

Fiche Méthode et Protocole

BOURAOUI Lilia
DENOYER Sarah
LAOT Erell

Optimisation de la rotation d'une éolienne à axe vertical en soufflerie

L'objectif de notre PSE est d'améliorer les performances d'une éolienne à axe vertical : nous souhaitons déterminer les paramètres qui permettraient d'augmenter la vitesse de rotation de l'éolienne et à fortiori d'optimiser son rendement. Pour cela, nous allons concevoir une éolienne à axe vertical et une soufflerie pour mettre en œuvre nos expériences. Nous finirons ensuite par réaliser les mesures de vitesse de rotation de l'éolienne.

I] Conception et construction de la soufflerie

1) Objectif

Afin de réaliser nos expériences sur les pales d'éolienne, nous devons construire une soufflerie. Cette soufflerie a pour but de créer un flux d'air de vitesse homogène correspondant au flux d'air auquel est habituellement soumis une éolienne à axe vertical pour fonctionner. Notre soufflerie est indispensable pour contrôler les conditions expérimentales.

2) Matériel

- 1 plaque de Plexiglas PMMA 800x500mm, 3 plaques de contreplaqués de 10x600x770 mm
- un rouleau de mylar épaisseur
- scotch
- barre de dural, clou, vis, boulons, équerre
- 2 générateurs, 36 ventilateurs
- joint d'isolation de fenêtre

3) Étapes de construction et réflexions associées

Pour réaliser une telle soufflerie, nous avons dû déterminer les dimensions des différentes chambres qui contiennent l'écoulement d'air.

Premièrement, nous avons conçu puis construit la structure métallique (en dural) qui soutient la soufflerie. Nous avons par la suite découpé trois plaques rectangulaires en contreplaqué et une en plexiglas pour pouvoir observer le mouvement de rotation de l'éolienne. Nous avons ainsi formé la chambre d'essai de l'éolienne. Nous avons choisi de réaliser une cavité avec une section de 50x50 cm de façon à obtenir un vent de 4m/s pour une éolienne avec des hauteurs de pales de 15 cm.

Pour générer le vent, nous allons créer une différence de pression entre l'entrée de la soufflerie et la sortie. Nous avons donc commandé 36 ventilateurs d'ordinateurs que nous avons monté de façon à former un mur de ventilateur de 50x50 cm. Nous les avons fixés grâce à des pièces en plexi glasses coupées au laser. Nous les avons branchés en dérivation puis à deux générateurs et finalement fixés à la sortie de la soufflerie. Ces ventilateurs ont pour objectif de créer une aspiration et former le flux d'air.

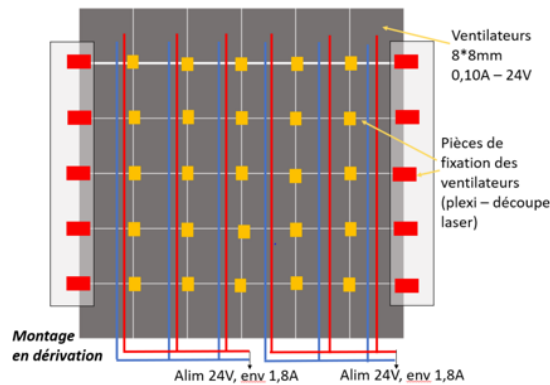


Schéma de l'association des ventilateurs

Nous avons réalisé en parallèle le convergent servant à accélérer l'air dans la veine d'essai. Il se situe au début du système. Sa forme et ses dimensions vont accentuer la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la soufflerie et donc accélérer le flux d'air. Pour déterminer la forme du convergent, nous avons plusieurs contraintes. Il fallait obtenir une forme aérodynamique sans angle dur. Nous avons finalement conçu un convergent en mylar (un matériau rigide mais assez souple pour le manipuler) en forme de haut-parleur et de rayon de courbure égale à 72,5 cm. Nous souhaitons aussi placer un nid d'abeille juste après le convergent de façon à réduire la turbulence dans le flux et de supprimer la torsion de l'air entrant. Il faut idéalement que la longueur du nid d'abeille soit dix fois supérieure au diamètre d'une maille du nid d'abeille. Les mailles peuvent être de différentes formes, et on choisit d'utiliser la plus optimale : la forme hexagonale. Malheureusement notre commande n'a finalement pas été livrée à temps. Nous avons donc réalisé nos expériences sans nid d'abeille.

