



# L'ÉOLIEN S'IMPLANTE EN VILLE

Luis BONNAL - 47658

TIPE 2022 – 2023

Thème : La Ville

# SOMMAIRE

## Problématique :

Comment optimiser l'énergie de l'éolien en ville et favoriser son implantation ?

- I. L'enjeu énergétique de l'éolien
- II. L'adaptation en ville
- III. L'expérimentation, la mise en pratique du projet
- IV. Études analytiques et solutions

# L'ENJEU ÉNERGÉTIQUE DE L'ÉOLIEN

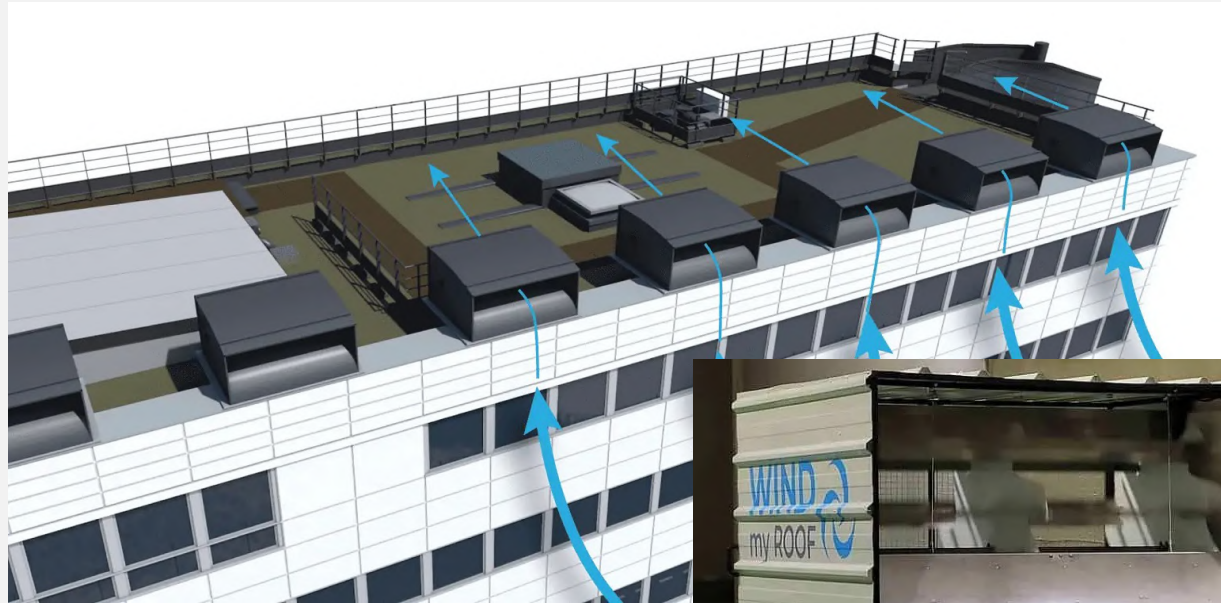


- Énergie renouvelable
- Ressources illimitées
- Ambition sur l'implantation onshore, offshore

# LE CHOIX D'UNE IMPLANTATION EN VILLE



Éolienne à axe vertical  
déjà connue sur le marché



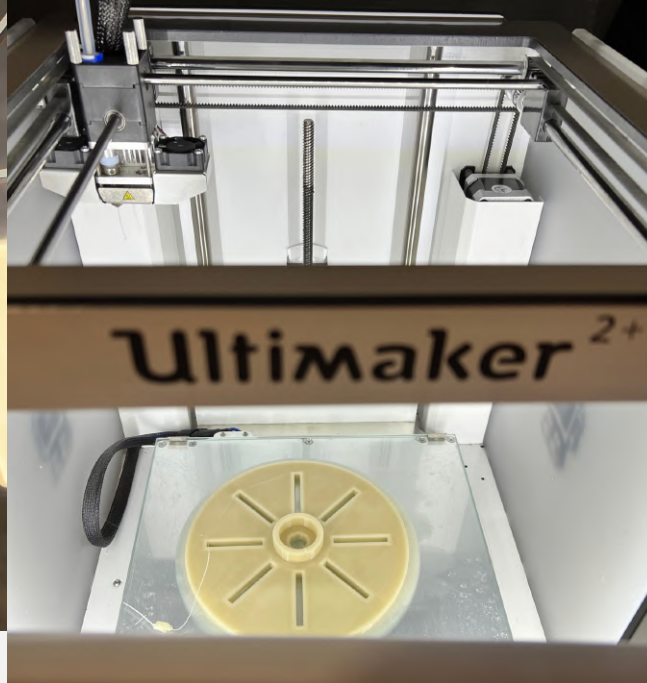
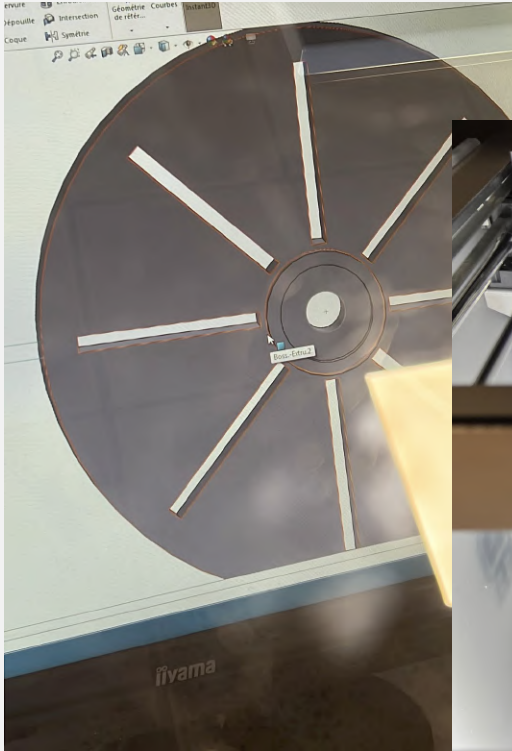
Projet expérimenté  
Entreprise WindMyRoof



