

Étude des éoliennes **Savonius** dans le cadre de l'**autonomie** **énergétique urbaine.**

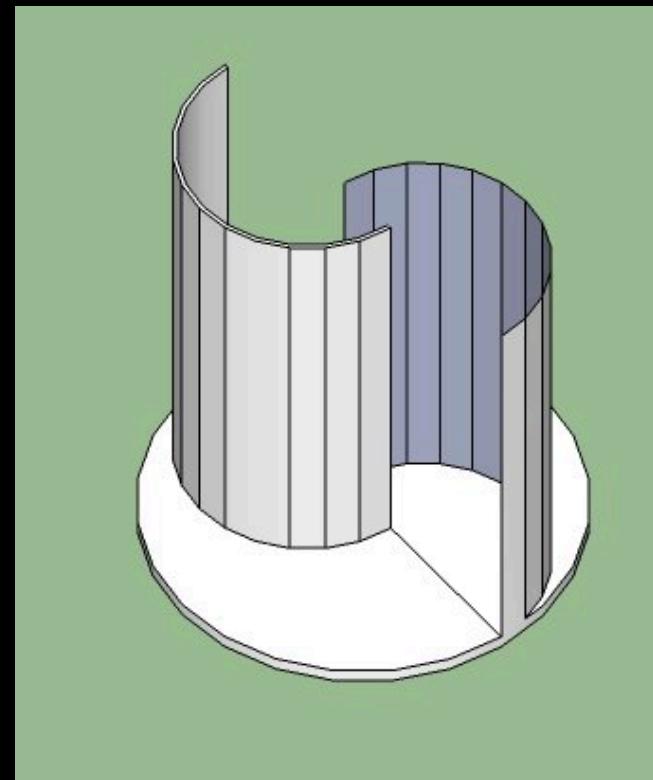
N° 12114

01



Contexte & Problématique

Eolienne de type Savonius



Sigurd Savonius
(1884 -1931)



Utilisation en milieu urbain

Sur un toit, entre deux routes...

Problématique

Le contexte urbain est-il adapté à l'utilisation d'éoliennes de type Savonius ?

I - Conception de l'éolienne de type Savonius :

- A. Fonctionnement
- B. Construction du système

II - Paramètres jouants sur le fonctionnement de l'éolienne :

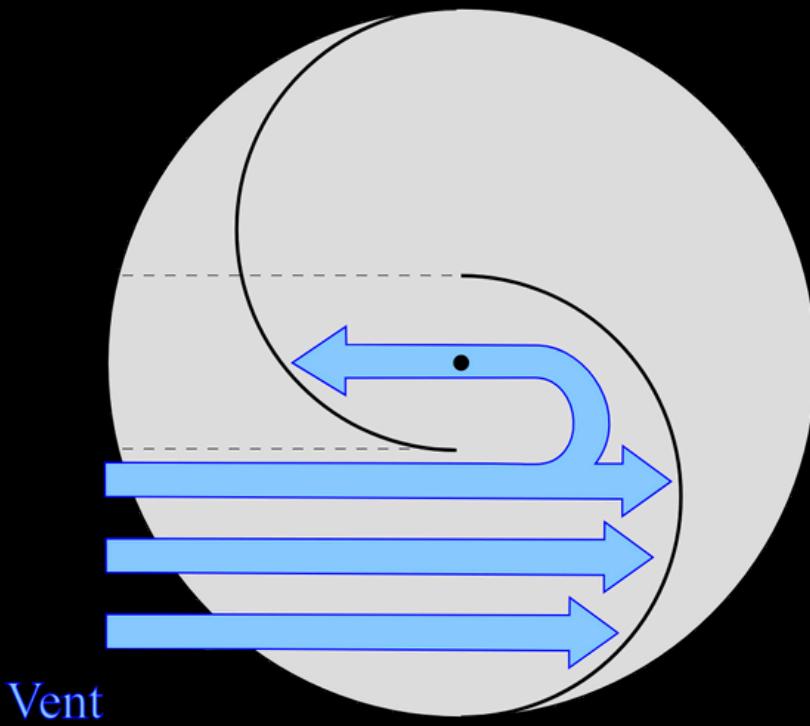
- A. Le vent
- B. Architecture de l'éolienne

III - Etude pratique & optimisations envisageables :

- A. Rendements
- B. Analyse comparative

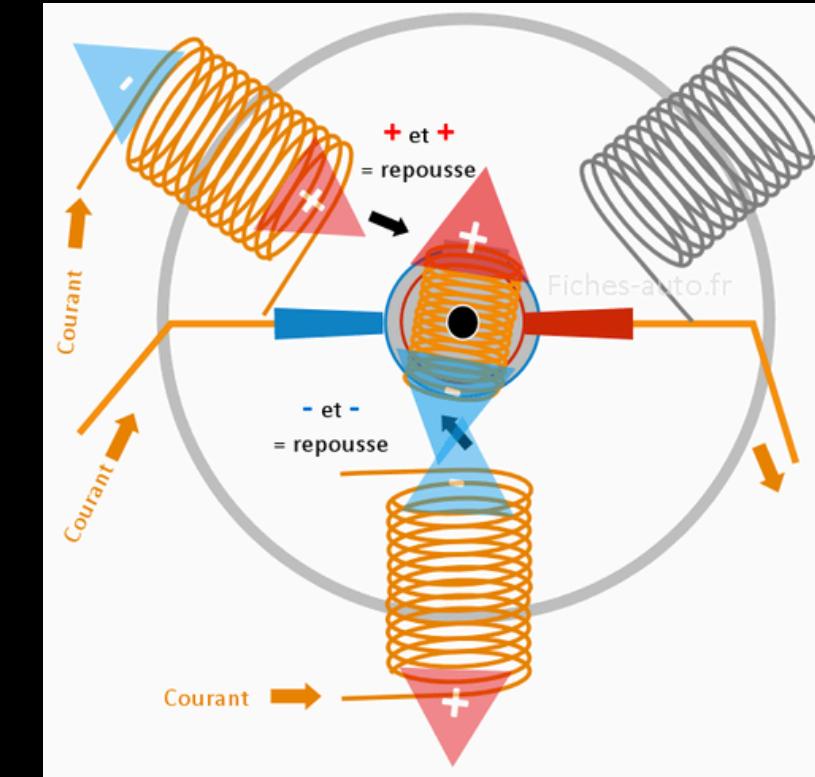
L'éolienne Savonius en deux sous-systèmes

Le rotor de Savonius



Un rotor à traînée différentielle...

