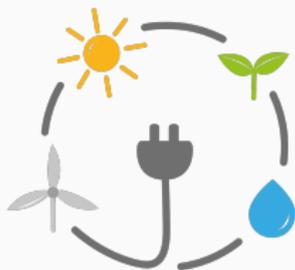


Simulation de l'aérodynamique d'une éolienne à effet Magnus

Stivane ZARA, Xavier ESCRIVA et Marc BUFFAT

12 Juillet 2024

Université Claude Bernard Lyon 1, LMFA



Éolienne VAWT à effet magnus

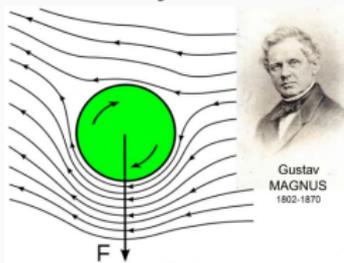
Éolienne sans pales : typhoon turbine Challenergy

3 cylindres en rotation + effet magnus → rotation d'ensemble



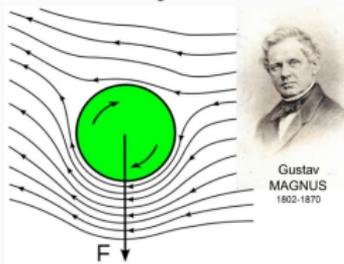
Effet Magnus

- Principe : portance sur un cylindre en rotation

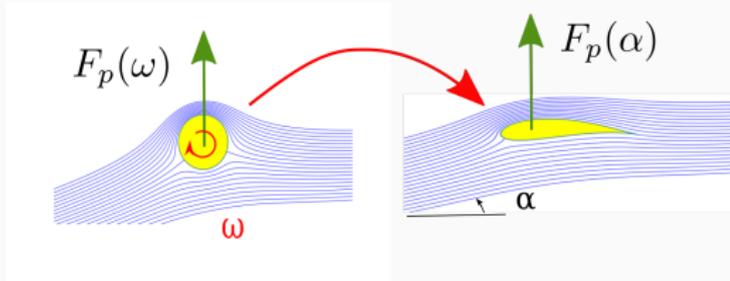


Effet Magnus

- Principe : portance sur un cylindre en rotation



- Théorie de l'aile : transformation conforme \rightarrow portance



- Force aérodynamique : loi de portance

$$C_L = C_L\left(\frac{\omega R}{U_0}, Re\right) \iff C_L = C_L(\alpha, Re)$$

Application de l'effet Magnus

- propulsion : turbo voile (Flettner 1920)



Application de l'effet Magnus

- propulsion : turbo voile (Flettner 1920)

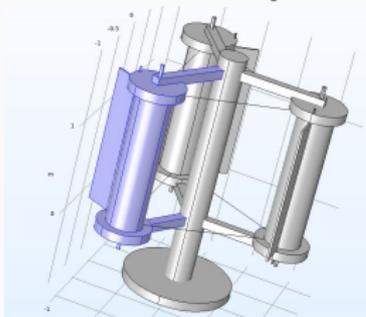


- génération d'énergie : éolienne à effet magnus

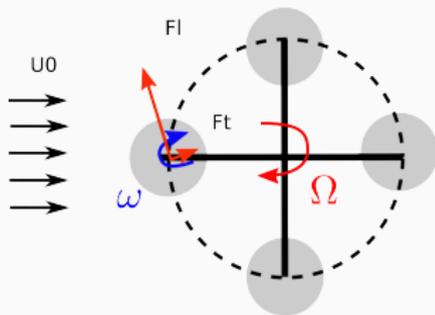


Nouveau concept d'éolienne à effet Magnus

- Eolienne à axe vertical avec des cylindres en rotation

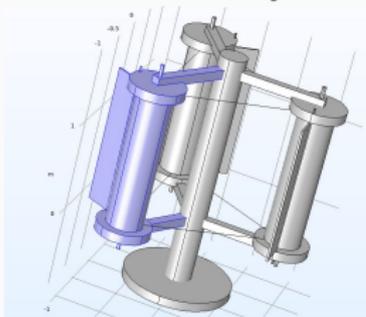


- Principe (aérodynamique)