Source : [www.windmyroof.com](http://www.windmyroof.com)



# L'EXPÉRIMENTATION



Roue dentée créée sur Solidworks  
puis imprimée en 3D



Création de la maquette

# L'EXPÉRIMENTATION

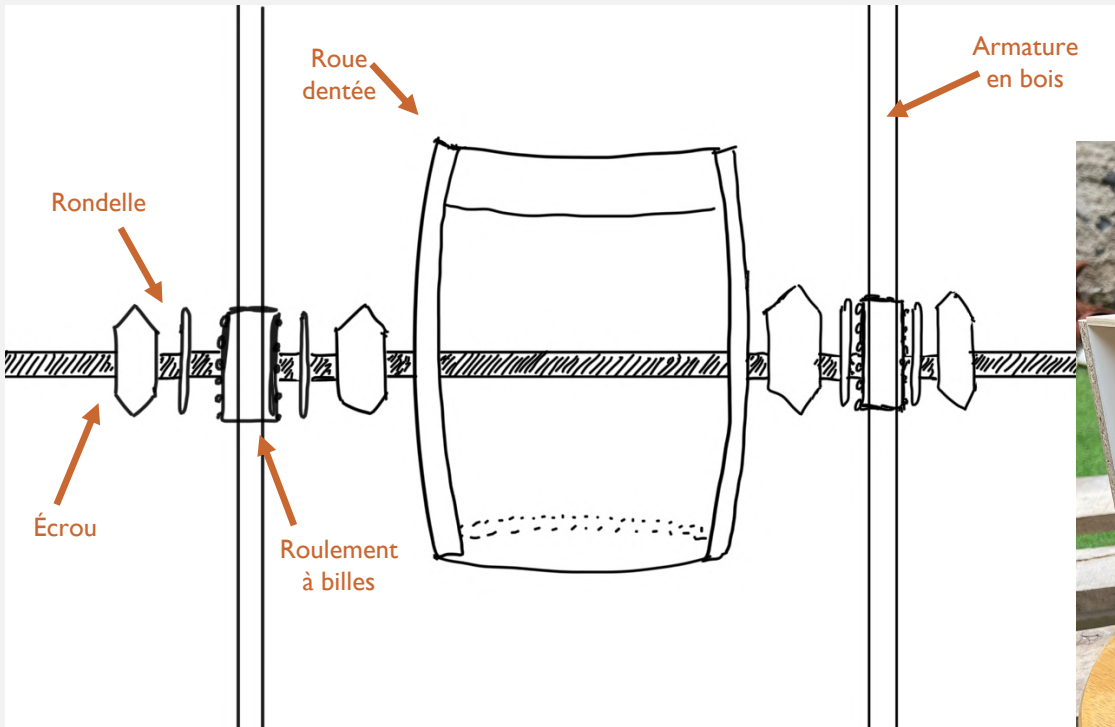


Schéma du dispositif





# CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

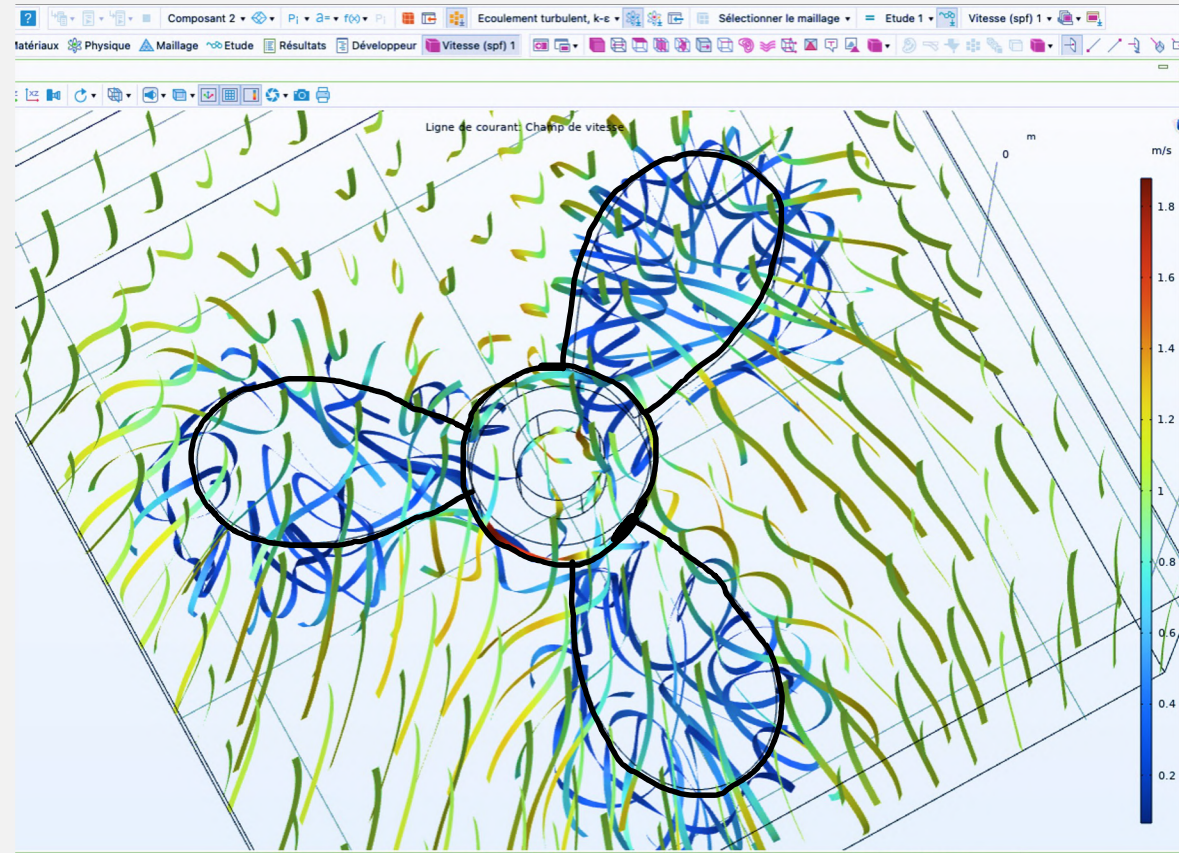