Le générateur



....et un phénomène d'induction

Energie
cinétique du
vent



Energie
mécanique du
rotor

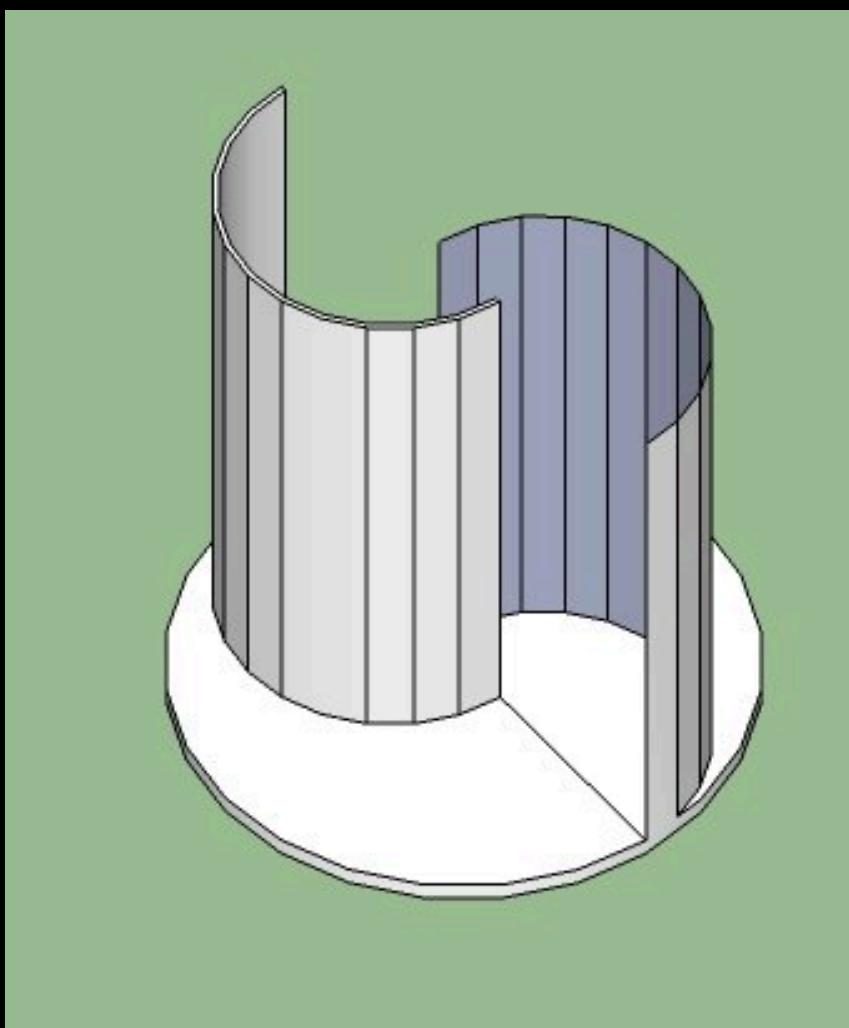


Energie
électrique du
générateur

Conception de l'éolienne de type Savonius

Fonctionnement

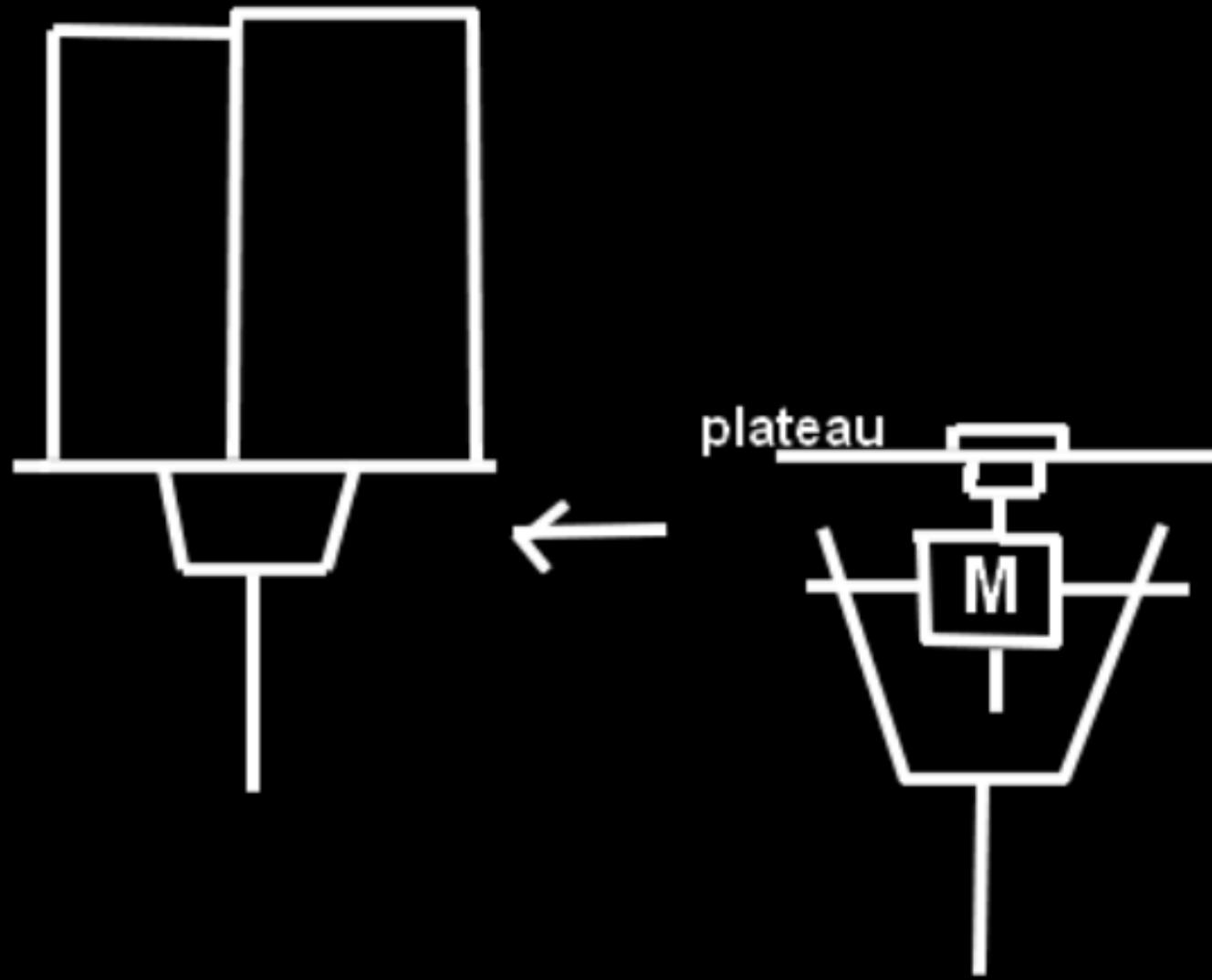
Caractéristiques connues



- > Faible rendement
- > Bonne durabilité
- > Système léger
- > Peu bruyant
- > Système Autonome

Conception de l'éolienne de type Savonius

Construction du système



Version 0.5



Version 1.5



Version 2.0

Conception de l'éolienne de type Savonius

Construction du système

Dimensions

Hauteur pales : 27,5 cm

Diamètre : 25,5 cm

Ecart entre les pales : 6,5cm

Surface pale : 0,529 m²

Éolienne Savonius à deux pales
Liberté sur l'ajout d'aimants



Choix

Points forts :

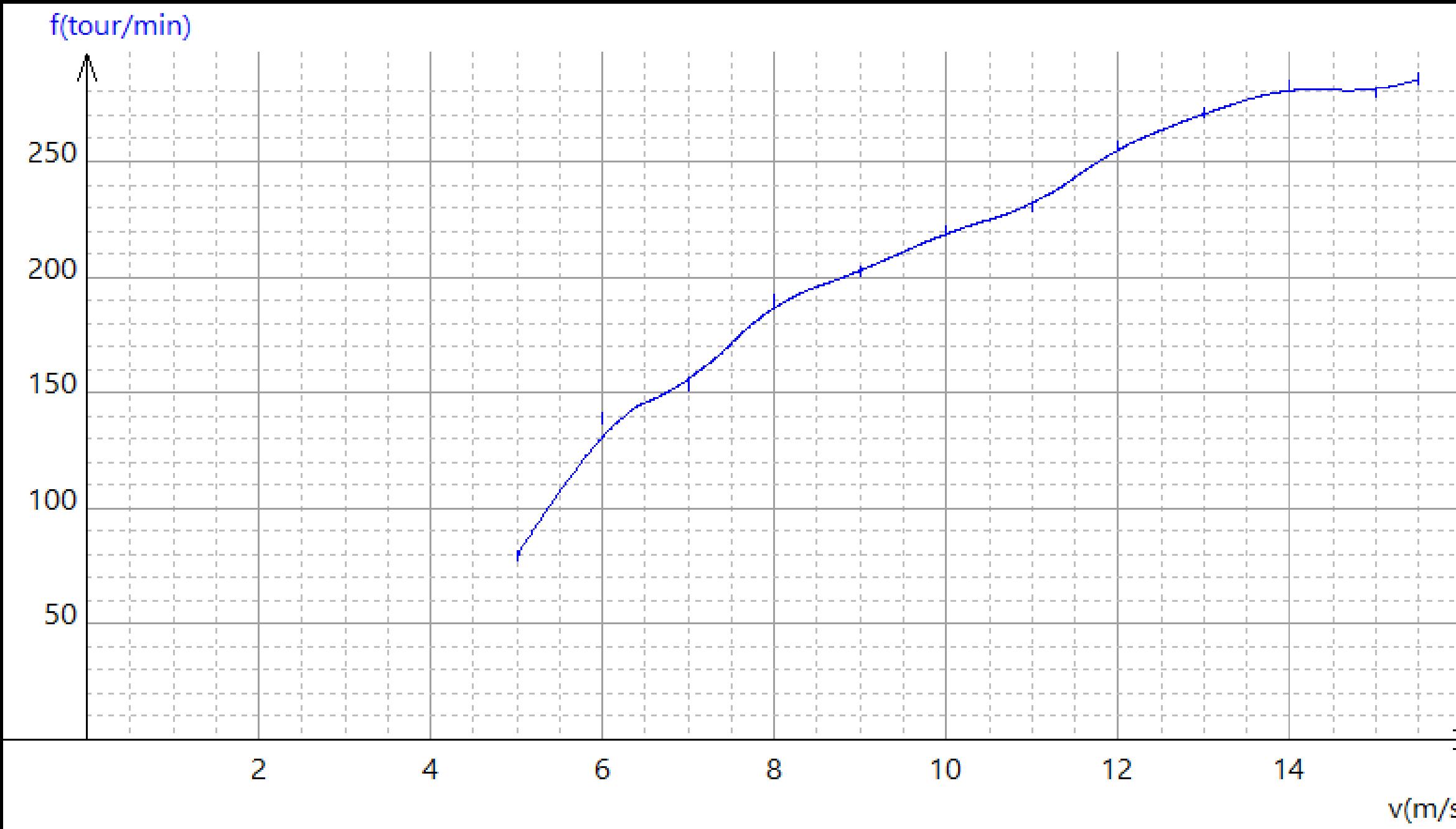
- Excellente vitesse de rotation
- Système léger

Points faibles :

- Système instable
- Légers défauts de découpes (influence négligeable)

Paramètres jouants sur le fonctionnement de l'éolienne

Le vent



Fréquence de rotation du rotor (tour/min) en fonction de la vitesse du vent (m/s) à 1 mètre de la turbine