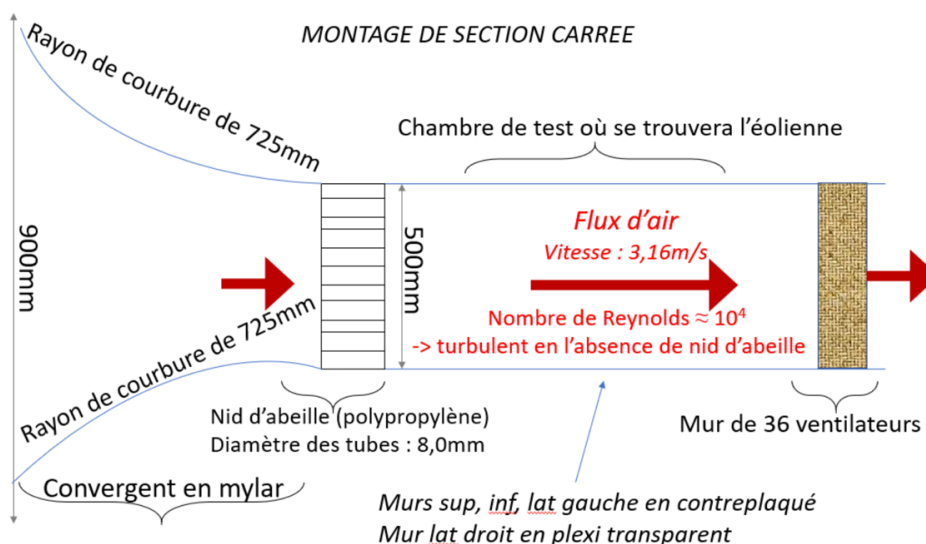
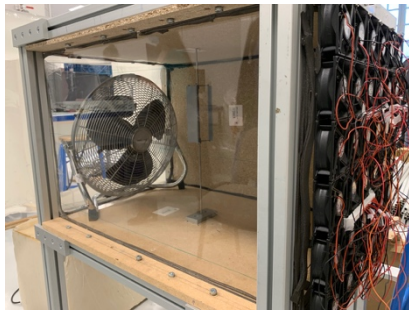


Schéma de la soufflerie imaginée avec le nid d'abeille

Le nombre de Reynolds calculé de 10000 correspond à un flux turbulent. Bien que ce type d'écoulement soit plus difficile à caractériser et à reproduire, il correspond aux flux dans lesquels peuvent tourner des éoliennes de type vertical (notamment en milieu urbain où les nombreux obstacles créent des turbulences).

On a caractérisé la vitesse de l'écoulement d'air dans la soufflerie grâce à un anémomètre. On a vérifié en quadrillant la zone d'essai que la vitesse du flux était bien homogène dans la soufflerie. Nous avons calculé une vitesse de vent de 2m/s. Néanmoins, pour avoir une vitesse suffisante pour nos expériences, nous avons dû placer un grand ventilateur entre l'éolienne et le convergent comme montré dans la photographie ci-dessous. De cette façon, on a pu obtenir un vent de près de 4m/s.



Ajout d'un grand ventilateur à l'entrée de la soufflerie



Mesure vitesse du vent grâce à un anémomètre

II] Conception de l'éolienne et mesure

1) Objectif

On s'est ensuite occupé de la conception des pâles. Il a fallu penser à beaucoup de paramètres comme la taille des pâles, la hauteur ou encore les matériaux à utiliser.

2) Matériel

- roulement à bille
- axe de rotation en (dural) taillé en pointe conique
- imprimante 3D
- plaque métallique creusée d'un cône
- dynamomètre
- anémomètre, tachymètre

3) De la conception à la construction

a) Conception

Nous avons choisi de reproduire un profil aérodynamique symétrique dessiné et caractérisé par le comité consultatif national pour l'aéronautique (NACA0018).