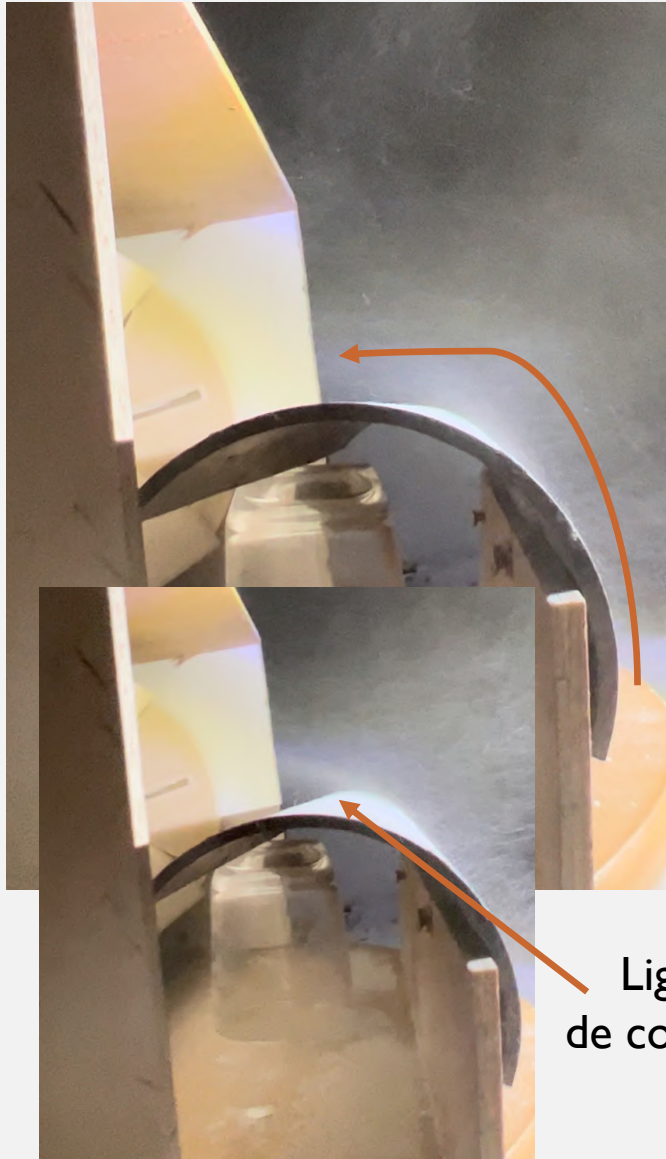


Récupérateur d'énergie  
en sortie : Diode LED



Pale Beige	Pale Grise
$m = 52,3 \text{ g}$	$m = 69,8 \text{ g}$
$e = 8,2 \text{ mm}$	$e = 9,9 \text{ mm}$
$S = 23,7.10^1 \text{ cm}^2$	$S = 15,4.10^1 \text{ cm}^2$
Angle de courbure $\alpha = 50^\circ$	Angle de courbure $\alpha = 81^\circ$

