

Le freinage électromagnétique



1



Sommaire

I - Principe de fonctionnement

- Qu'est-ce que le freinage électromagnétique?
- Comment fonctionne-t-il?

II - Montage

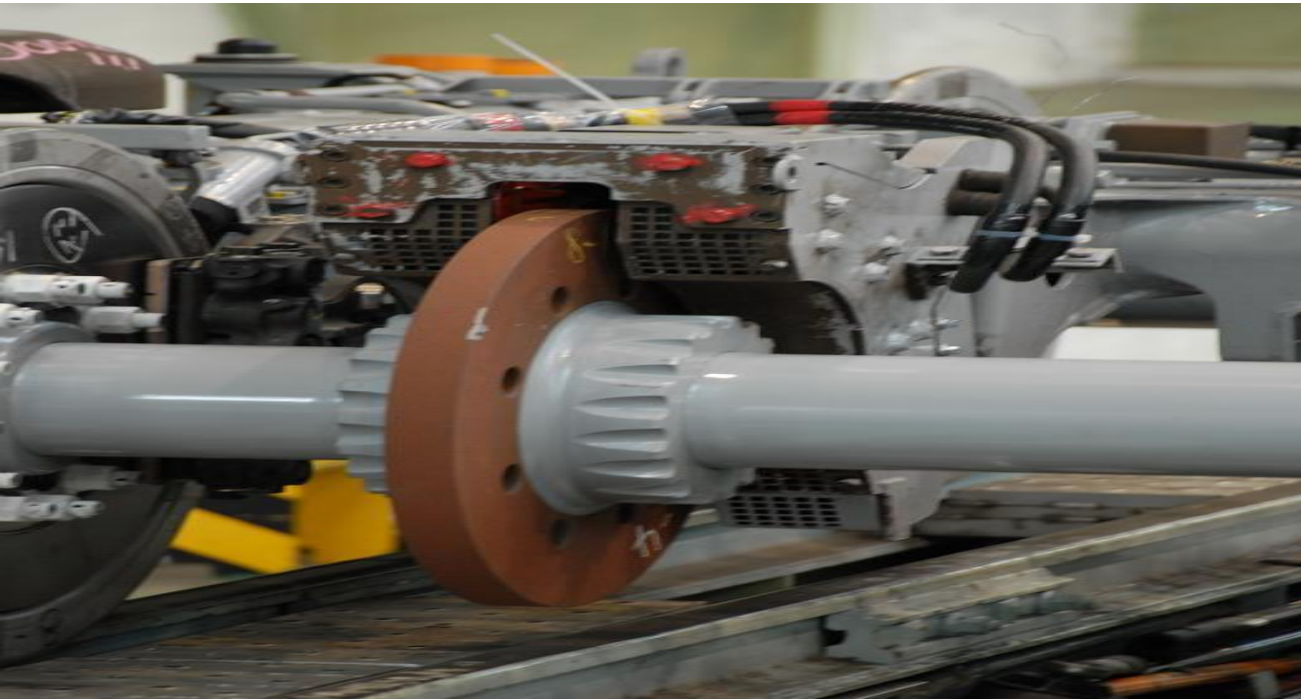
III - Différentes influences

- La vitesse
- La température

IV - Comparaison avec le freinage mécanique

- Modification du montage
- Étude de la performance du patin

Qu'est-ce que le freinage électromagnétique?

