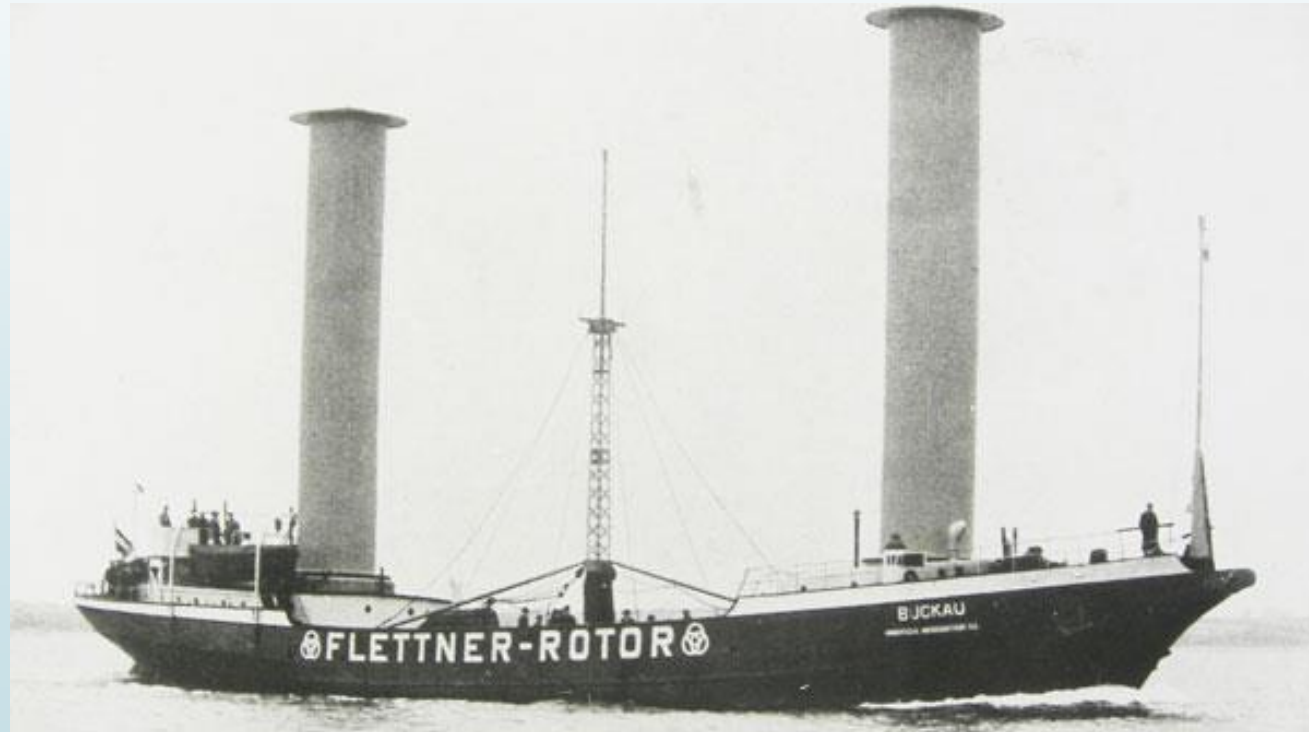


Optimisation du rendement d'un rotor Flettner

1



Sommaire

► Introduction

- Enjeux économiques et écologiques
- Qu'est ce que l'effet Magnus ?