# ÉCOULEMENT DE L'AIR SUR UNE SURFACE INCURVÉE

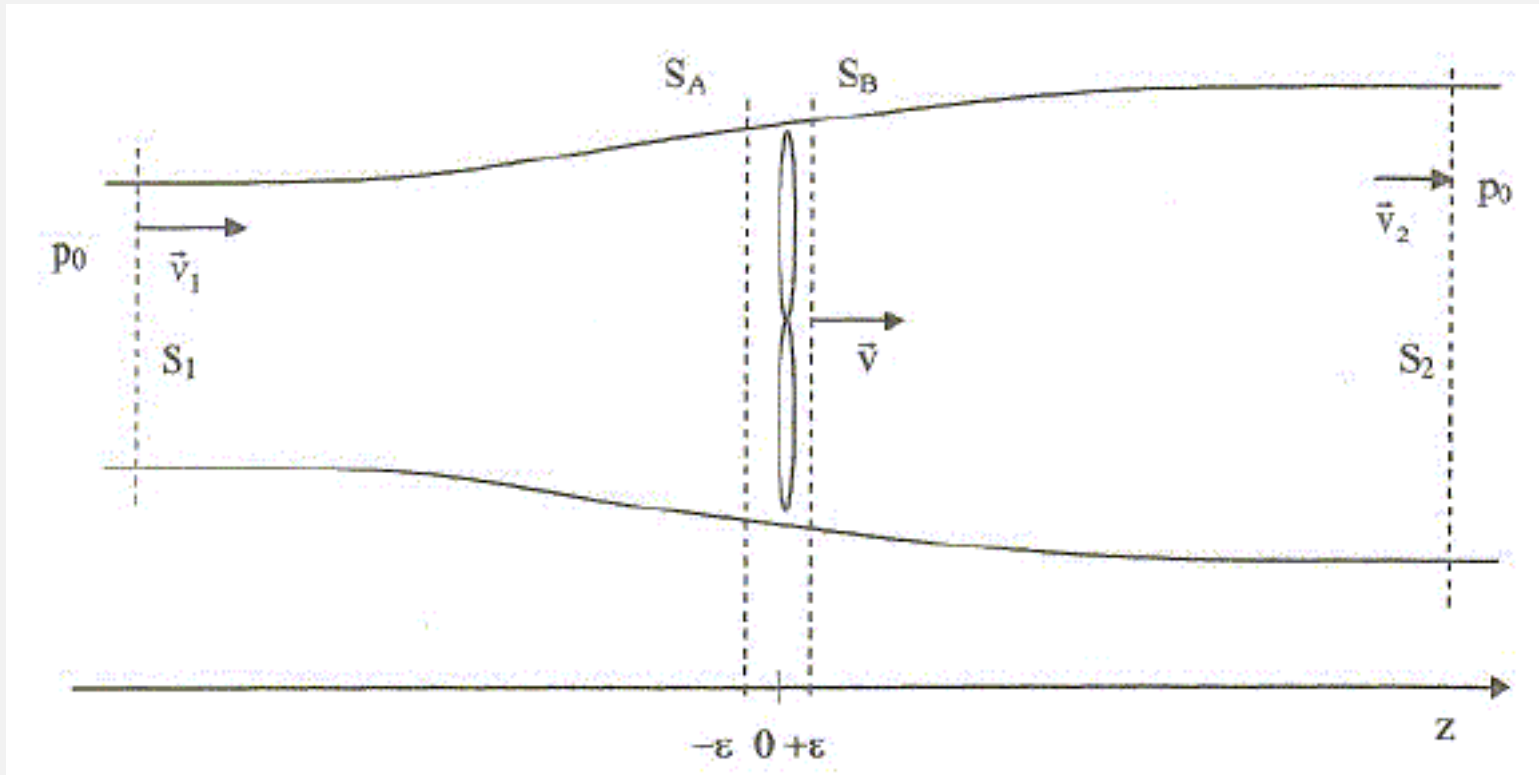


Étude COMSOL

Ligne  
de courant



# MODÉLISATION PHYSIQUE DE L'ÉCOULEMENT DE L'AIR



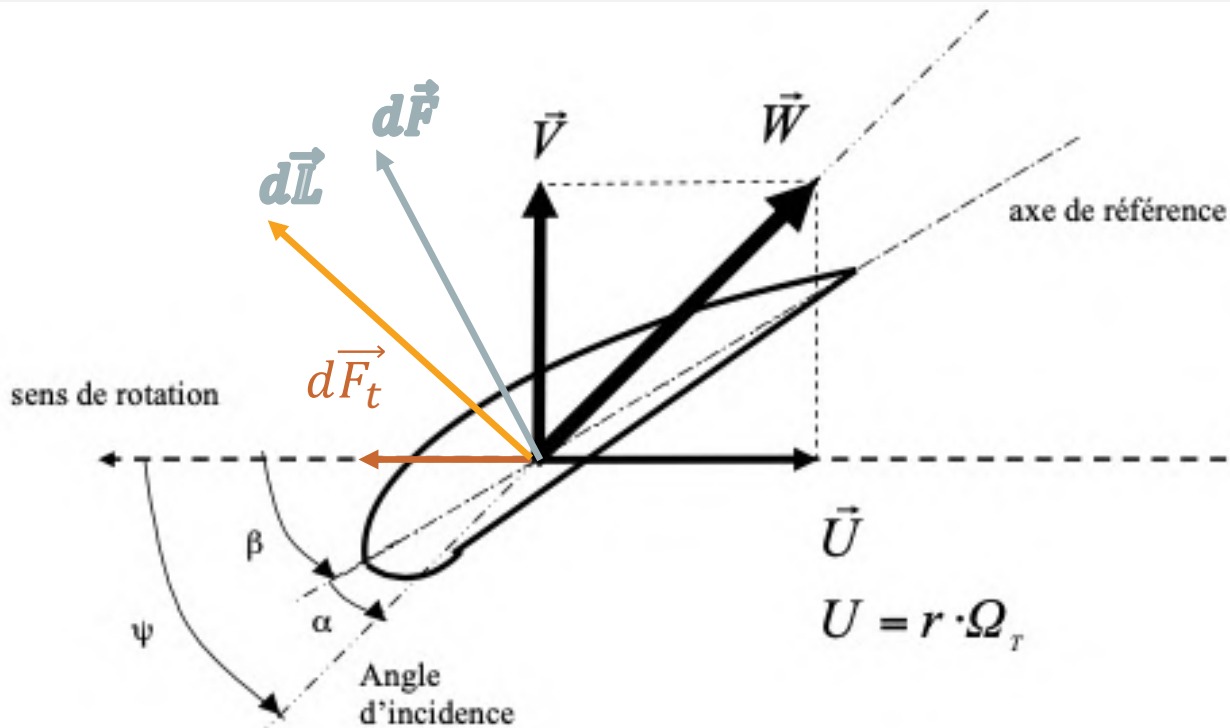
Source : [agregation.capes.free.fr](http://agregation.capes.free.fr)

- Détermination des pressions aux points A et B notées  $P_A$  et  $P_B$
- Détermination de la force exercée par l'air sur l'hélice

Puissance disponible :