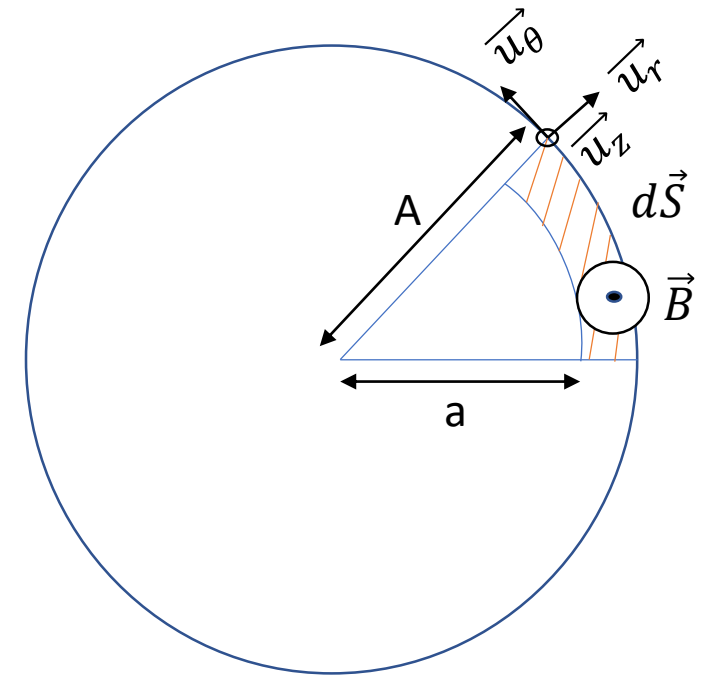


Comment fonctionne ce type de freinage?