► Etude expérimentale du rotor Flettner

- Etude théorique
- Vérification expérimentale

► Etude dynamique d'un bateau à rotors Flettner

- Conception du bateau
- Etude de ses performances
- Optimisation du dispositif

► Conclusions

► Enjeux économiques et écologiques

2^{ème} secteur économique mondial

95% des marchandises échangées passent par la mer

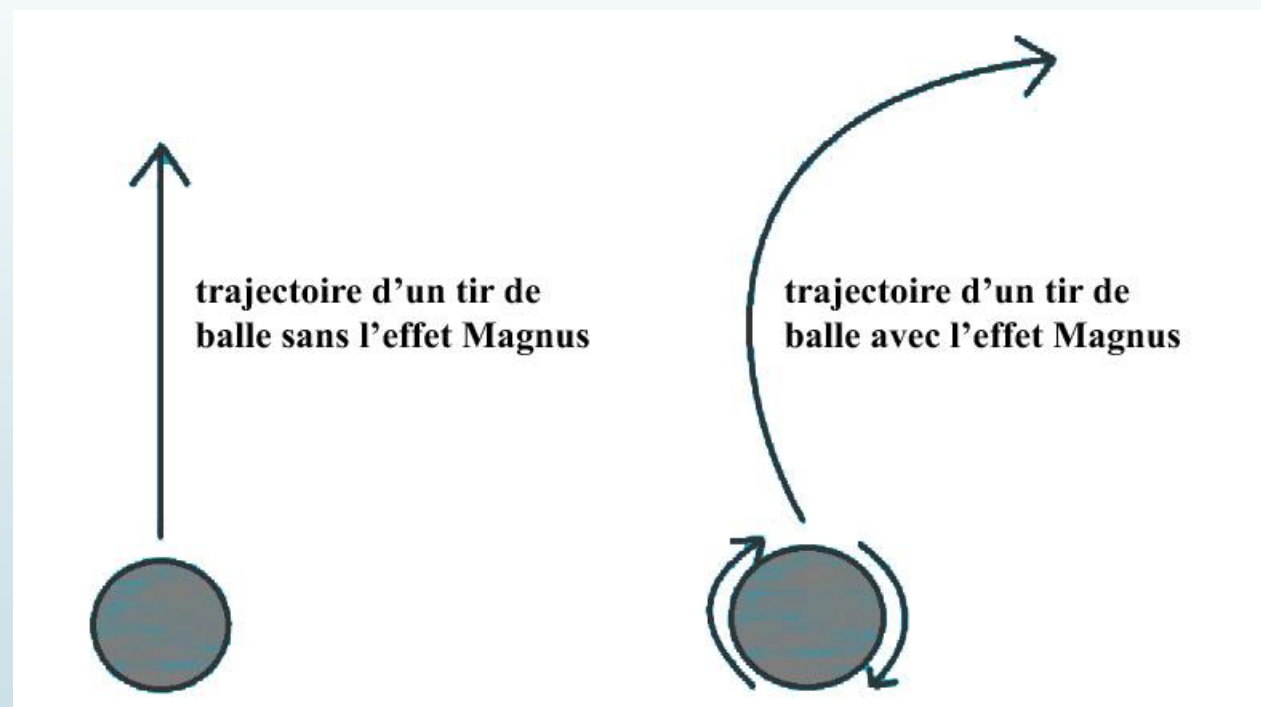
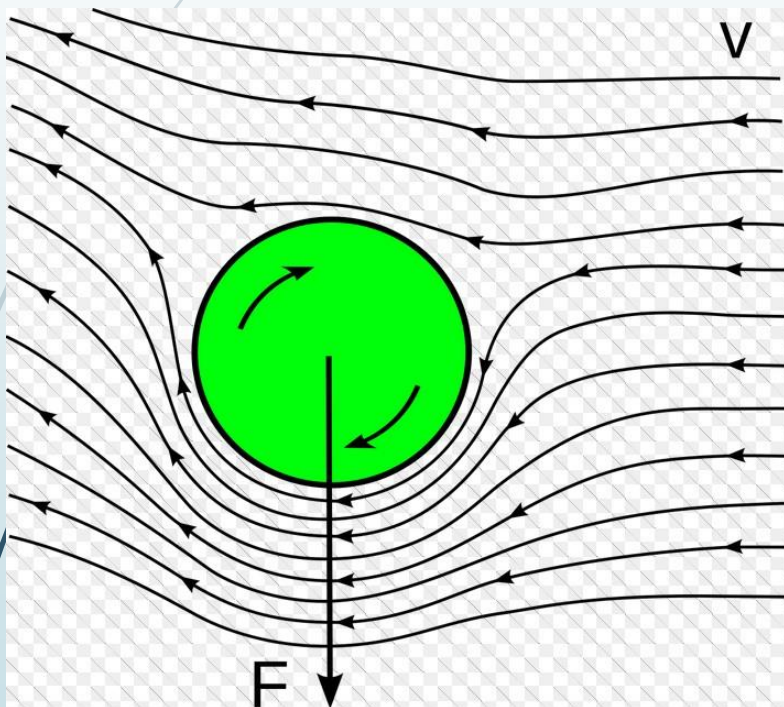
3% des émissions mondiales en CO2