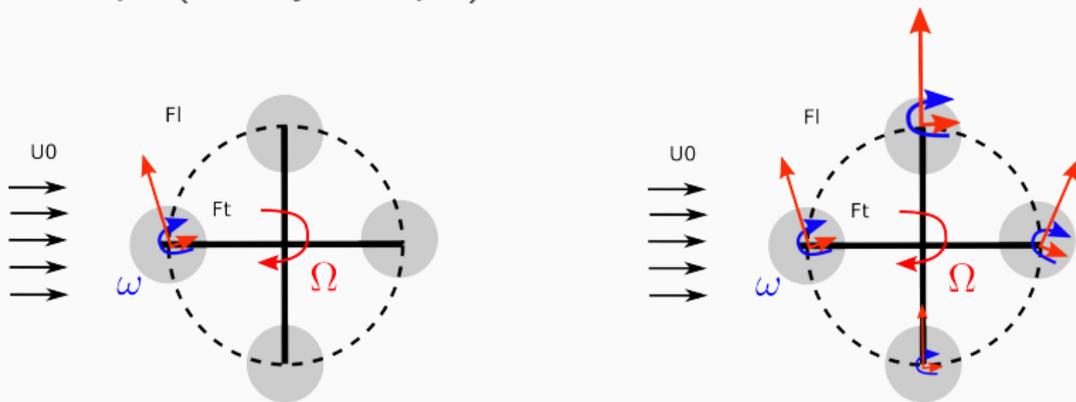


Nouveau concept d'éolienne à effet Magnus

- Eolienne à axe vertical avec des cylindres en rotation



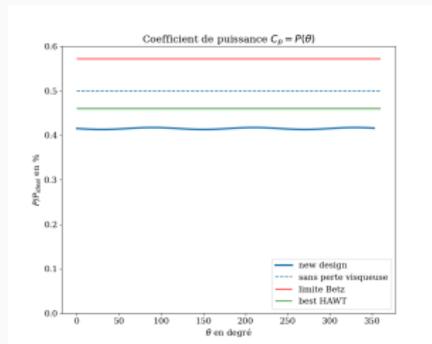
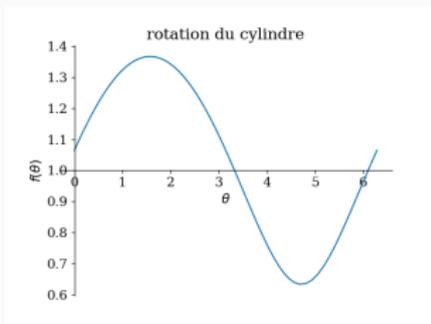
- Principe (aérodynamique)



Nécessité d'un contrôle !

Avec un modèle fluide parfait pour les forces aérodynamiques

- contrôle de la vitesse de rotation



solution optimale d'un point de vue aérodynamique
mais l'accélération et la décélération des cylindres
nécessite un système de récupération d'énergie !

- contrôle aérodynamique (carénage)

Intérêt

- Axe vertical : encombrement réduit
- Principe basé sur la portance : grande efficacité
- Contrôle avec 2 paramètres (ω et Ω) : optimisation
- Fonctionne \forall direction et vitesse du vent

Application

- production locale d'énergie décarbonée
- compléments aux panneaux solaires
- moyenne puissance p.e. sur toiture d'immeuble

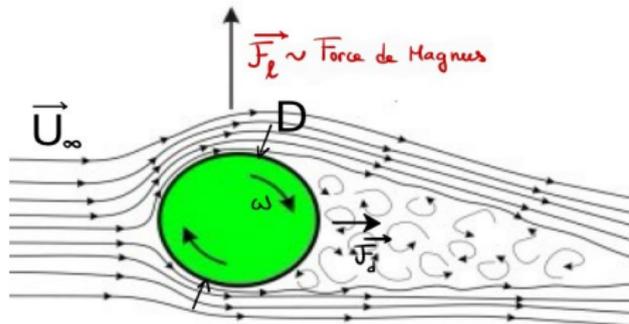
Nécessité d'un modèle aérodynamique plus précis !