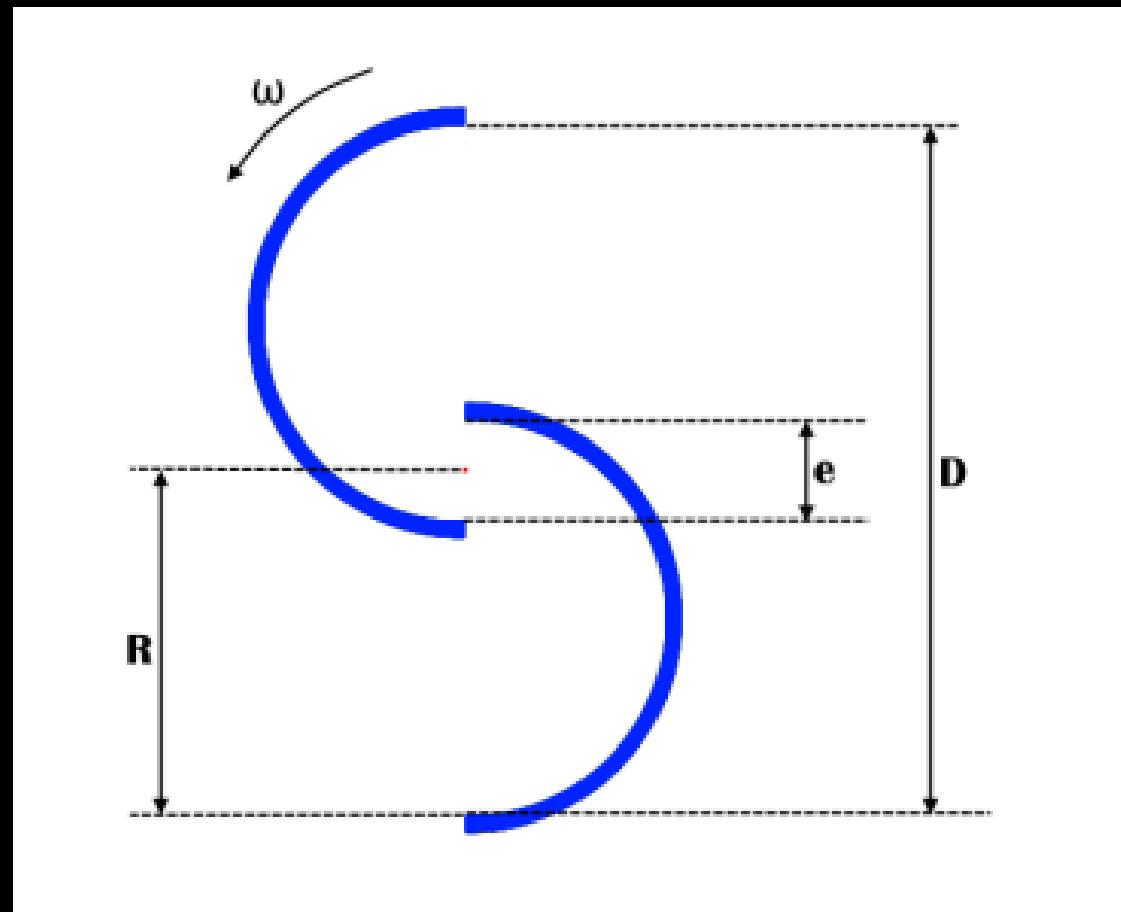
Force de frottement fluide

$$f = K v^x$$

Vitesse de vent élevé => force de frottement plus forte

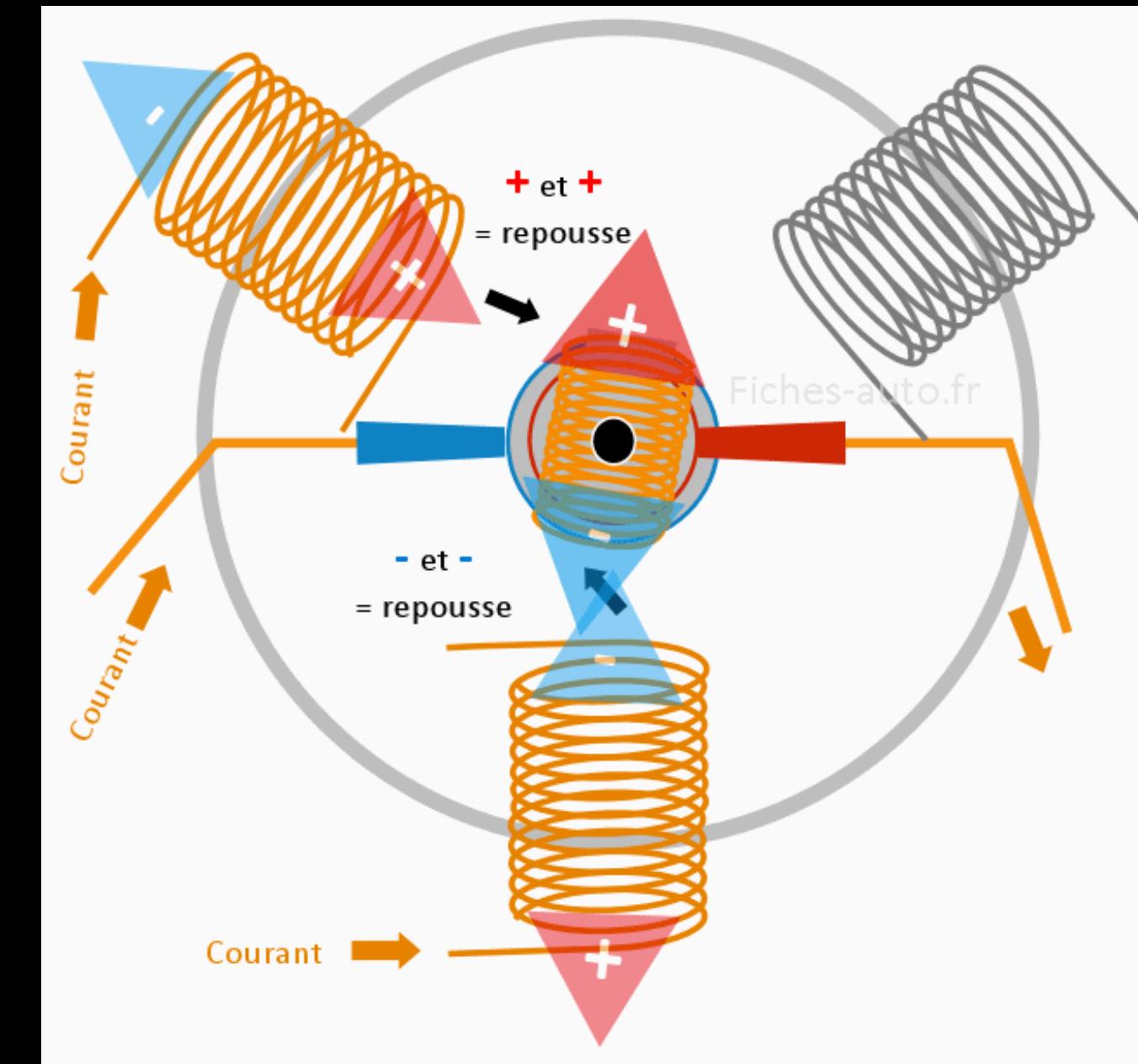
Paramètres jouants sur le fonctionnement de l'éolienne

Architecture de l'éolienne



Facteurs influents de manière significatives :