$$P_{disp} = \frac{1}{2} * \mu * S * v^3$$

# APPROCHE PHYSIQUE



source : <https://theses.hal.science/tel-00170128>

$P_T$  : puissance captée  
par le système  
 $P_T = \Gamma_t * \Omega_T$

$C_P$  : coefficient  
de puissance  
 $C_P = \frac{P_T}{P_{disp}}$

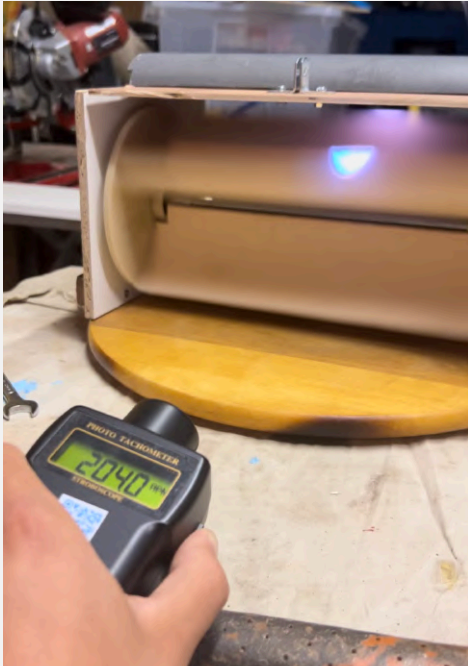
$d\vec{F}_t$  : poussée tangentielle

$d\vec{F}$  : force résultante

$d\Gamma_t$  : couple exercé sur le système  
 $d\Gamma_t = N * r * dF_t$

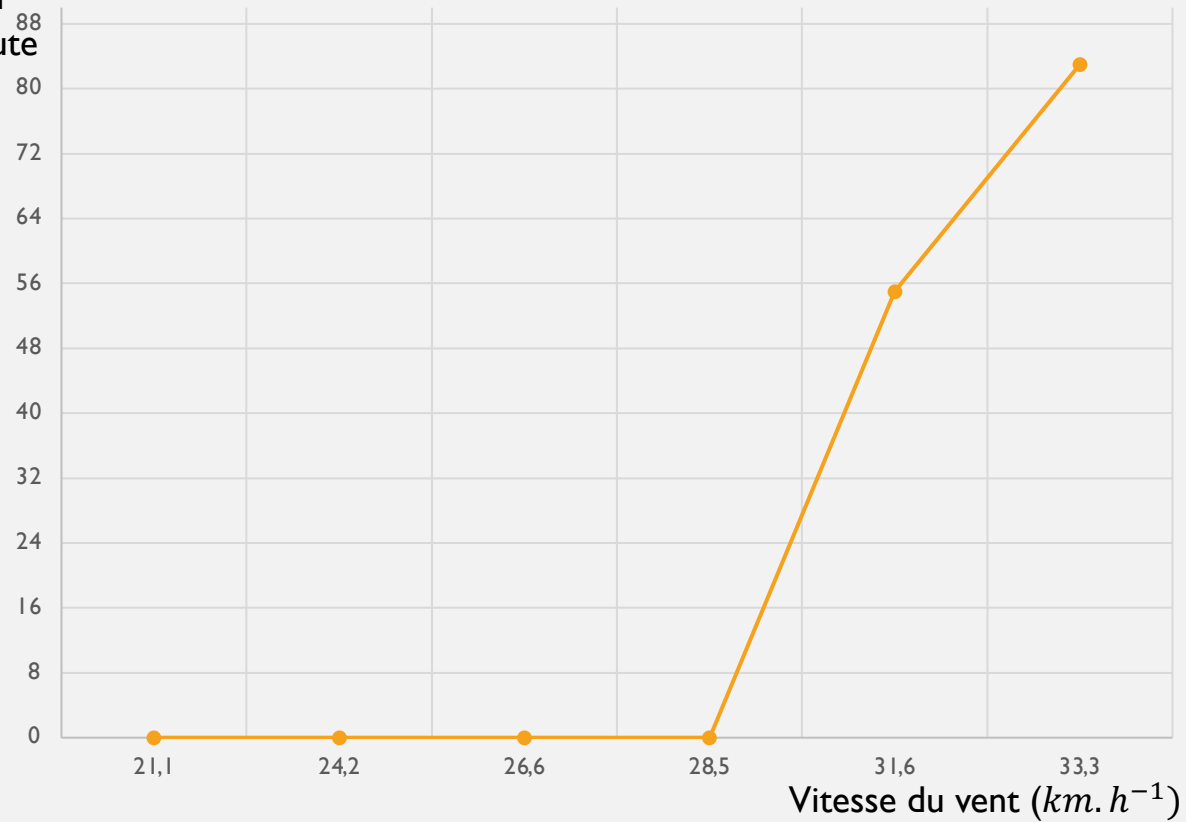
$d\vec{L}$  : portance

# PREMIÈRES MESURES



Tours  
par  
minute

Variation de la vitesse de rotation :



Vitesse de démarrage :