$$F_p = F(\omega) \text{ et } F_t = G(\omega)$$



I. Description du problème étudié

Ecoulement autour d'un cylindre en rotation



Les paramètres sans dimension

Taux de rotation

$$\alpha = \frac{\omega D}{2U_\infty}$$

Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{U_\infty D}{\nu}$$



Coefficient de portance et de traîné

$$C_l = \frac{F_l}{0,5 \rho U_\infty^2 D^2} = g(Re, \alpha)$$

$$C_d = \frac{F_d}{0,5 \rho U_\infty^2 D^2} = f(Re, \alpha)$$



II. Modélisation du problème

Hypothèse:

- Ecoulement incompressible à grand Re
- Ecoulement moyen 2D

Modèle de mécanique des fluides :

- Navier Stokes moyennés en 2D
- Modèle de turbulence : $k-\omega$
- EDP non linéaire , en temps et en espace (x,y)

Discrétisation numérique :

Schéma VF d'ordre 2

2 paramètres : pas en temps Δt et maillage (pas en espace)

Description de la méthode numérique

❖ OpenFoam:

- Volumes finis
- Discrétisation en temps et en espace à l'ordre 2

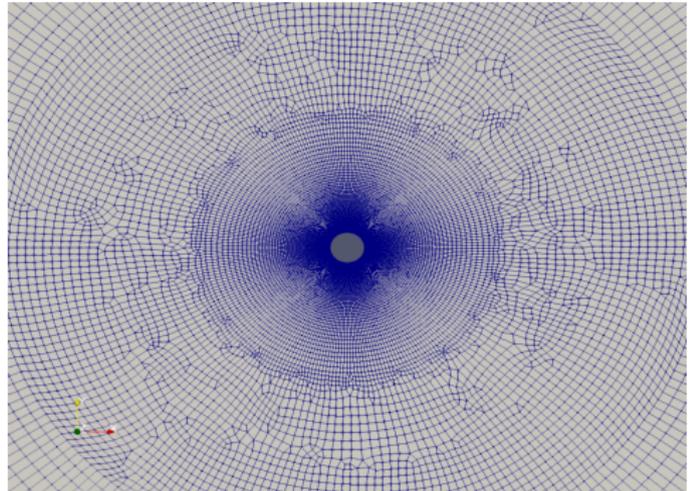
❖ Conditions aux limites

- Ecoulement infini amont
- Condition de vitesse/pression fixé
- Parois du cylindre :
- $V = \omega R$

❖ Maillages utilisés

- Fin : 52k éléments (triangles)
- Moyen : 31k éléments (triangles)
- Moyen : 33k éléments (quadrangles)