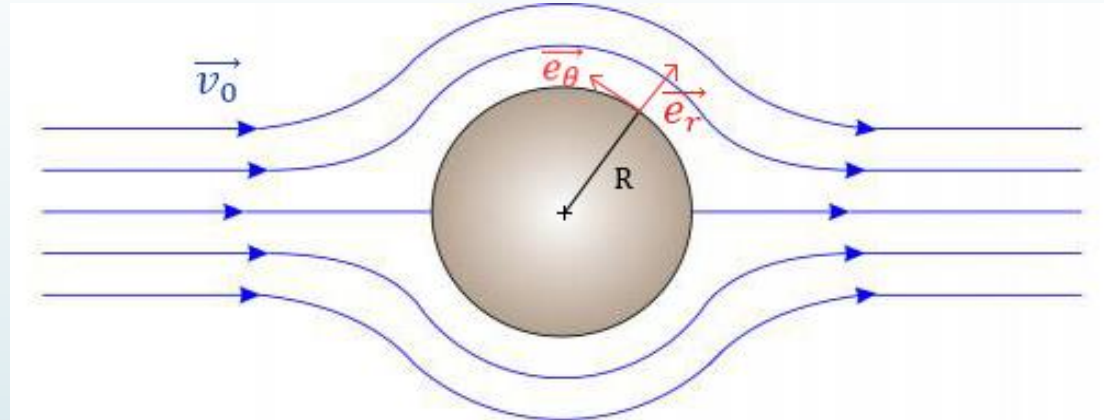
Réduire les dépenses

Préserver l'environnement



► L'effet Magnus



► Etude théorique

Vitesse d'un fluide autour d'un cylindre : $\vec{v}_1 = v_0 \cos(\theta) \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) \vec{e}_r - v_0 \sin(\theta) \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) \vec{e}_\theta$

Vitesse induite par la rotation du cylindre : $\vec{v}_2 = \frac{\omega R^2}{r} \vec{e}_\theta$

Vitesse résultante : $\vec{v} = v_0 \cos(\theta) \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) \vec{e}_r + \left(\frac{\omega R^2}{r} - v_0 \sin(\theta) \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right)\right) \vec{e}_\theta$

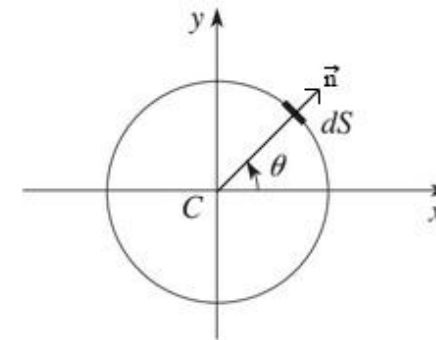
► Etude théorique

Relation de Bernoulli : $\frac{P_0}{\mu} + \frac{v_0^2}{2} = \frac{P(R,\theta)}{\mu} + \frac{v(R,\theta)^2}{2} = \boxed{\frac{P(R,\theta)}{\mu} + \frac{(\omega R - 2v_0 \sin(\theta))^2}{2}}$

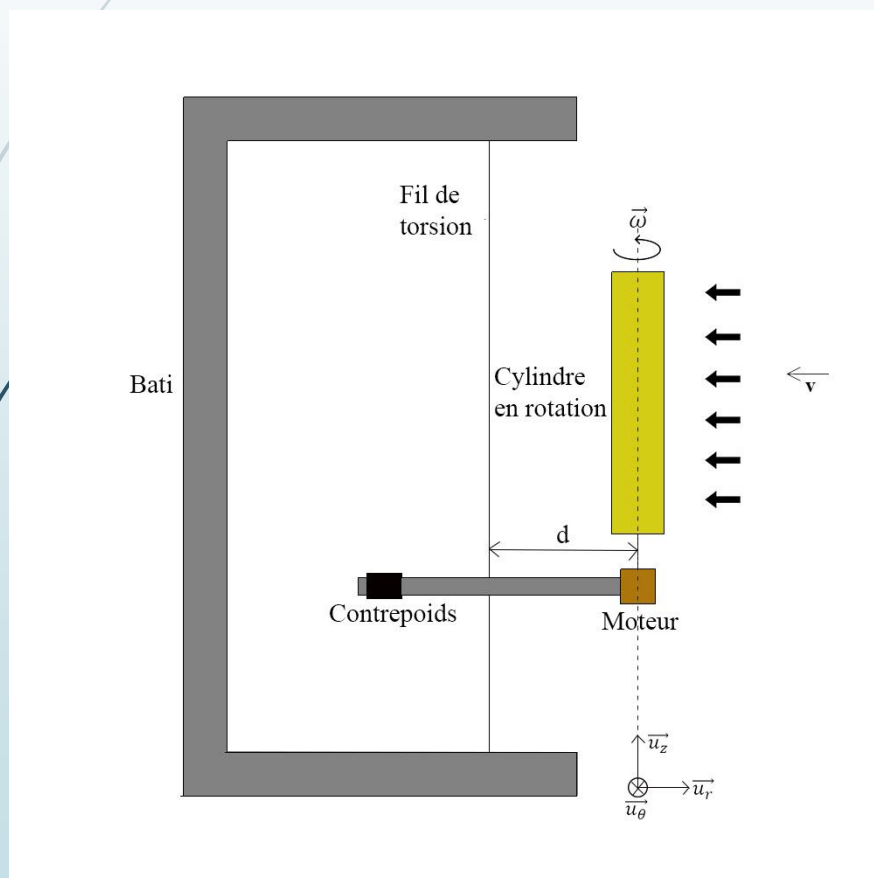
Donc $P(R,\theta) = P_0 + \frac{\mu}{2} [v_0^2 - (\omega R - 2v_0 \sin(\theta))^2]$