Force de Laplace: $\vec{F} = \int i d\vec{l} \wedge \vec{B}$

$$\vec{F}_{Lap} = -\frac{B^2}{2R} (A^2 - a^2)(A - a) \omega \vec{u}_\theta$$

Avec $\vec{\omega} = \omega \vec{u}_\theta$

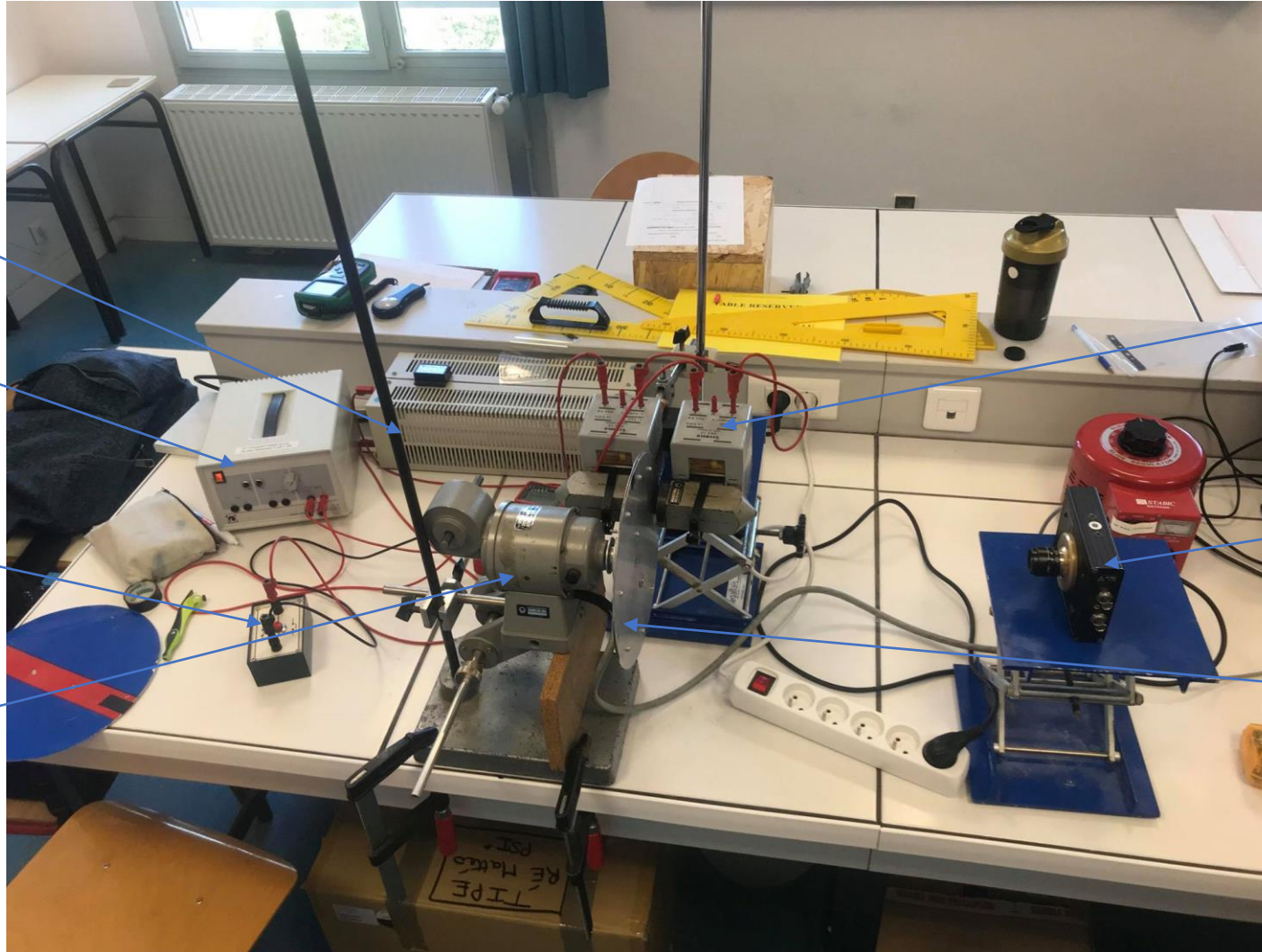


Rhéostat

Générateur

Interrupteur