- Nombre de pales
- Surface au vent
- Rapport des distances

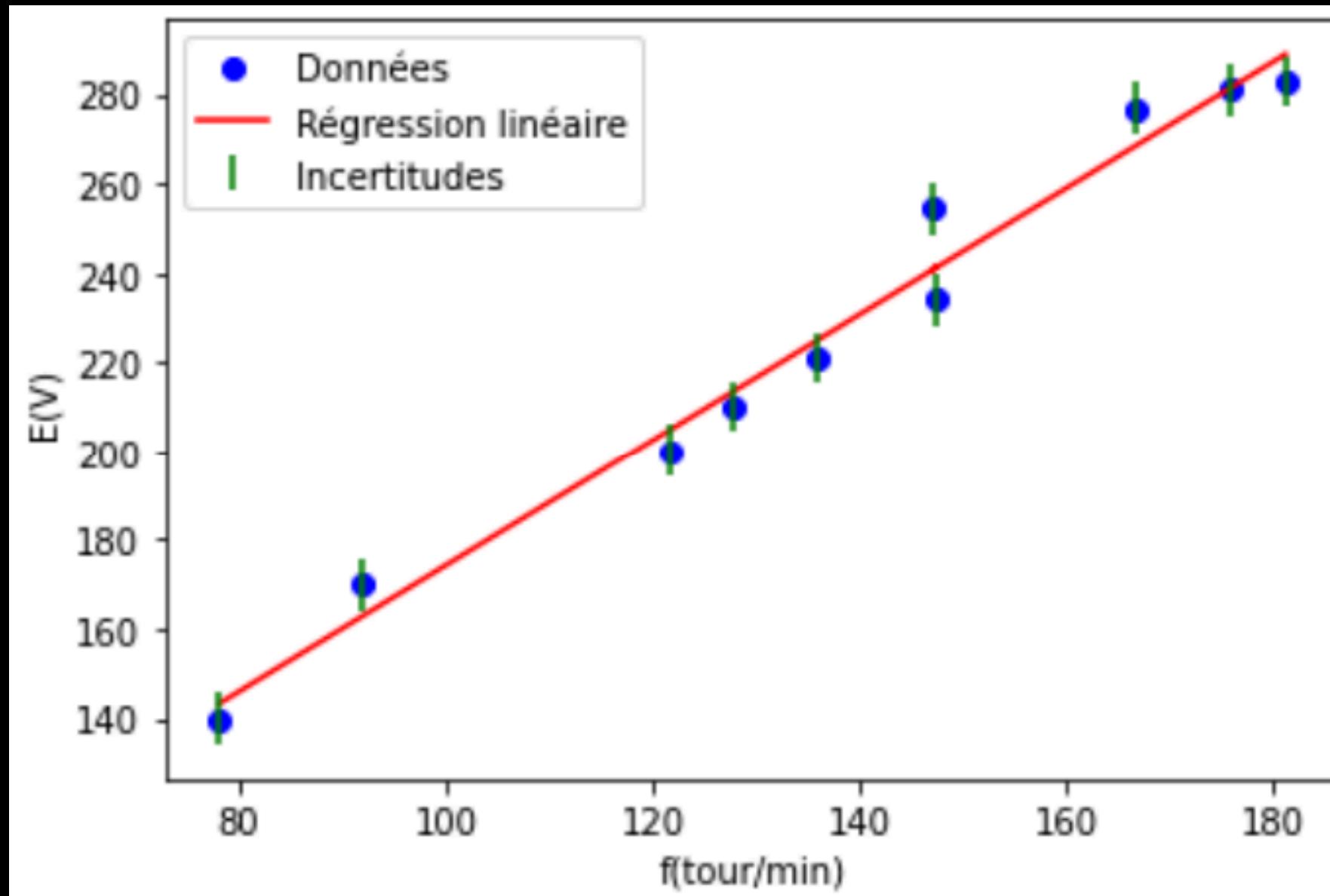


Flux à travers la bobine :

$$\Phi_{total} = NS(B - B')$$

Paramètres jouants sur le fonctionnement de l'éolienne

Induction et composant électrique



f.é.m induite en fonction de la fréquence de rotation du rotor (tour/min)

Cohérence avec la loi de Faraday

$$B(t) = A \cos(\omega t) + B$$



$$\phi(t)_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = (A \cos(\omega t) + B) * S * \cos(0) = S A \cos(\omega t) + B S$$



$$\xi = -\frac{d\phi}{dt} = S A \omega \sin(\omega t) = k \omega = 2 k \pi f$$

Influence du nombre de spires

$$\xi = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements et optimisation

Les différents rendements

$$R_{total} = \frac{P_{électrique}}{P_{vent}}$$

$$R_{rotor / vent} = \frac{P_{rotor}}{P_{vent}}$$

$$R_{électrique / rotor} = \frac{P_{électrique}}{P_{rotor}}$$

Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements et optimisation

Rendement Total

Puissance électrique notée P_{elec}

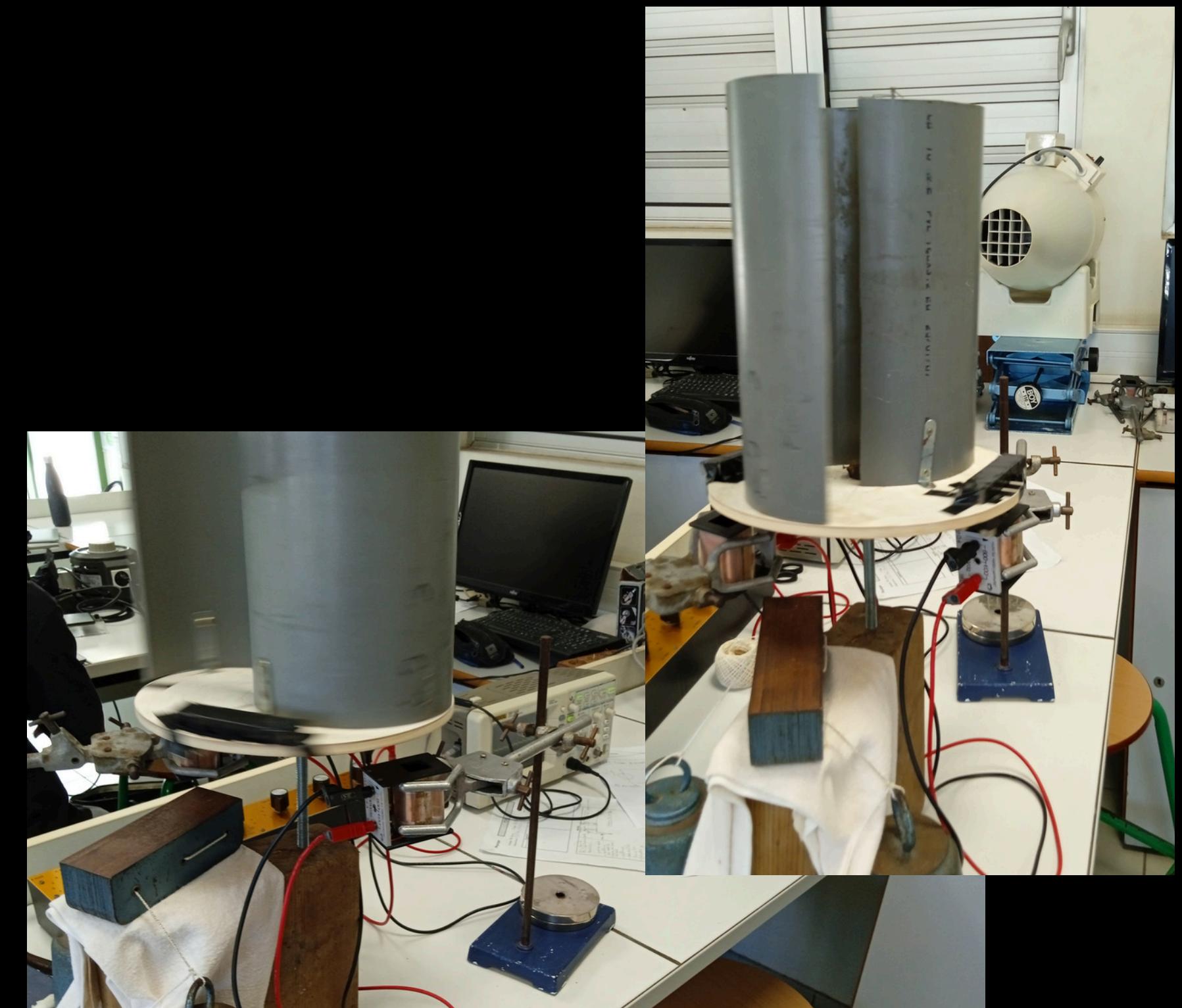
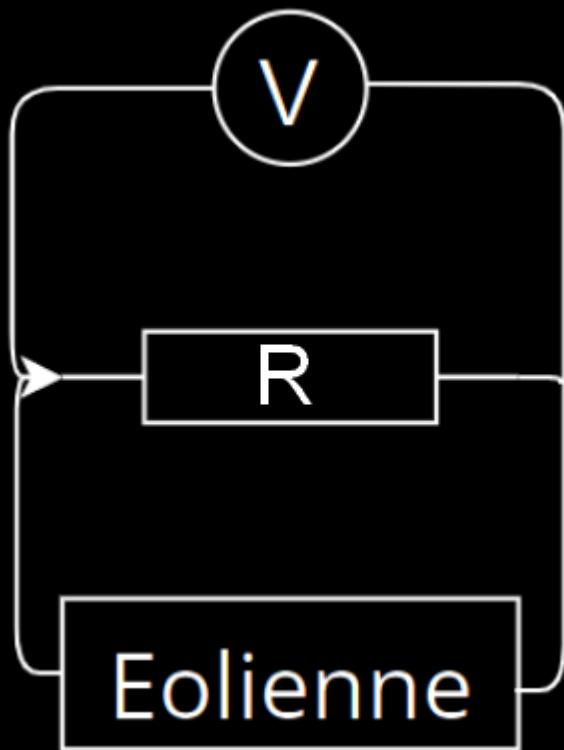
Notations

$$P_{elec} = U \cdot I$$

P_{elec} : puissance électrique (W)

U : tension (V)

I : intensité (A)