Or $d\vec{F} = P \vec{n} dS$ donc $dF_y = P dS \sin(\theta)$

D'où $F = 2\pi\mu h R^2 v_0 \omega$ et $\vec{F} = M \vec{\omega} \Lambda \vec{v}$ avec $\boxed{M = 2\pi\mu h R^2}$



► Vérification expérimentale de la loi suivie par M

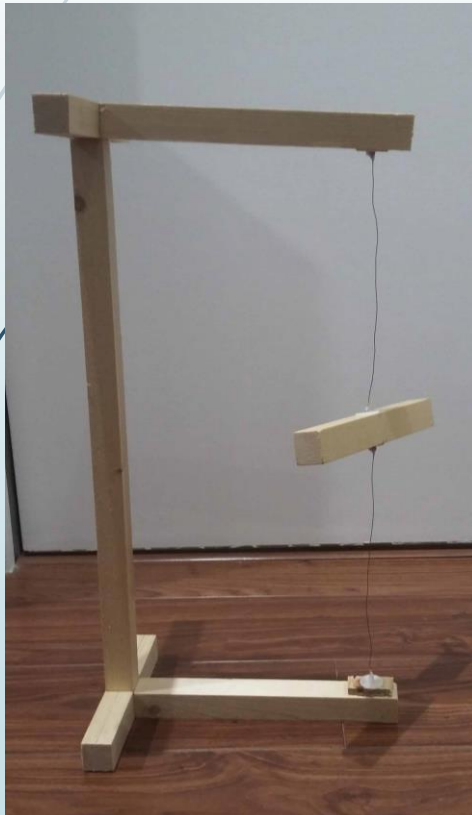


$$\overrightarrow{M_{0(Magnus)}} = \overrightarrow{OA} \wedge (M \vec{\omega} \wedge \vec{v}) = -dM\omega v \overrightarrow{u_z}$$