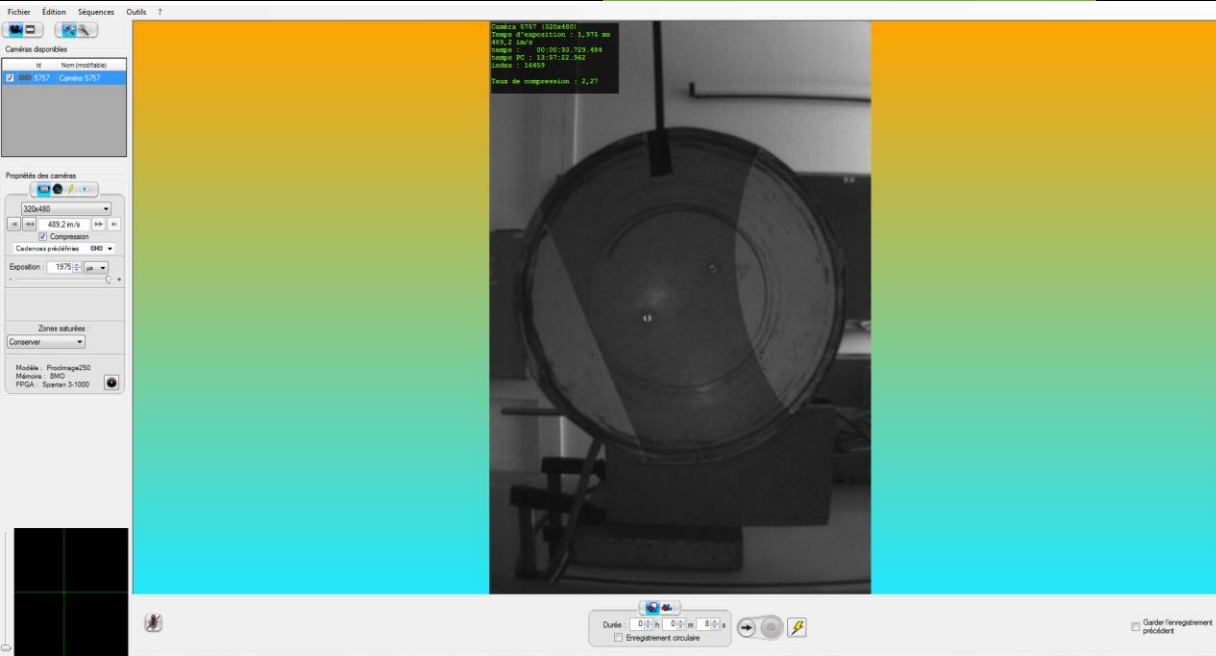
Moteur



Bobines

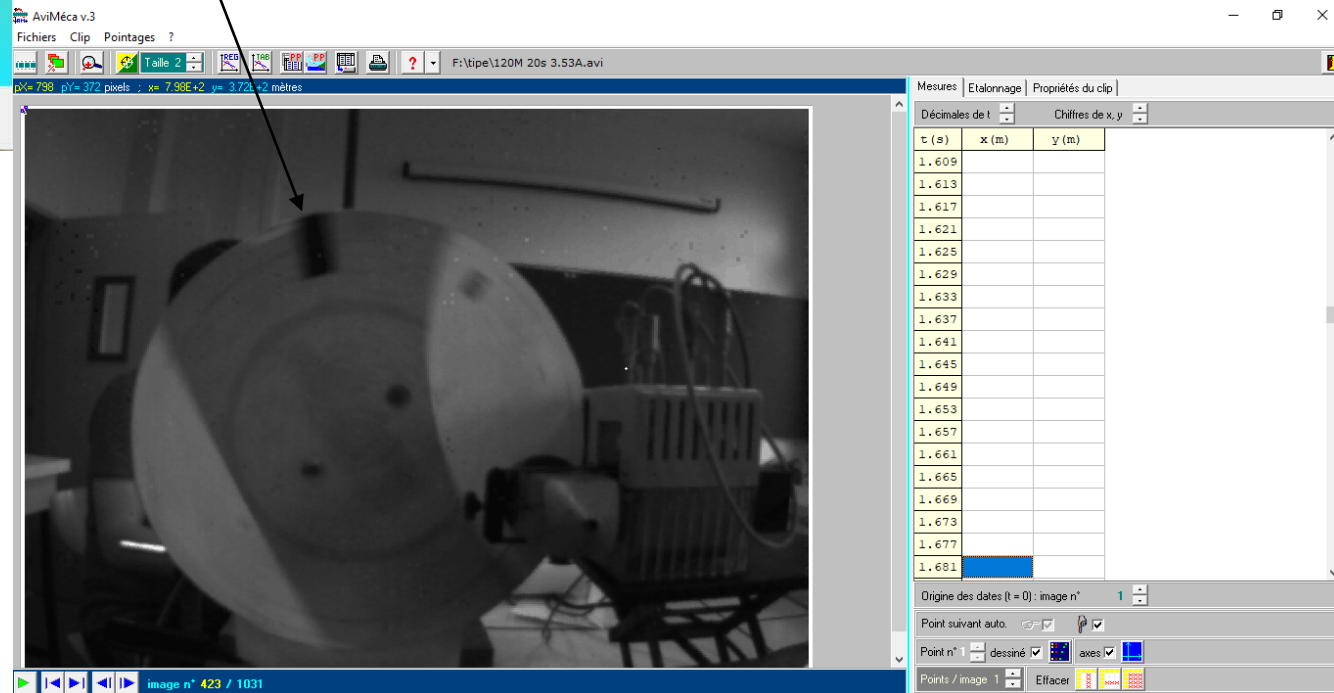
Caméra rapide

Disque métallique



← Eye Motion, logiciel pour enregistrer les vidéos

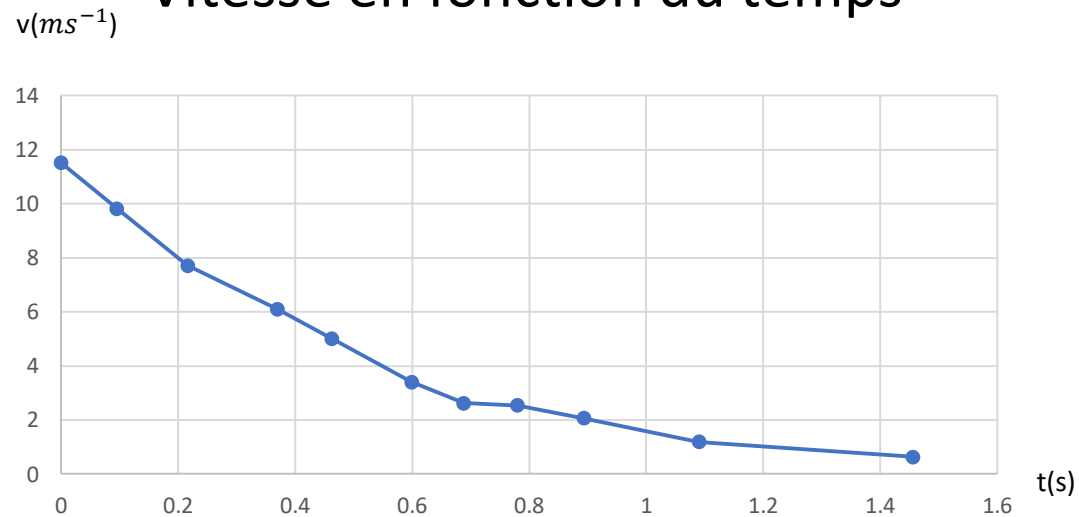
Repère pour compter nombre de tours