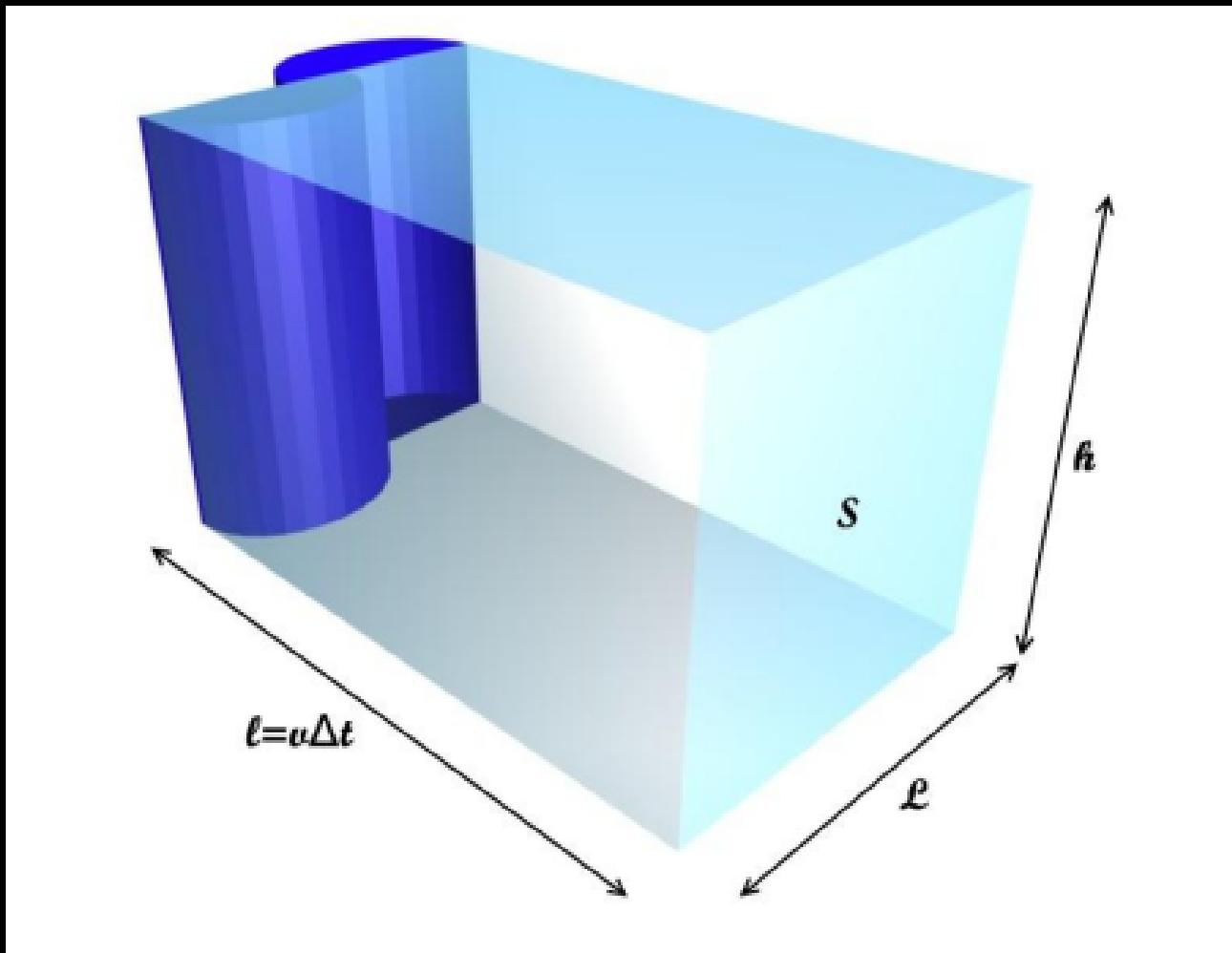


Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements et optimisation

Rendement Total

Puissance du vent notée P_{vent}



Il y a N particules d'air de masse m , dans ce pavé, arrivant sur le rotor de l'éolienne pendant une durée Δt

Hypothèses & Notations

Le vent émis par le souffleur est un fluide en écoulement parfait, stationnaire, incompressible et unidimensionnel.

ρ : masse volumique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

N : nombre de particules

m : masse d'une particule (kg)

V : volume du cylindre (m^3)

S : surface (m^2)

Δt : durée (s)

Masse volumique du cylindre : $\rho = N \cdot m/V$

Or, $V = S \cdot l = S \cdot v \cdot \Delta t$ D'où $N = S \cdot v \cdot \Delta t \cdot \rho / m$

Expressions

$$Ec = (1/2) \cdot N \cdot m \cdot v^2 = (1/2) \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \cdot \Delta t$$

$$P_{vent} = Ec / \Delta t = (1/2) \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements et optimisation

Rendement Intermédiaires

Rendement aérodynamique

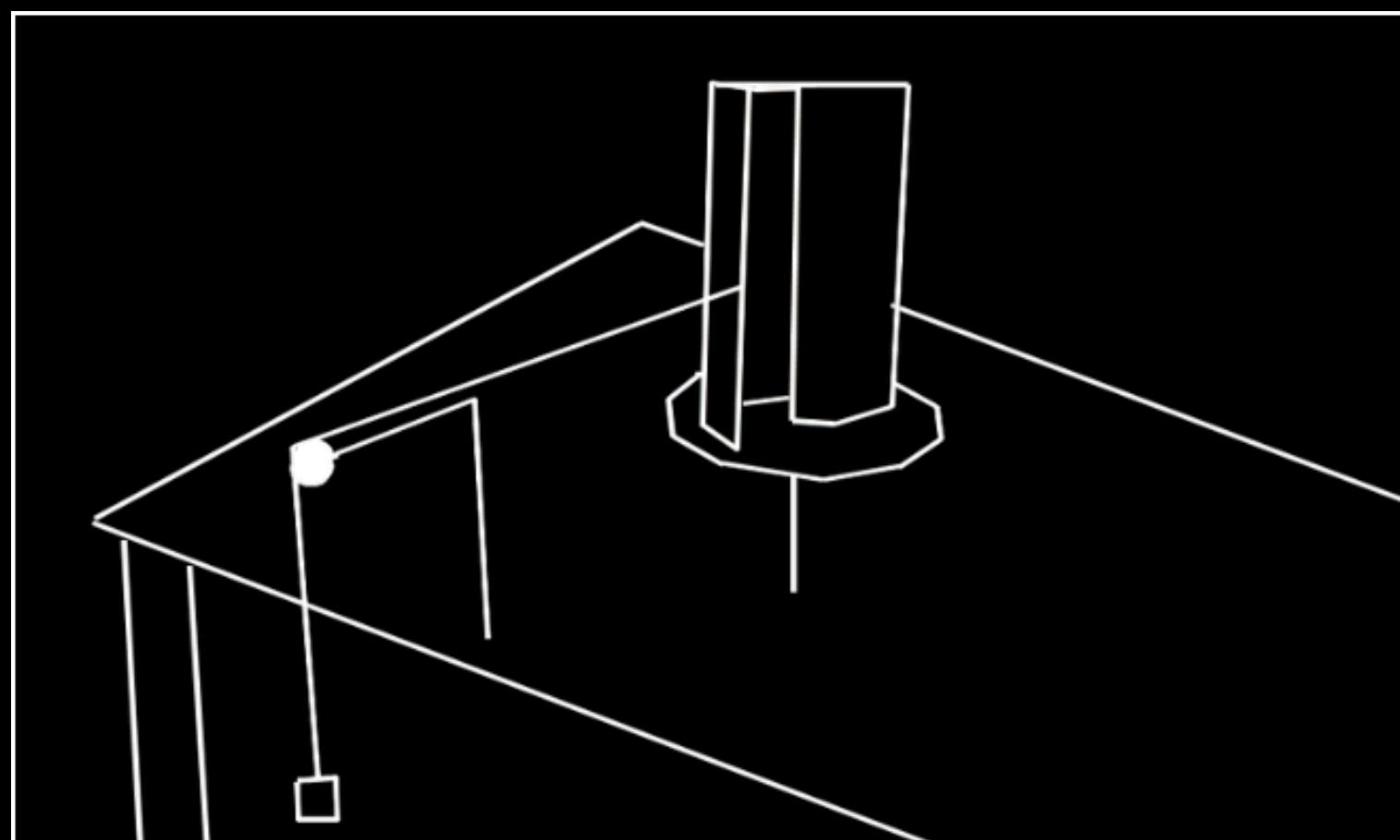
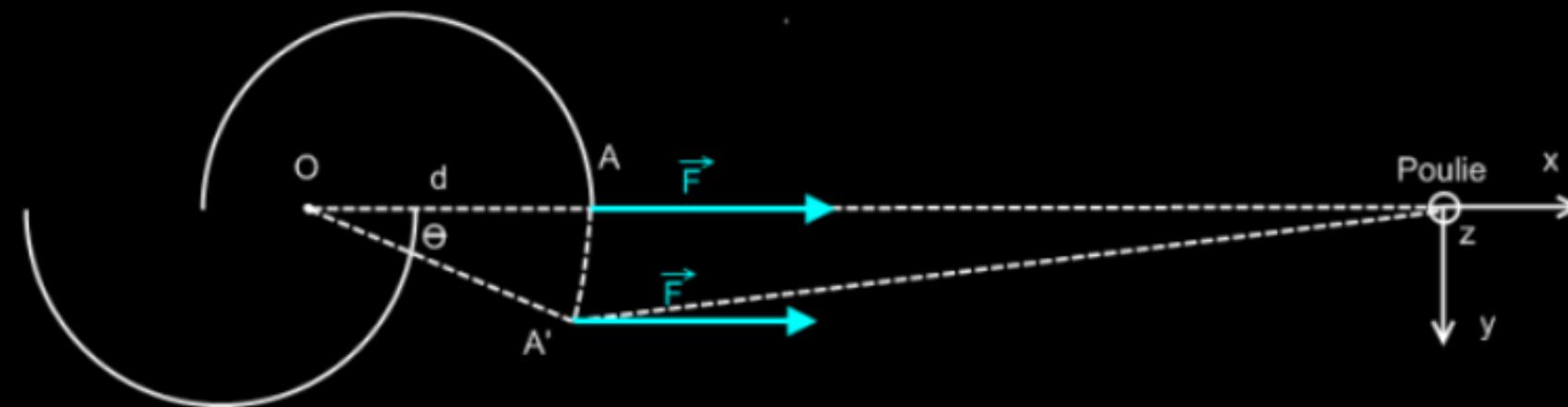
Hypothèses & Notations