$$\overrightarrow{M_{0(Torsion)}} = C\theta \overrightarrow{u_z}$$

D'où
$$M = \frac{C\theta_{eq}}{d\omega v} \text{ à l'équilibre}$$

► Détermination de la constante C du fil de torsion



Théorème du moment cinétique : $\ddot{\theta} + \frac{C}{J}\theta = 0$

$$\text{D'où } C = \frac{4\pi^2 J}{T^2} = \frac{\pi^2 m l^2}{3T^2}$$

Données : $m = 76g$, $l = 20cm$ et $T = 1,26s$

AN : $C = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ N.m.rad}^{-1}$

► Résultats expérimentaux et comparaisons



Au départ

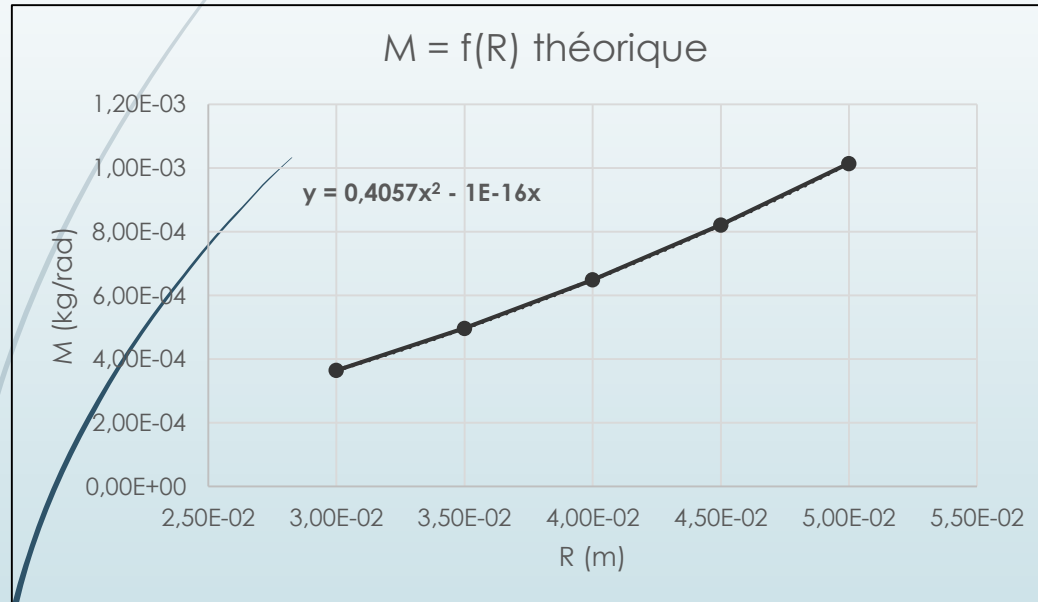


A l'équilibre

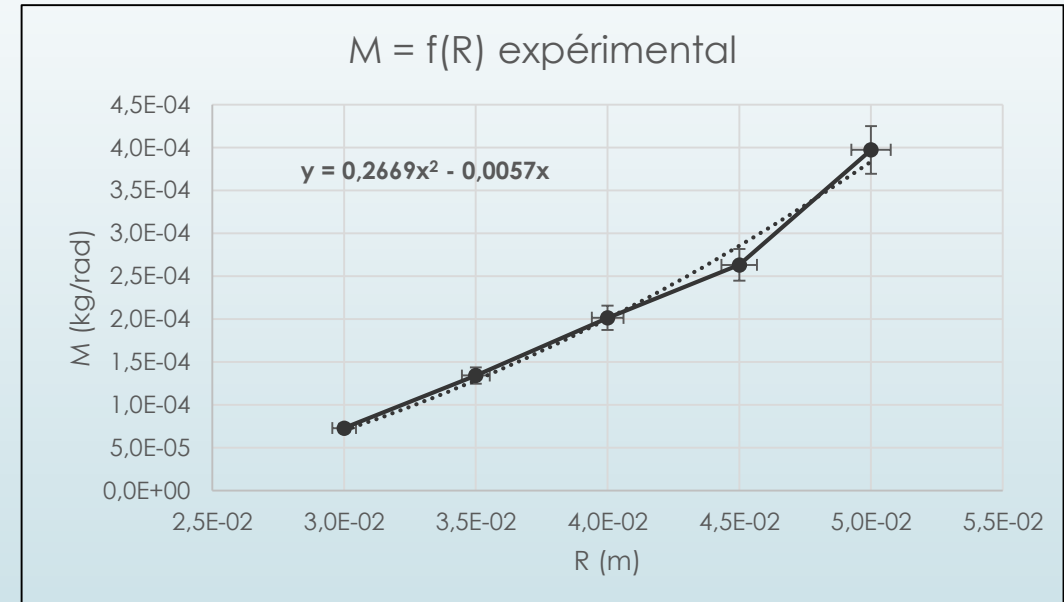
R (m)	θ (rad)	ω (rad/s)	M (kg/rad)
3,00E-02	0,09954	47,854	7,28E-05
3,50E-02	0,15369	40,129	1,34E-04
4,00E-02	0,22765	39,564	2,01E-04
4,50E-02	0,27998	37,240	2,63E-04
5,00E-02	0,37209	32,782	3,97E-04