Aviméca, logiciel pour exploiter les vidéos →

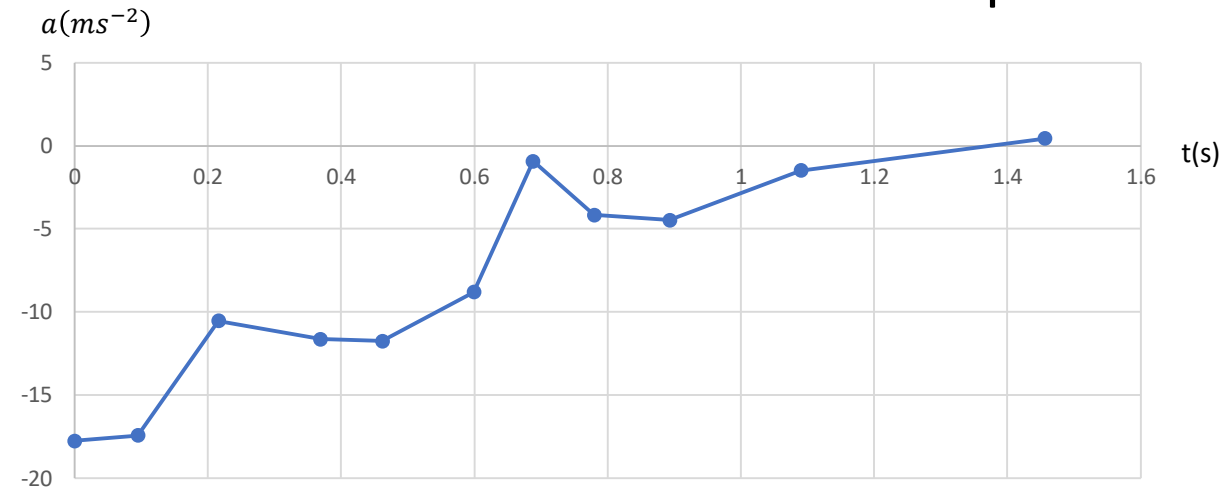
Influence de la vitesse du disque

Vitesse en fonction du temps



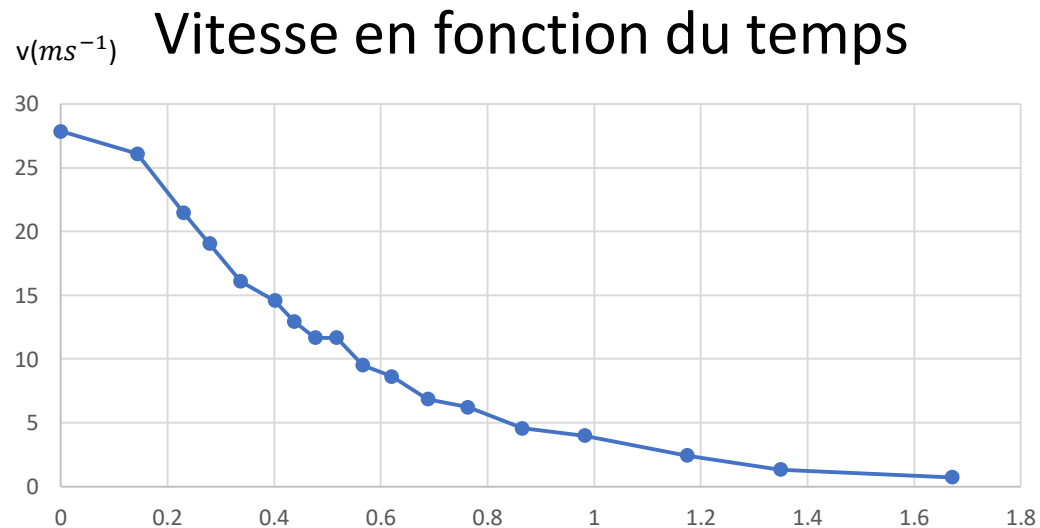
$$v_{initiale} = 12 \text{ ms}^{-1}$$

Accélération en fonction du temps