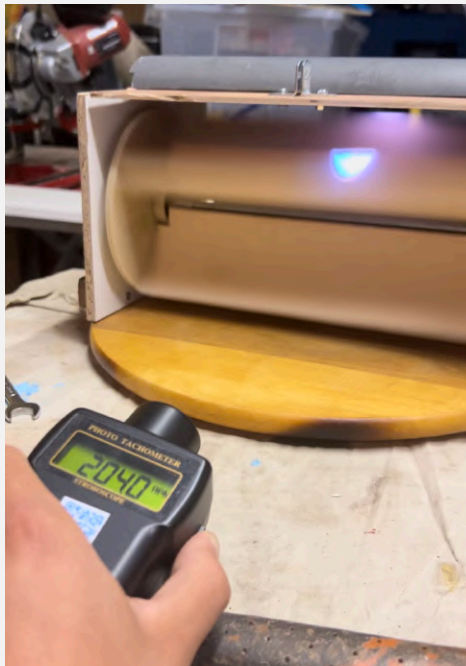
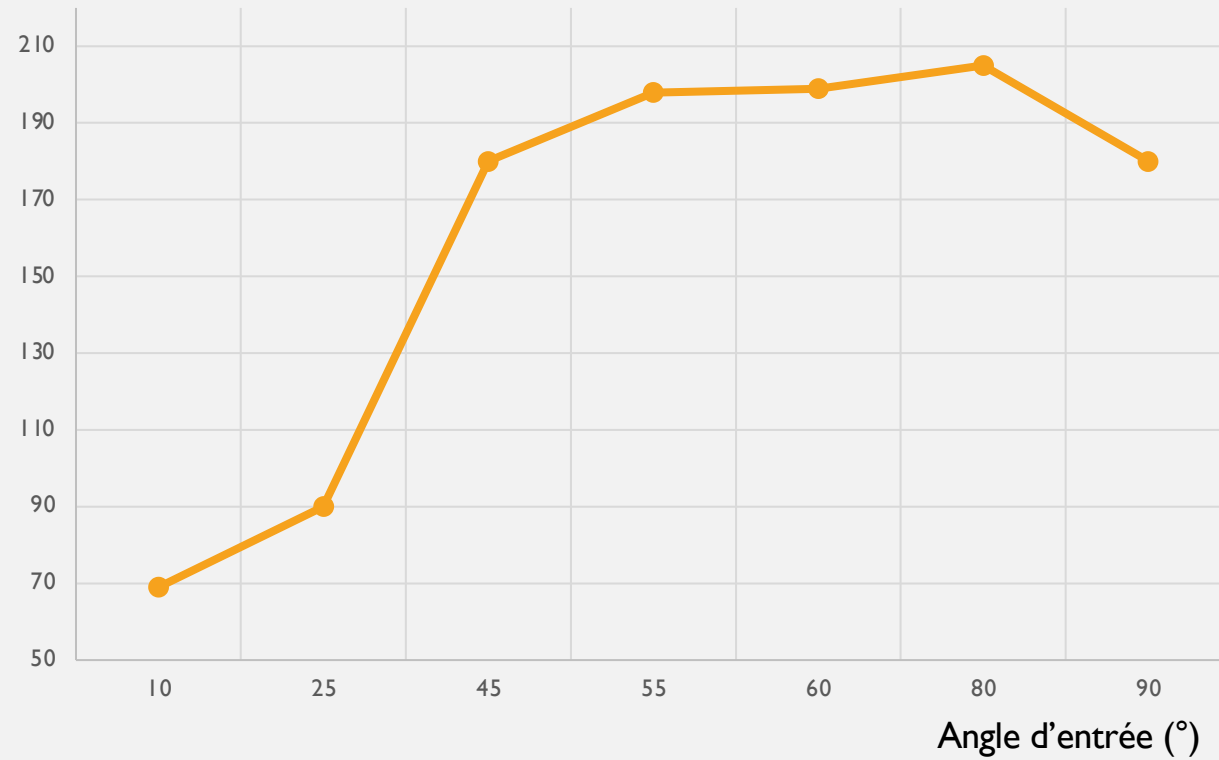
$$v = 28,5 \pm 0,3 \text{ km.h}^{-1}$$



# UNE SOURCE DE MEILLEUR RENDEMENT

Tours par  
minute

Rotation des pales en fonction de l'angle d'entrée

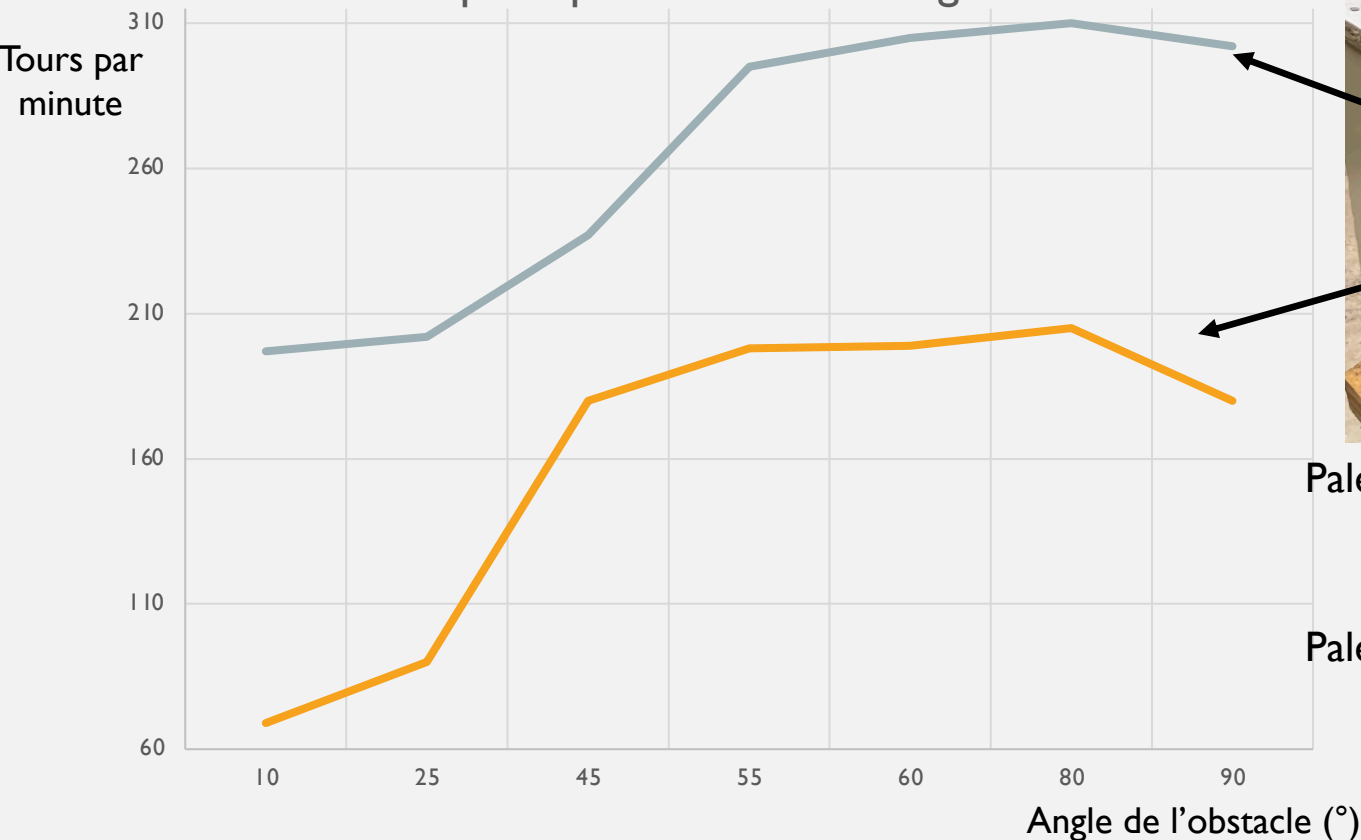


# ÉTUDE DE PALES

Vitesse d'étude :