Données : $v = 1,8\text{m/s}$
 $d = 10\text{ cm}$

► Comparaison des résultats



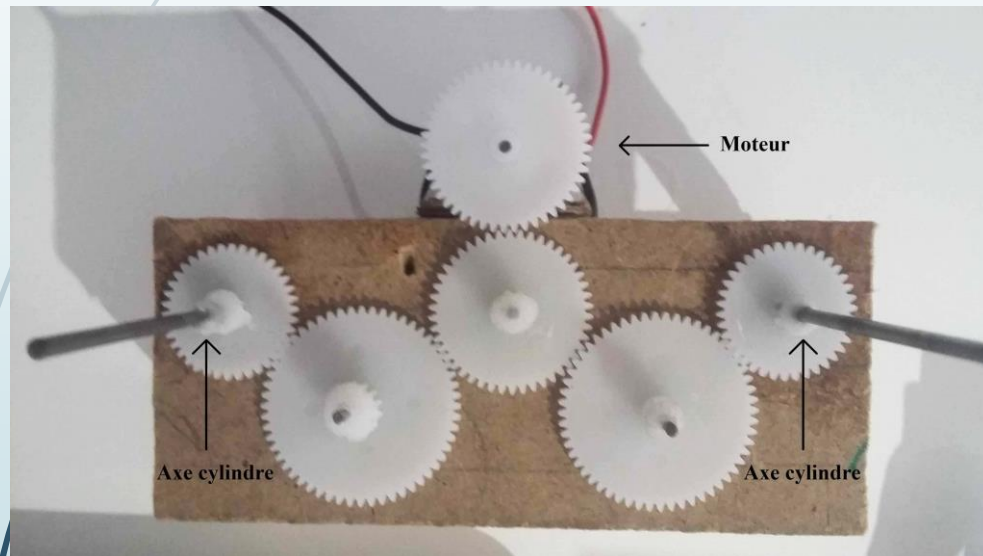
$$M = 2\pi\mu h R^2$$



$$\frac{M}{R^2} = 0,27 \pm 0,03 \text{ kg.m}^{-2}.\text{rad}^{-1}$$

► Conception du bateau

Le train à engrenages



$$r = -\frac{Z1}{Z4} = -1,26$$

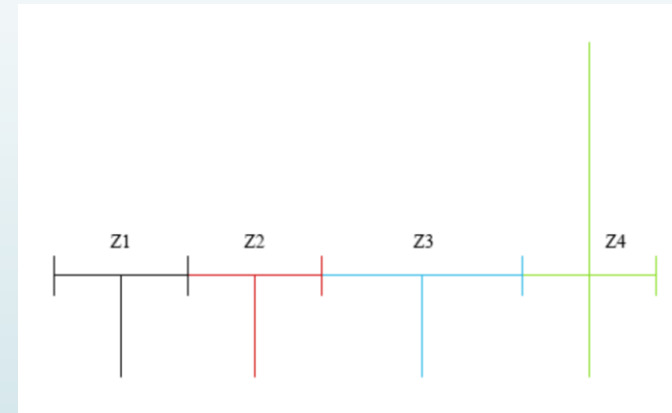
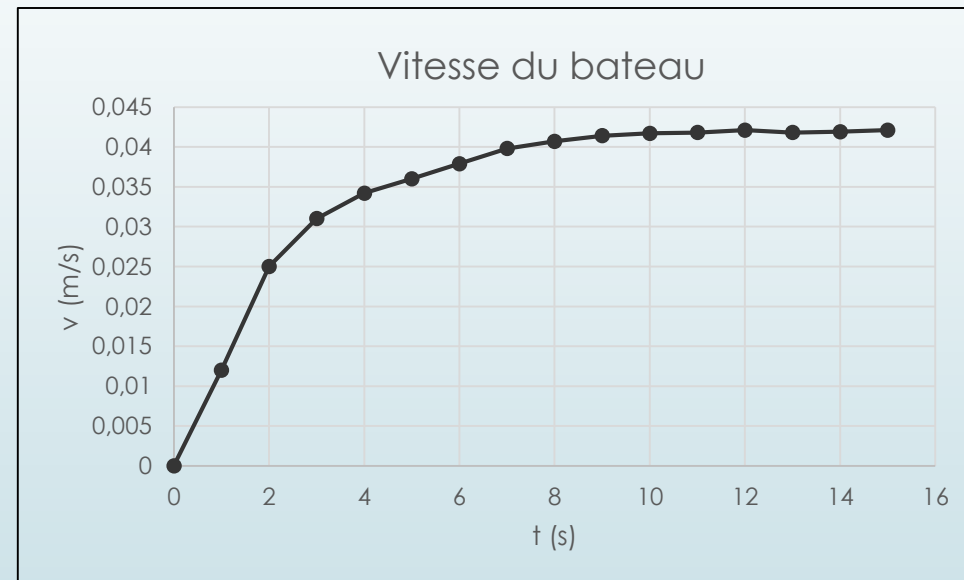
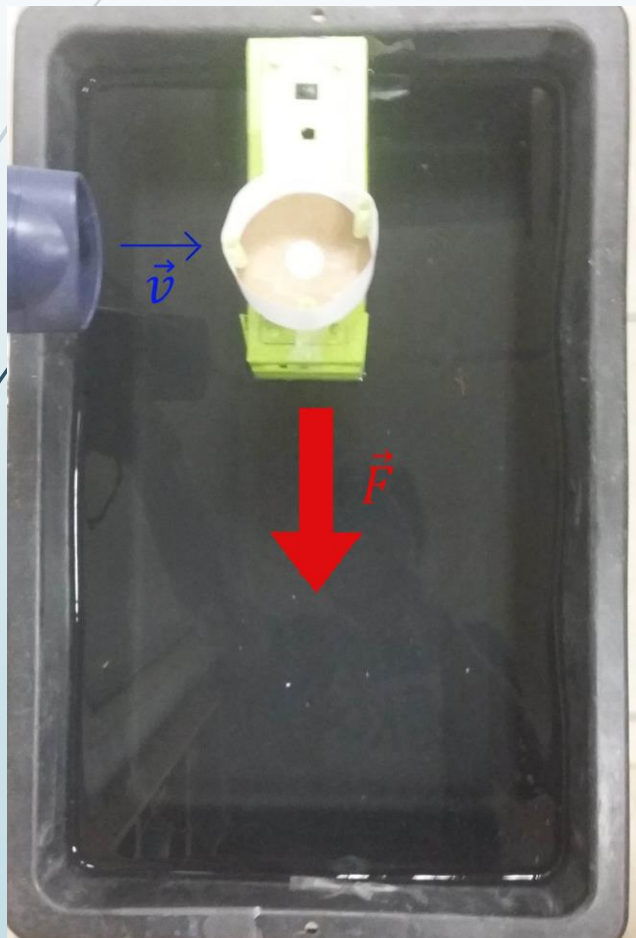