Petits angles ($\theta = 5^\circ$)

θ : angle de rotation (degré)

Poids de masse $m = 100$ g

d , distance entre Oz est le point d'application de la force F



Théorème du moment cinétique

$$J_{Oz} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} = M_{Oz}(\vec{F}_A) \longrightarrow M_{Oz}(\vec{F}_A) = -d \cdot m \cdot g \cdot \sin \theta \vec{e}_z$$

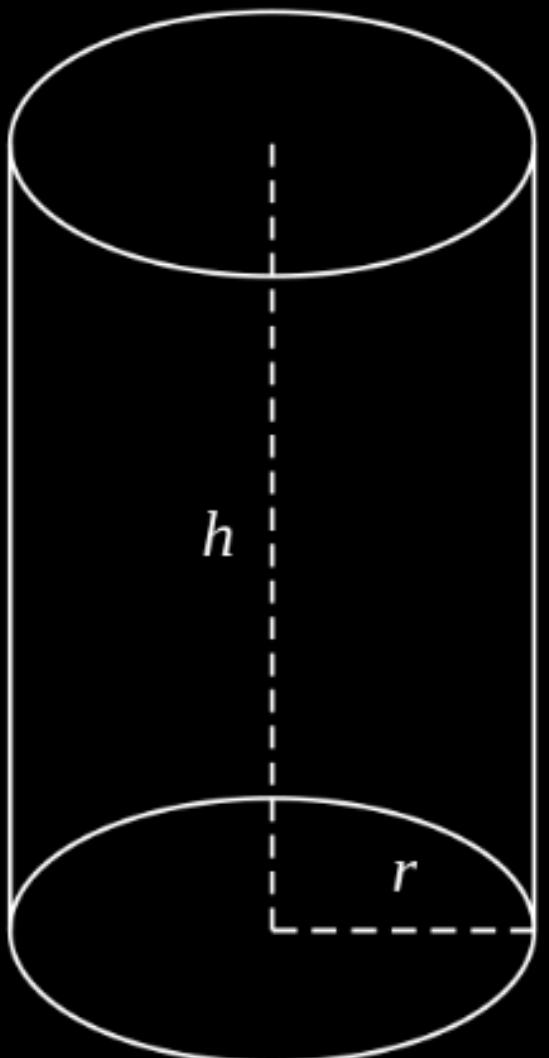
D'où l'équation différentielle :

$$\frac{d\theta^2}{dt^2} + \frac{d \cdot m \cdot g}{J_{Oz}} \theta = 0 \longrightarrow J_{Oz} = \frac{d \cdot m \cdot g \cdot T_0^2}{4\pi^2}$$

Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements et optimisation

Calcul du moment d'inertie :



A partir d'un modèle, on a :

$$J_{0z} = \int_0^R r^2 dm$$

$$J_{0z} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2$$

Avec :

M la masse du disque

r son rayon

Application Numérique

$$J_{\text{modèle}} = 1,128 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$



Ecart de 0,1%

Expérimentalement on a :

$$J_{0z} = \frac{d \cdot m \cdot g \cdot T_o^2}{4\pi^2}$$

Application Numérique

$$J_{\text{expérience}} = 1,138 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$



Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements

- Expression du couple aérodynamique

Le TEC appliqué au rotor donne :

$$J_{0z} \cdot \frac{d\omega}{dt} = C_{résistant} + C_{aérodynamique} = 0$$

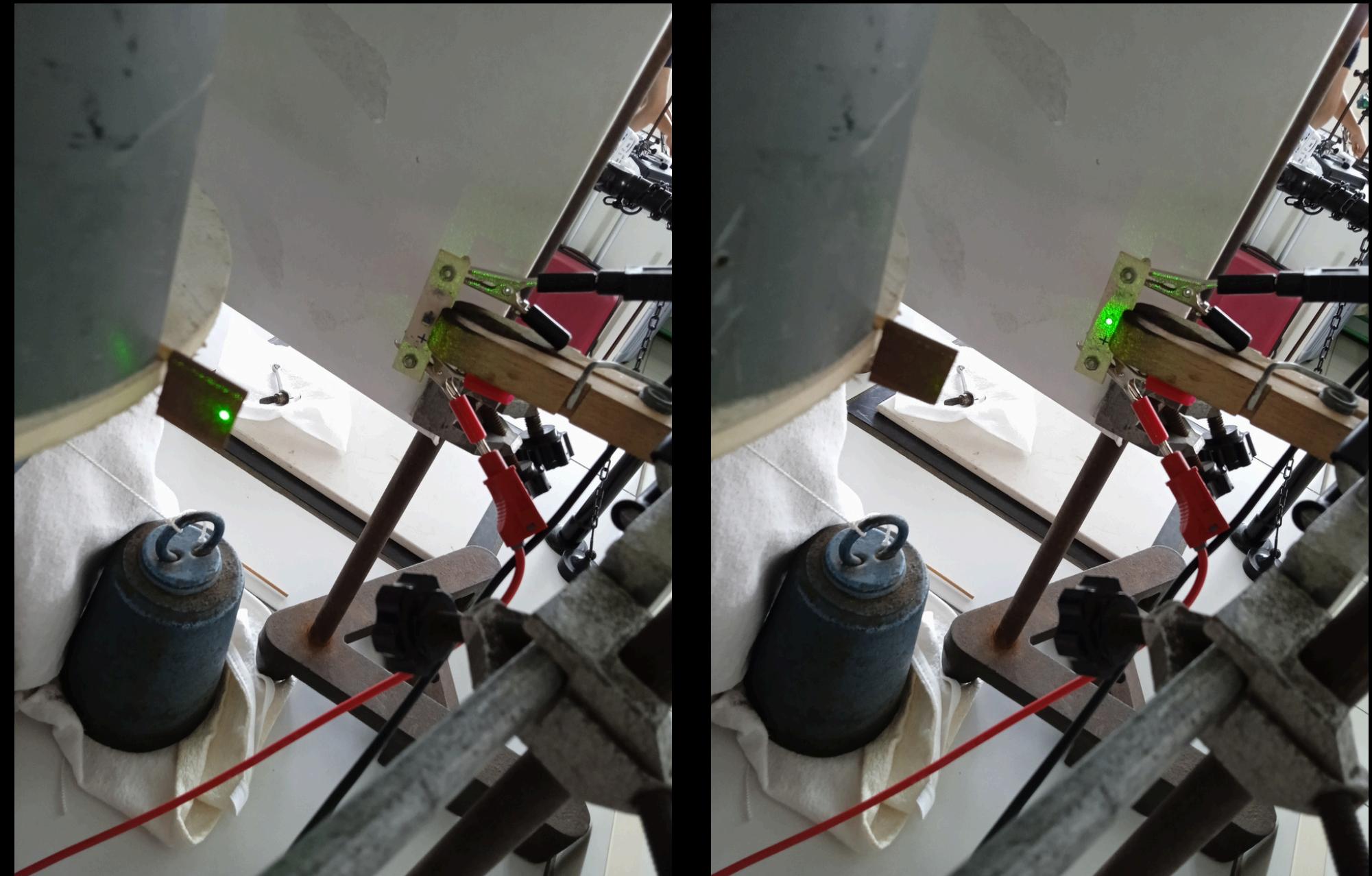
A t = 0 :

Le souffleur est arrêté et le couple exercé par le vent est nul.

