auxquels est soumis l'élément ; c'est-à-dire la portance et la traînée élémentaires.

On obtient :

$$C_z pl = 4\pi r \frac{\sin^2 I \cos \epsilon}{\cos(I - \epsilon)}$$

Ce qui conduit :

$$C_z pl = \frac{16\pi}{9} \frac{R}{\lambda_0 \sqrt{\lambda_0^2 \frac{r^2}{R^2} + \frac{4}{9}}}$$

### 5. Application au calcul de la largeur des pales : principe du calcul et remarques.

Pour tout calcul d'éolienne, il est choisi au préalable une vitesse spécifique  $\lambda_0$  et le diamètre  $D$  de l'éolienne (selon la puissance souhaitée), l'angle d'inclinaison  $I$  peut être calculé pour chaque valeur de  $r$ . Si l'angle d'incidence  $i$  est fixé et qui correspond à la finesse maximale du profil choisie (rapport de portance sur train), l'angle de calage  $\alpha$  se trouve lui aussi déterminé ( $\alpha = I - i$ ). La valeur de  $C_z$  s'obtient, l'aide de la polaire du profil choisie et qui correspond à l'angle  $i$ .

Si le nombre de pales  $p$  est choisi, la largeur  $l$  des pales, en fonction de leur distance  $r$  de l'axe de l'éolienne est déduite de l'expression  $C_z pl$  sans difficultés.

L'expression donnant  $C_z pl$  montre que la largeur  $l$  du profil à la distance  $r$  de l'axe est d'autant plus faible que la vitesse spécifique  $\lambda_0$  est élevée, c'est-à-dire que la vitesse angulaire de rotation est importante, les machines seront donc d'autant plus légères qu'elles tourneront plus vite.

La relation indique également, que dans la mesure où  $C_z$  reste constant le long de la pale, la largeur  $l$  croît de l'extrémité de la pale vers le moyeu. Il convient de signaler que cette largeur subit des distorsions.

### 6. Cas de calcul d'une petite éolienne :

L'application pour une machine d'une puissance  $P = 200$  watt. Le profil de pale choisie est le NACA 23015. L'éolienne fonctionne avec un vent d'une vitesse estimée  $v = 6$  m/s. Il s'agit d'une éolienne rapide à trois pales fonctionnant avec une vitesse spécifique  $\lambda_0 = 6$ .

#### Détermination des largeurs du profil, des angles d'incidence, d'inclinaison et de calage :

À cette étape il faut fixer le coefficient aérodynamique de portance  $C_z$  qui est déterminé à partir des polaires du profil choisie (NACA23015) et cela pour l'incidence optimale correspondant à la finesse maximale. Pour réaliser cela on a fait recours au logiciel de simulation **Designfoil** (on peut utiliser aussi les abaques), en utilisant le profil NACA23015 sur le tunnel de vent virtuel. La détermination des fonctions  $C_x$  et  $C_z$  du Profil permet de dire que l'angle d'incidence optimum est  $5^\circ$  et le coefficient de portance correspondant vaut :  $C_z = 0,736$

La suite des calculs n'est qu'une routine. L'expression  $C_z pl$  est calculée pour chaque distance  $r$ . Sachant la valeur de  $C_z$  on détermine la largeur de la pale selon sa position par rapport à l'axe de l'éolienne. L'angle  $I$  est obtenu en fonction de  $r$ . Étant donné que  $i = I - \alpha$ , l'angle de calage  $\alpha$  est déterminé. En fin, le tableau 1 rassemble toutes les quantités calculées.

$r$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$i$	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$I$	90	48,01	29,05	20,32	15,52	12,52	10,49	9,01	7,01	7,9	7,03
$\alpha$	85	43,01	24,05	15,32	10,52	7,52	5,49	4,01	2,01	2,9	2,03
$l$	0,6346	0,4706	0,3070	0,2194	0,1690	0,1370	0,1150	0,0990	0,0868	0,0773	0,0697

Tableau 1 : Les valeurs des paramètres aérodynamiques calculés  $I$ ,  $\alpha$  et  $l$  en fonction de  $r$ .

**Mots clés :** Éolienne, pale, Betz, aérodynamique, aérogénérateur.