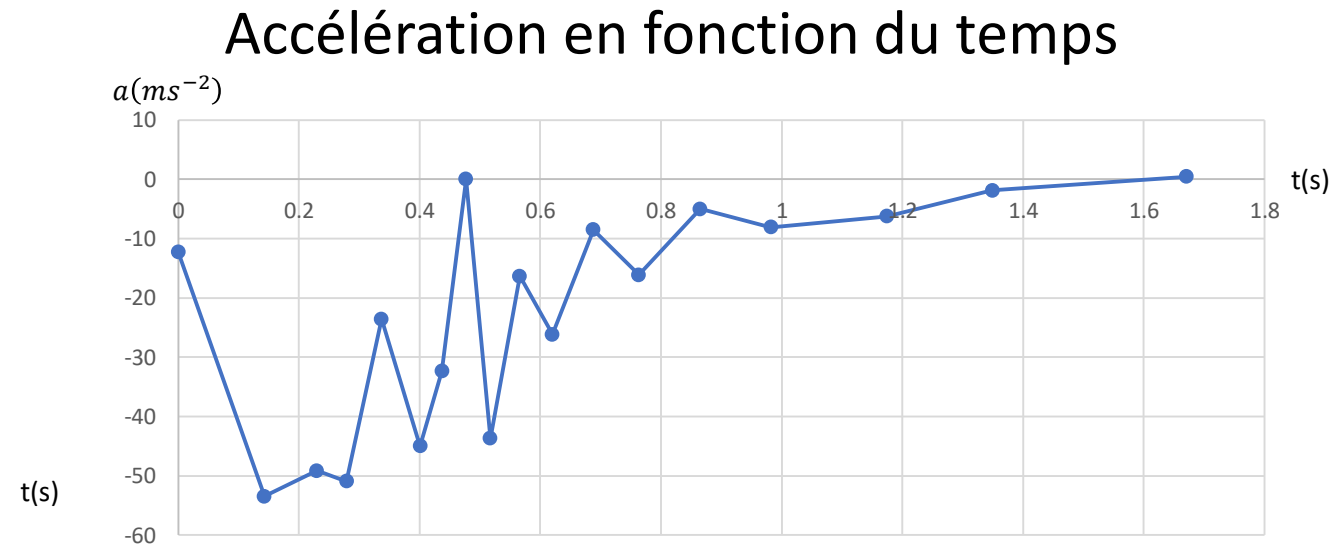


$$\text{Accélération maximale: } a_{\max} = |a_{\min}| = 17 \text{ ms}^{-2}$$

Influence de la vitesse du disque

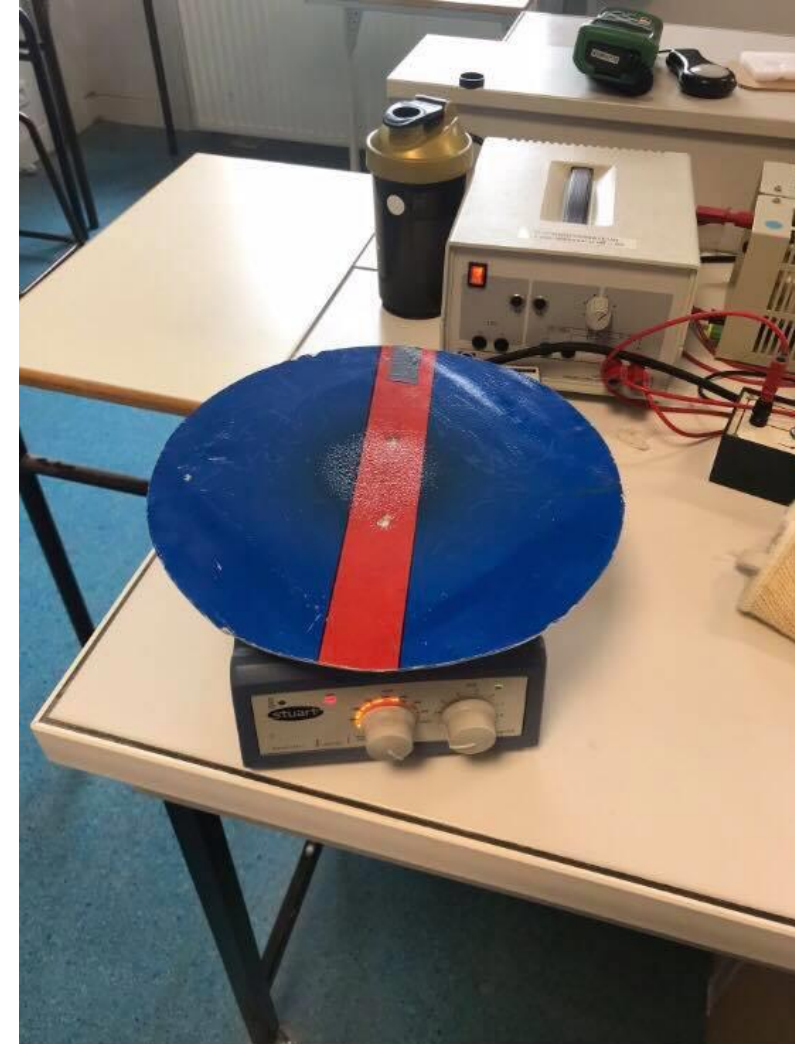


$$v_{initiale} = 27 \text{ ms}^{-1}$$



$$\text{Accélération maximale: } a_{\max} = |a_{\min}| = 53 \text{ ms}^{-2}$$