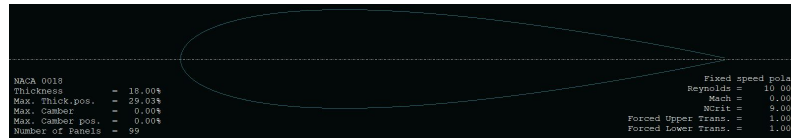


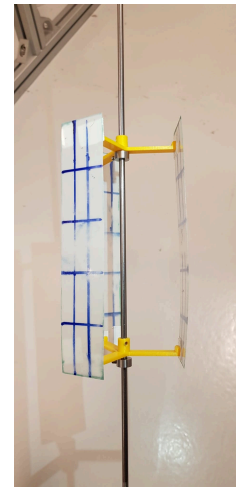
Image du profil NACA0018

Pour déterminer les dimensions de nos pales il a fallu conserver des grandeurs adimensionnées par rapport à la réalité : la vitesse spécifique, rapport entre la vitesse de rotation des pales et la vitesse du vent, et la solidité qui est rapport de la longueur de corde total et le rayon de rotation de l'éolienne. Nous avons choisi de les réaliser en PLA (polymère léger) grâce à une imprimante 3D. Nous avons adapté la hauteur des pales aux dimensions de la soufflerie. Nous avons choisis de construire des pales de rapport de forme (i.e. le rapport de la longueur de corde sur la hauteur) de 1/5. Par conséquent nos pales avaient des dimensions de 15 cm de hauteur, 3cm de cordes et 0,54 cm d'épaisseur maximale.

Pour comparer l'influence du matériau et l'impact des structures flexibles, nous avons réalisé des pales flexibles de mylar, de forme rectangle de 15cmx3cm.



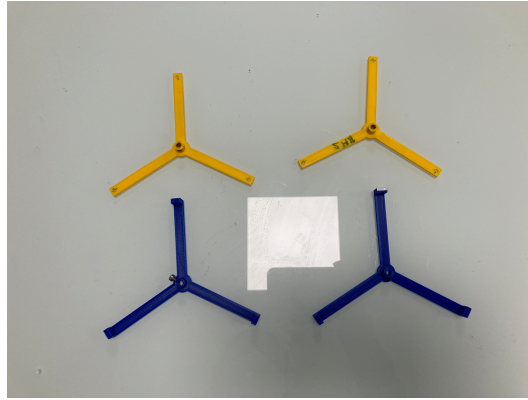
Éolienne en PLA



Éolienne en mylar

b) Mise en mouvement et mesure

Nous avons utilisé une fine barre cylindrique en métal sur laquelle on a placé un roulement à billes au niveau du passage sur le toit de la soufflerie. On y a accroché une structure type étoile à trois branches, désignée et créée par une imprimante 3D, faite pour relier les pâles à l'axe de rotation.



Liaison entre les pâles et l'axe de rotation

On a décidé de tailler le bout de l'axe comme une pointe et de le poser sur une plaque légèrement creuse : en limitant les dimensions du point de contact de la sorte, les frottements deviennent suffisamment faibles pour que l'éolienne tourne. En effet, auparavant l'axe était en contact de trop d'appareils de mesure ce qui engendrait beaucoup trop de frottements et de torsion sur l'axe.



Schéma de l'axe taillée et la plaque creusée en cône

Les éoliennes de type Darrieus comme celle que nous avons fabriqué ne commence pas à tourner seule. Nous avons dans un premier temps utilisé un moteur pour le démarrage de la rotation, en le liant à l'axe par un système d'engrenage. Cependant, les frottements engendrés par ce système étaient trop importants, nous avons donc simplement démarré la rotation manuellement en tournant l'axe jusqu'à que l'éolienne soit suffisamment entraînée.

Nous avons réussi à mesurer des vitesses de rotation de l'éolienne pour différents types de pâles. Pour cela, nous avons mesuré la vitesse de rotation de l'axe grâce à un tachymètre : le pointeur laser fixait une zone de l'axe avec une vis sombre qui contrastait avec lui. Le tachymètre détecte le passage de la vis et donc la vitesse de rotation.