Schéma d'un côté du train à engrenages

$$\begin{aligned}\omega_M &= 4,09 \text{ tr.s}^{-1} \\ \omega_C &= 5,12 \text{ tr.s}^{-1} \cong 1,26 \omega_M\end{aligned}$$

► Etude de ses performances (Un rotor Flettner)



$$v_{lim} = 4,2 \cdot 10^{-2} m \cdot s^{-1}$$

► Etude de ses performances

Calcul de la puissance développée

$$P_m = v_{lim} F_{Magnus} = 0,71 \text{ mW}$$

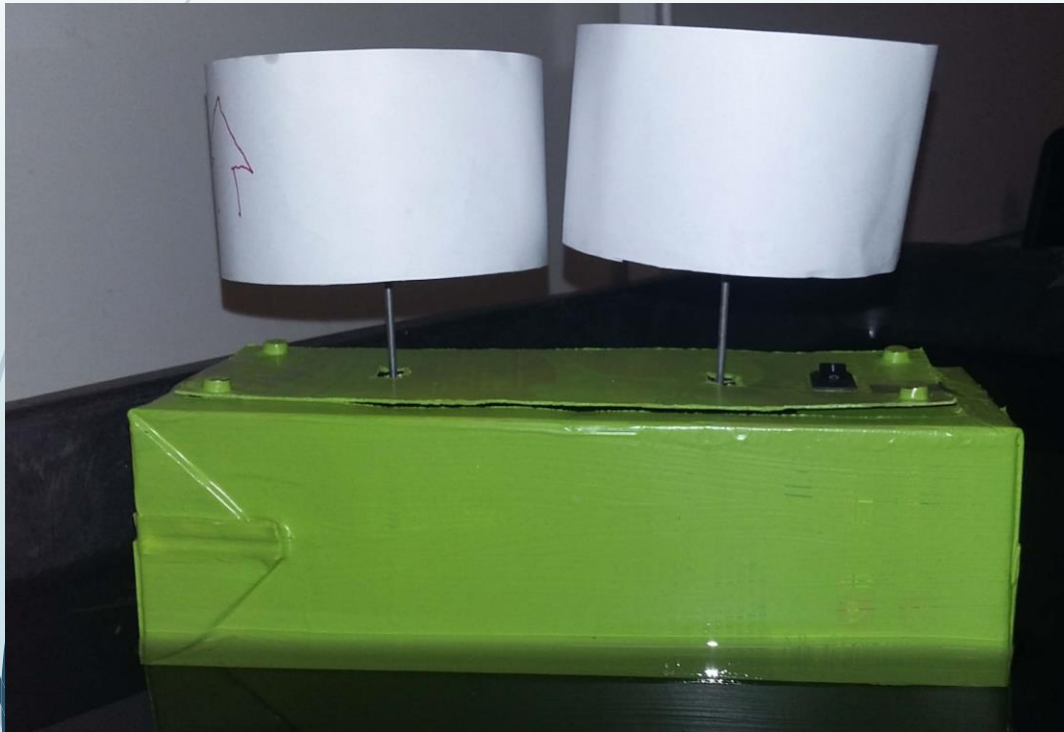
Calcul de la puissance fournie

$$P_{elec} = U_e \cdot I_e = 1,92 * 0,96 = 2,04 \text{ W}$$

Calcul du rendement

$$\eta = \frac{P_m}{P_{elec}} = 0,04\%$$

- Etude de ses performances (Deux rotors Flettner)



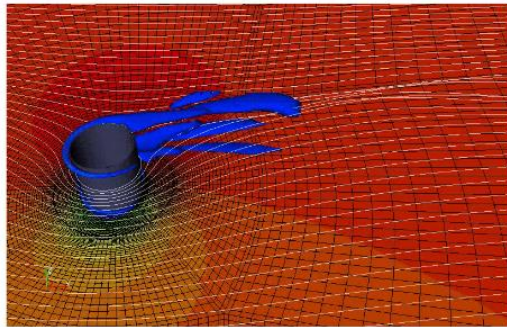
Résultats :