Température du disque



Température du disque

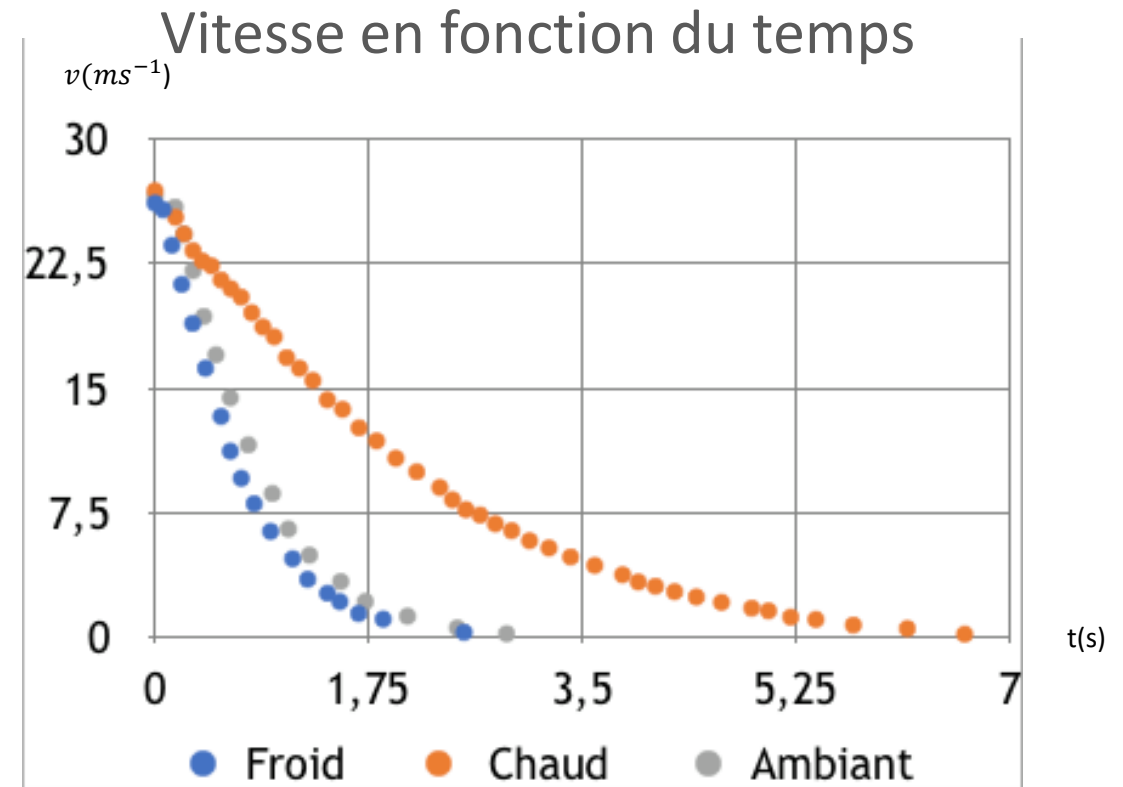
$$\text{Sommerfeld: } \sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$

Accélérations:

- Température chaude: 7 ms^{-2}
- Température ambiante: 19 ms^{-2}