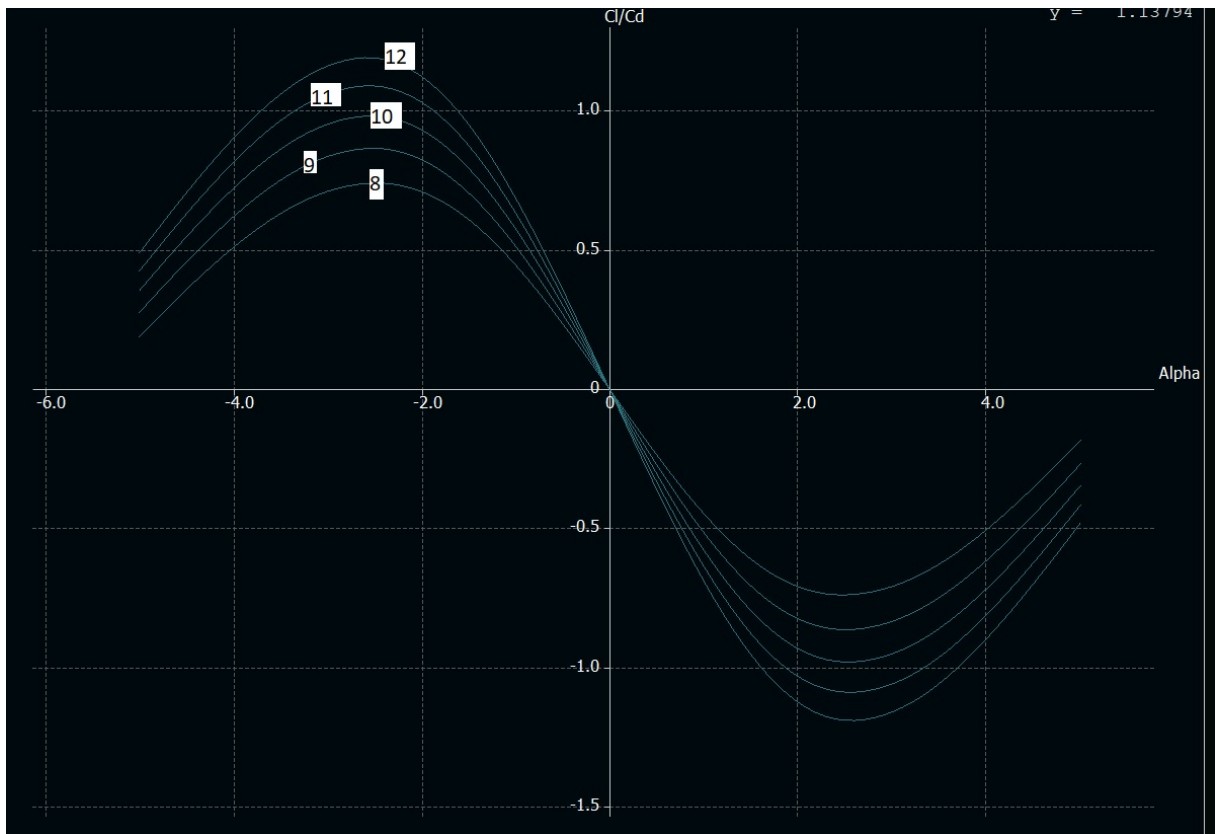
Mesure de la vitesse de rotation de l'éolienne avec un tachymètre

Comme on s'y attendait, les éoliennes avec un plus grand rayon ont pu être mises en mouvement : celle avec un rayon de 3,5 cm n'ont pas tourné. Les vitesses qu'on a obtenues allaient de 120 à 200 rotations par minute. Les mesures ont été prises avec les pâles en PLA. Celles en mylar ont réussi à tourner mais leur vitesse de rotation n'a pas pu être étudié.

Vitesse du vent (m.s ⁻¹)	Vitesse de rotation (rotation par minute)	Rayon (cm)	Vitesse de rotation de l'éolienne (m.s ⁻¹)
3,8	150	7	1,1
3,2	119	7	0,9
4	195	7	1,42

c) Interprétation des mesures

La rotation des éoliennes de type Darrieus est permise par la force de portance (comme pour les ailes d'avion). La force de trainée quant à elle ralentit la rotation des pâles. Nous avons utilisé un logiciel de CFD (XFLR5) afin d'étudier l'évolution du rapport C_l/C_d (i.e. coefficient de trainée sur coefficient de portance) en fonction des angles d'attaques alpha, et des nombres de Reynolds. Puisque la rotation se fait autour d'un axe vertical, tous les angles d'attaques sont atteints lors de la circulation des pâles. Il faudrait donc dans l'idéal que le rapport C_l/C_d soit toujours inférieur à 1.



Dans le graphe ci-dessus, les calculs sont faits pour 5 nombres de Reynolds distincts (8000, 9000, 10000, 11000, 12000). On voit jusqu'à 10 000, le rapport Cl/Cd ne dépasse pas 1. Par la suite, il devient supérieur. Ainsi il faut que la portance des ailes dont l'angle d'attaque ne correspond pas au maximum sur le graphe soit suffisamment importante pour permettre la rotation de l'éolienne, et que la traînée n'empêche pas cette dernière.

On voit donc un intérêt à travailler en flux turbulent ici.