Cependant les couples se compensaient au temps 0⁻

Ainsi on a :

$$J_{0z} \cdot \frac{d\omega}{dt} = -C_{aérodynamique}$$

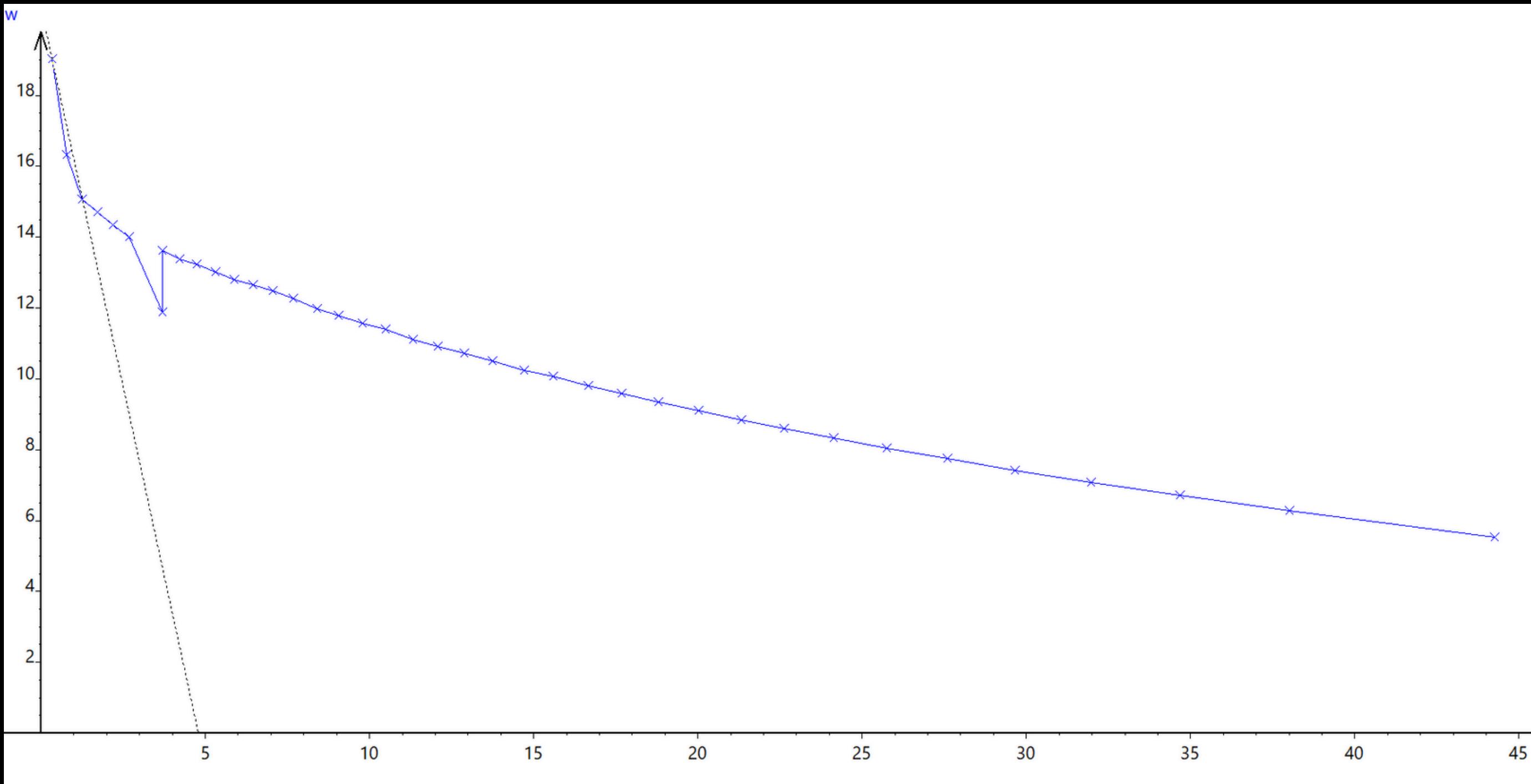


Photos du principe de mesure

Etude pratique & optimisations envisageables

Trouver $\frac{d\omega}{dt}$:

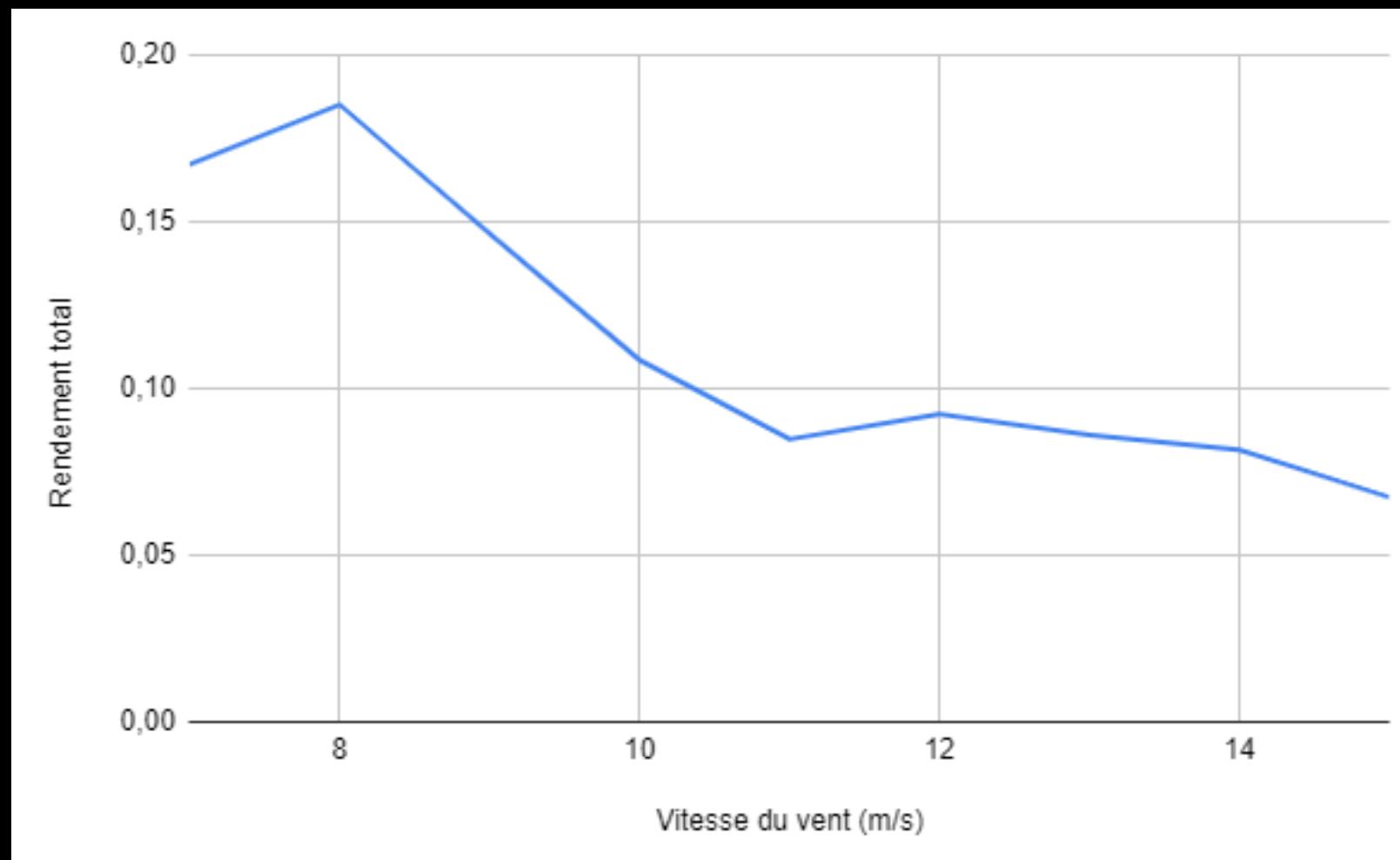
Rendements



Vitesse angulaire en fonction du temps

Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements



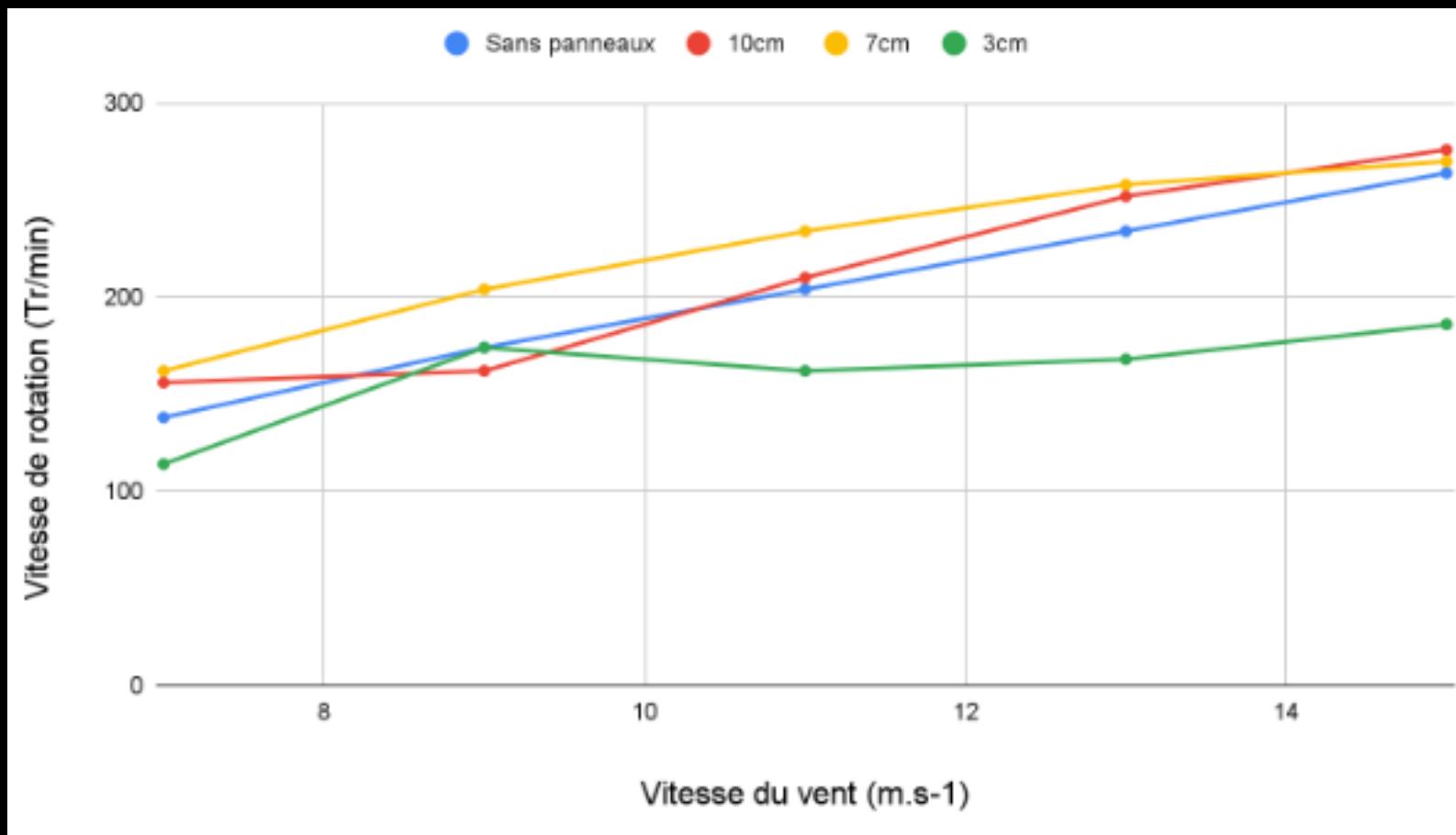
Rendement total en fonction de la vitesse du vent

$$R_{\text{aero}} = 0,1\%$$

$$R_{\text{elec}} = 1,5\%$$

Etude pratique & optimisations envisageables

Rendements



Vitesse de rotation en fonction de la vitesse du vent pour des panneaux éloignés à différentes distances



Photo de la situation

Etude pratique & optimisations envisageables

Analyse comparative

Situation



Le véhicule en mouvement à 1m de l'éolienne crée une perturbation dans le fluide (l'air) qui entraîne une variation de pression et de vitesse du vent

Equation de Bernouilli

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh = \text{constante}$$

- P est la pression du fluide en un point donné de l'écoulement,
- ρ est la densité du fluide,
- V est la vitesse du fluide à ce point,
- g est l'accélération gravitationnelle,
- h est l'altitude du point par rapport à un référentiel choisi,
- la constante est la même le long de la ligne de courant.

Hypothèses

Les turbulences ne sont pas prises en compte dans nos calculs

On modélise un véhicule par un volume donné en m^3

On note ρ la densité de l'air ($=1.225$)

Le coefficient de traînée pour une voiture type est $C_t = 0.8$

On considère qu'en milieu urbain les véhicules roulent à 50 km/h

Etude pratique & optimisations envisageables

Analyse comparative

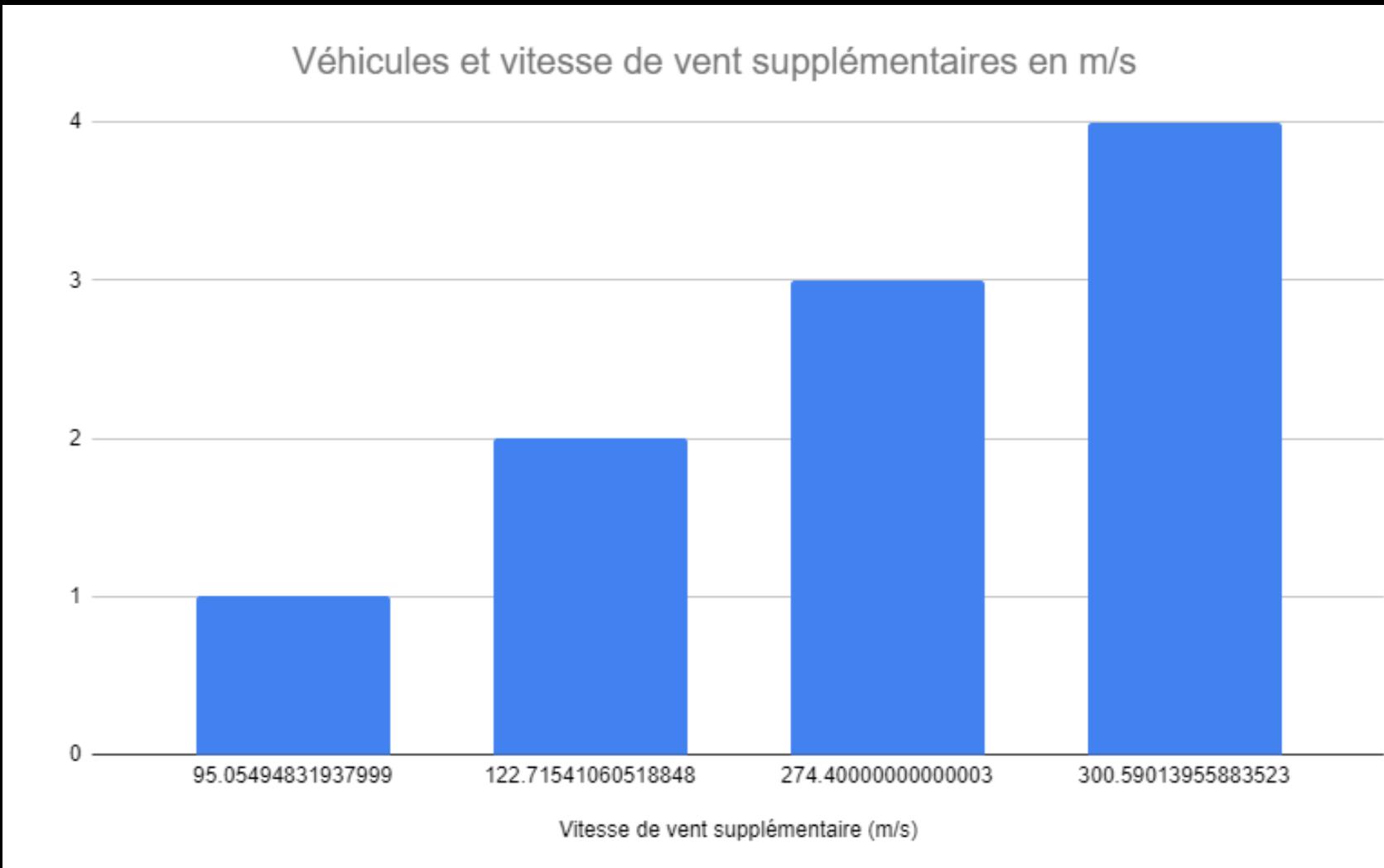
Résultats :

Camion

BUS

SUV

Citadine



Vitesse du vent allant de 1 m/s à 20 m/s



Le gain instantané obtenu par le passage d'un véhicule va de +475% pour une citadine jusqu'à +1500% pour un camion

Etude pratique & optimisations envisageables

Analyse comparative

Coût annuel maintenance d'une éolienne Savonius > 100 euros

Coût annuel d'un lampadaire \approx 60 euros



Prix d'installation d'une éolienne Savonius
10000 euros ~ 20000 euros

- > Impact écologique
- > Pollution visuelle

Conclusion

Sources des images

https://www.google.com/search?q=%C3%A9olienne+savonius+urbaine&tbm=isch&ved=2ahUKEwjGsoDOzKb_AhWvmycCHYStA_UQ2-cCegQIAAA&oq=%C3%A9olienne+savonius+urbaine&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoFCAAQgAQ6BggAEAgQHjoHCAAQGBCABDoECAAQHIC7A1jnCmDvC2gAcAB4AIAB1QGIa4MkgEDMi04mAEEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=gO56ZMbyHa-3nsEPhNuOqA8&bih=979&biw=1815&client=opera-gx&hl=fr#imgrc=WMMk3tJ7vO4TiM

<https://www.fiches-auto.fr/articles-auto/voiture-electrique/s-2265-fonctionnement-du-moteur-synchrone-a-rotor-bobine.php>

<https://myprivacy.dpgmedia.be/consent?siteKey=atXMVFeyFP1Ki09i&callbackUrl=https%3A%2F%2Fwww.7sur7.be%2Fprivacy-gate%2Faccept-tcf2%3FredirectUri%3D%252Fbelgique%252Fnos-routes-eclairees-la-nuit-une-simple-question-de-securite-vraiment~abc23e7e%252F>

<http://n3eme1gr3.unblog.fr/2010/04/20/dessin-de-leolienne/>