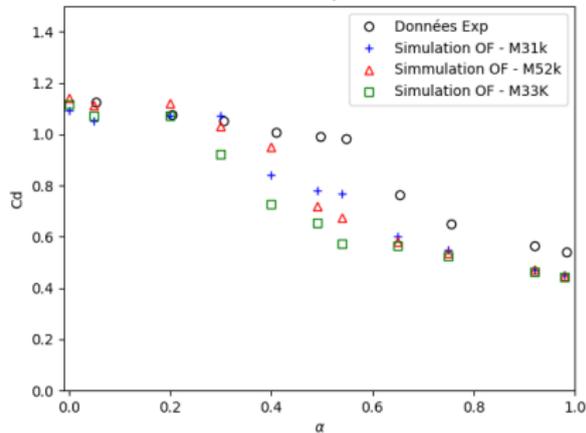
Maillage à 33k éléments



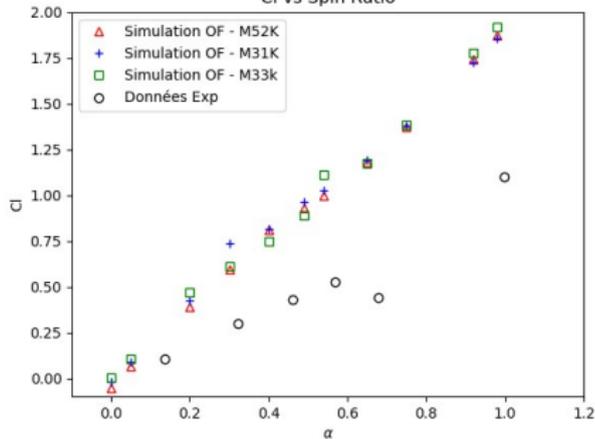
III. Validation du modèle numérique

Convergence en maillage à $Re = 60000$ pour un taux de rotation faible ($0 < \alpha < 1$)

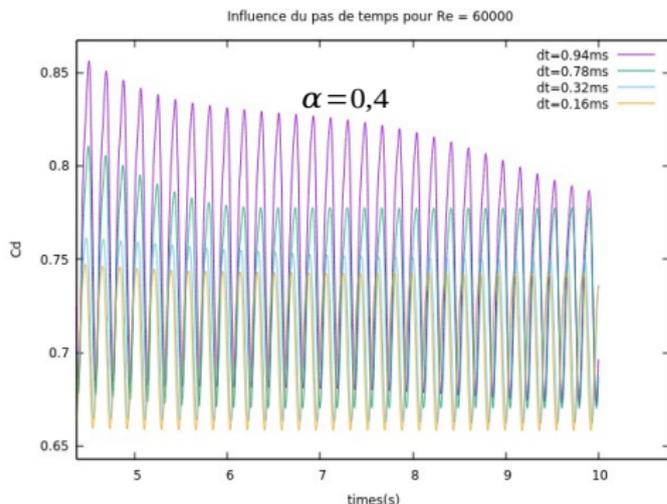
Cd versus Spin Ratio



Cl vs Spin Ratio



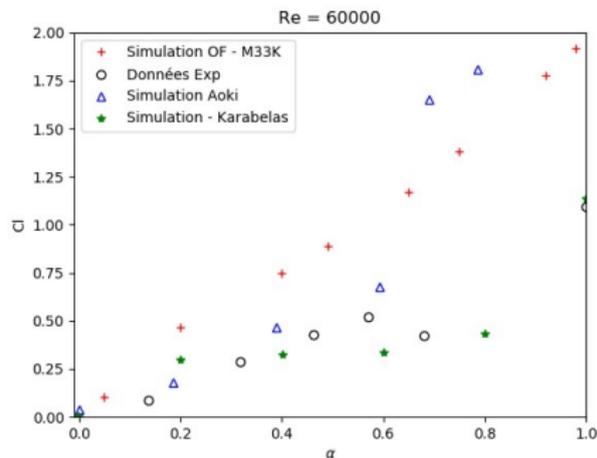
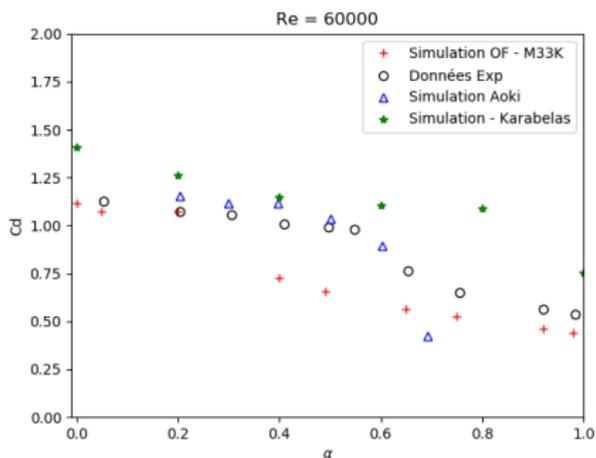
Influence du pas de temps dt



	dt	0,32ms	0,78ms	0,94ms
Erreur relative		0,86%	3,63%	5,88%
		0,85%	0,68%	0,49%

Erreur relative / solution à $dt = 0,16ms$

Validation des résultats (maillage 33k, dt=0,32ms) avec les résultats de la littérature