$$v = 23,1 \pm 0,3 \text{ km.h}^{-1}$$

Différentes pales pour les mêmes angles d'entrée



Pale grise : Angle de courbure :  $81^\circ$

$$S_{grise} = 153,7 \text{ cm}^2$$

Pale beige : Angle de courbure :  $50^\circ$

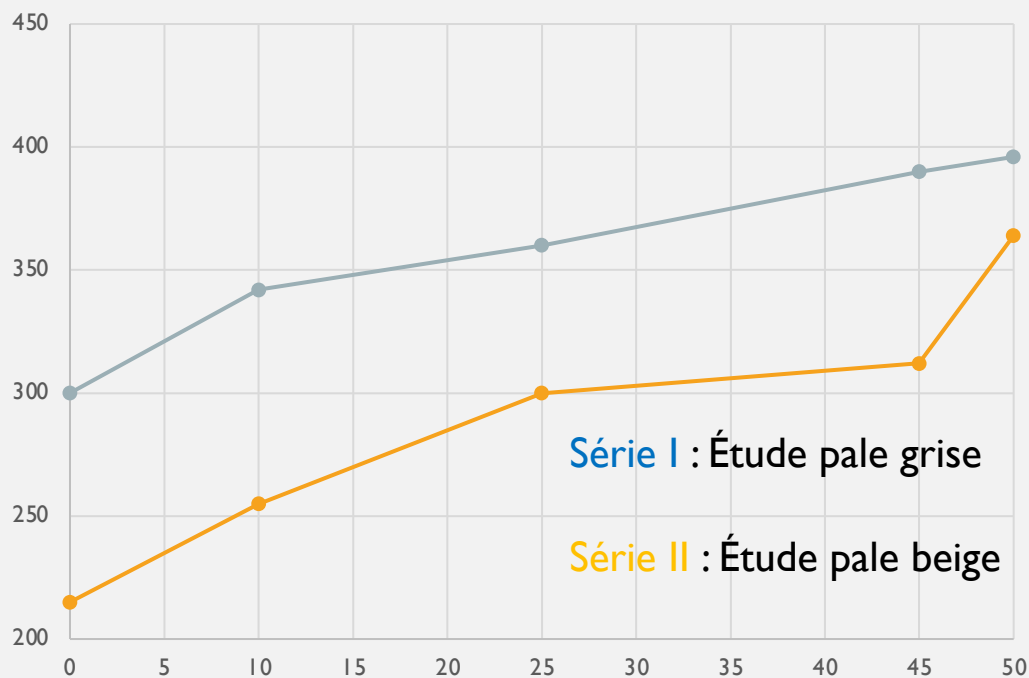
$$S_{beige} = 237,8 \text{ cm}^2$$

# ÉTUDE D'UN OBSTACLE INCURVÉ



Tours par  
minute

Rotation des pales en présence d'un obstacle incurvé



Série I : Étude pale grise

Série II : Étude pale beige

Angle de l'obstacle (°)