- ω très faible
- Pas de mouvement vers l'avant

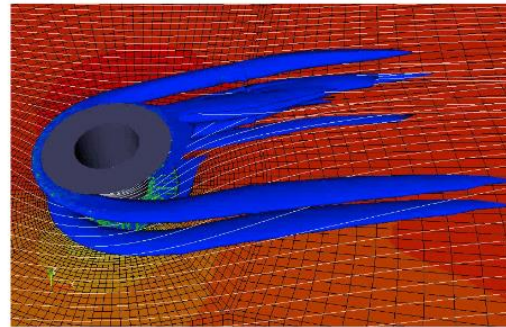
Deux moteurs :

$$\eta = 0,06 \%$$

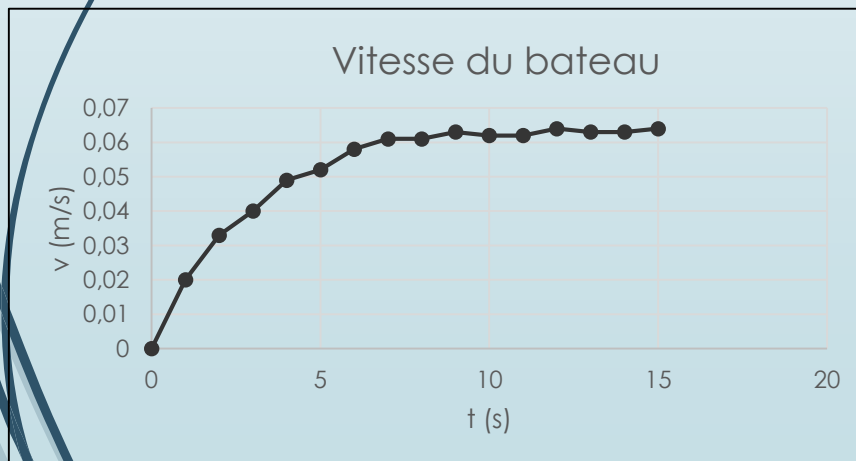
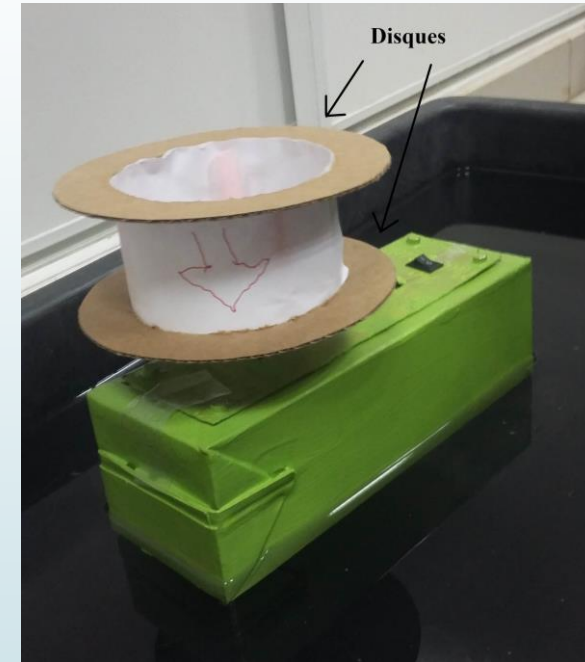
► Optimisation du dispositif (Thom disc)



Bare Cylinder

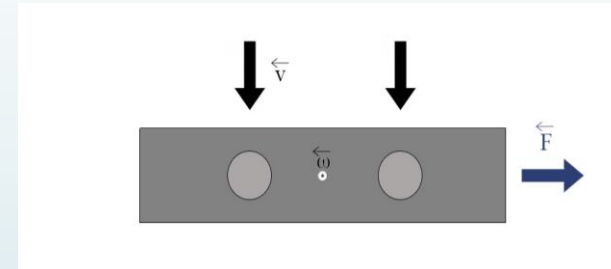
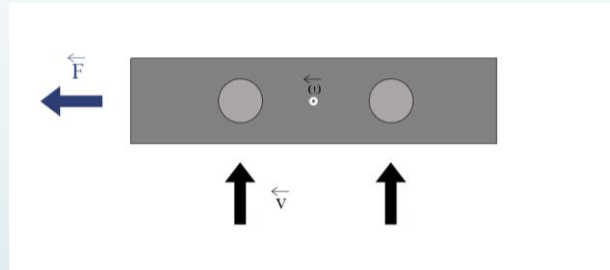


Cylinder with Thom Discs



$$v_{lim} = 6,4 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \Rightarrow \quad \eta = 0,07\%$$

- Optimisation du dispositif (Capteur de position angulaire)



E-Ship 1 :

Mise à l'eau : 2010

Consommation : -20% de carburant

Ce système doit être couplé à un autre mode de propulsion, car il ne peut pas assurer à lui tout seul la propulsion totale d'un bateau.