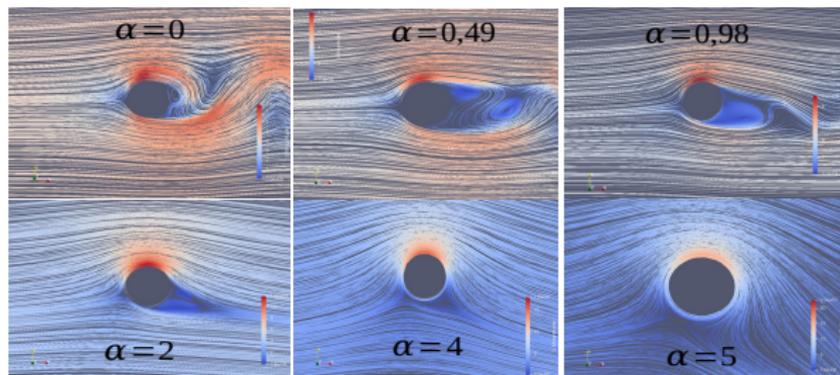


Article : Karabelas et Al ,« 2012 »

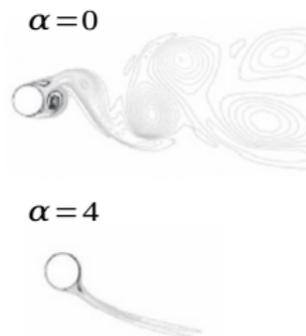
IV. Etude paramétrique en fonction de α

Visualisation des lignes de courants pour différents α

Lignes de courants instantanées

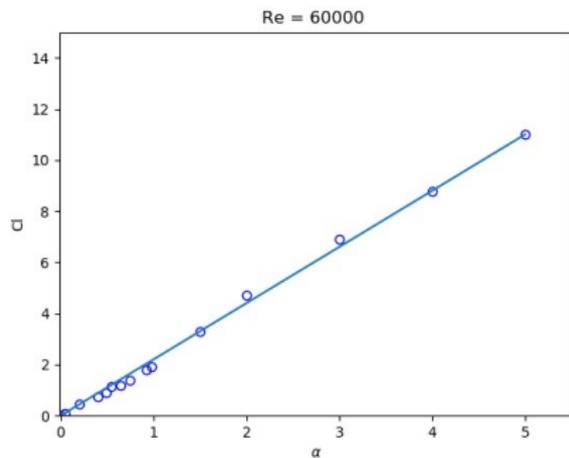
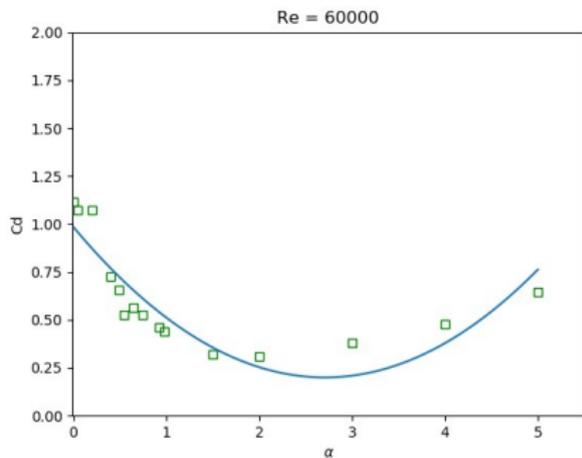


Siefert, « 2012 » : $Re = 72000$



Coefficient aérodynamique en fonction de taux de rotation

$$C_l = 2,2 \alpha$$





V. Conclusion

Bilan

- Validation du modèle numérique à $Re = 60000$ et α petit
- Loi de variation des forces aérodynamiques en fonction du taux de rotation α pour α grand ($0 < \alpha < 5$)

Perspectives

- Etude à des nombres de Reynold plus élevés
- Etude de l'interaction entre deux cylindres l'un derrière l'autre



Merci de votre attention