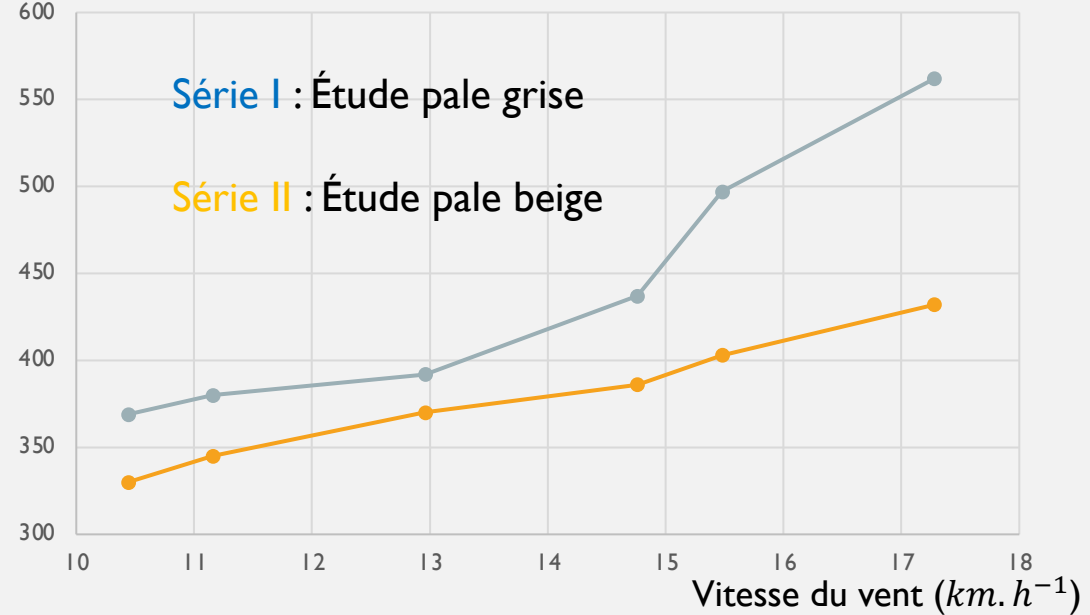


# ÉTUDE D'UN OBSTACLE INCURVÉ



Tours par  
minute

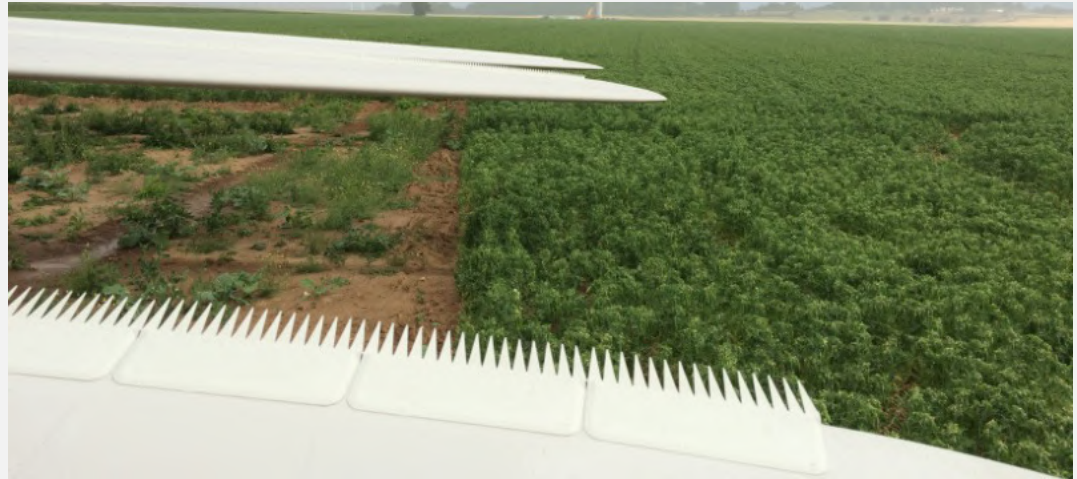
Rotation des pales en présence d'un obstacle incurvé



# DES SOLUTIONS À UN MEILLEUR RENDEMENT



Le vrillage des pales

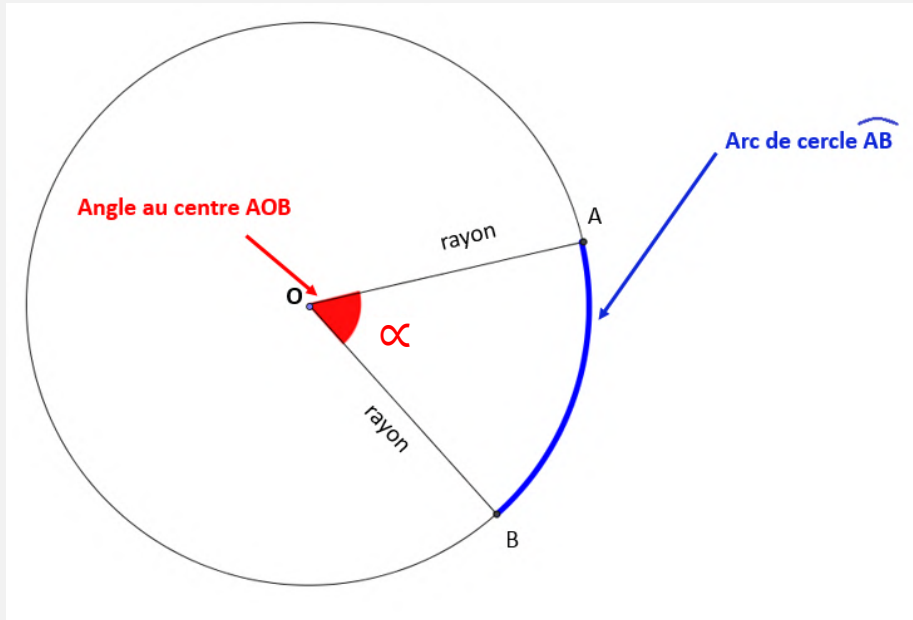


Source : <https://www.revolution-energetique.com>

L'adaptation aux ailes de chouettes

# ANNEXE I

## Détermination de l'angle de courbure :



$$\frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{AB}{2\pi * r}$$
$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{AB * 360^\circ}{2\pi * r}$$

## Calcul d'une vitesse de rotation des pales :

$$v_{angulaire} = \frac{N}{60} * 2\pi \text{ (rad.s}^{-1}\text{)}$$

*N nombre de tours par minute*

$$v = v_{angulaire} * R$$



## ANNEXE II

Incertitudes appareils de mesures :

Anémomètre FI 22	Tachymètre Lutron
Précision : $\pm 2\% + 0,2 \text{ digits}$	Précision : $\pm 0,05\% + 1 \text{ digit}$
Résolution : $0,01 \text{ m. s}^{-1}$ $0,1 \text{ km. h}^{-1}$	Résolution : $0,1 \text{ RPM}$

Pour une vitesse du vent de valeur lue  $v = 23,1 \text{ km. h}^{-1}$ ,

$$\bullet \quad u_v = \frac{2\% \cdot 23,1 + 0,2 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} = 0,3 \text{ km. h}^{-1}$$

Pour une vitesse de rotation de valeur lue  $r = 85,00 \text{ RPM}$ ,

$$\bullet \quad u_r = \frac{0,05\% \cdot 85 + 1 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} = 0,08 \text{ RPM}$$

# ANNEXE III

Équation de Navier - Stokes :

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{1}{2} \overrightarrow{\text{grad}}(v^2) + \overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}}(\vec{v})) \right) = -\overrightarrow{\text{grad}}(P + \rho g z) + \eta \Delta \vec{v}$$

Mouvement permanent :  $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \vec{0}$

Théorème de Bernoulli :

$$P + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$$

$$\eta \Delta \vec{v} - \overrightarrow{\text{grad}} \left( P + \rho g z + \rho \frac{v^2}{2} \right) = - \rho \overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}}(\vec{v}))$$

Détermination de l'expression de la force exercée sur l'hélice :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{dP_{syst \text{ fermé}}}{dt}$$

$$p_A \cdot S_A \overrightarrow{e_z} - p_B \cdot S_B \overrightarrow{e_z} - \vec{F} = \rho \cdot S_B v_B \overrightarrow{v_B} - \rho \cdot S_A v_A \overrightarrow{v_A}$$

$$\vec{F} = \frac{\rho S}{2} (v_1^2 - v_2^2) \overrightarrow{e_z}$$