- Température froide: 26 ms^{-2}

Distances de freinage:

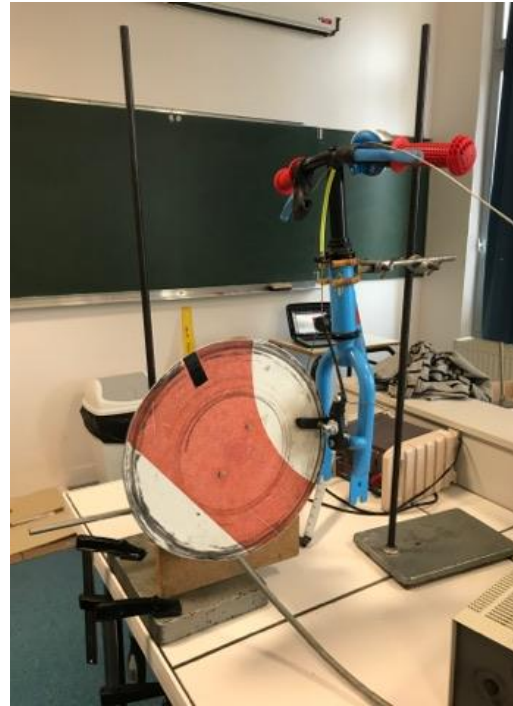
- Température chaude: 50 m
- Température ambiante: 20 m
- Température: 16 m



Modification du montage



Bicyclette utilisée



Montage frein mécanique



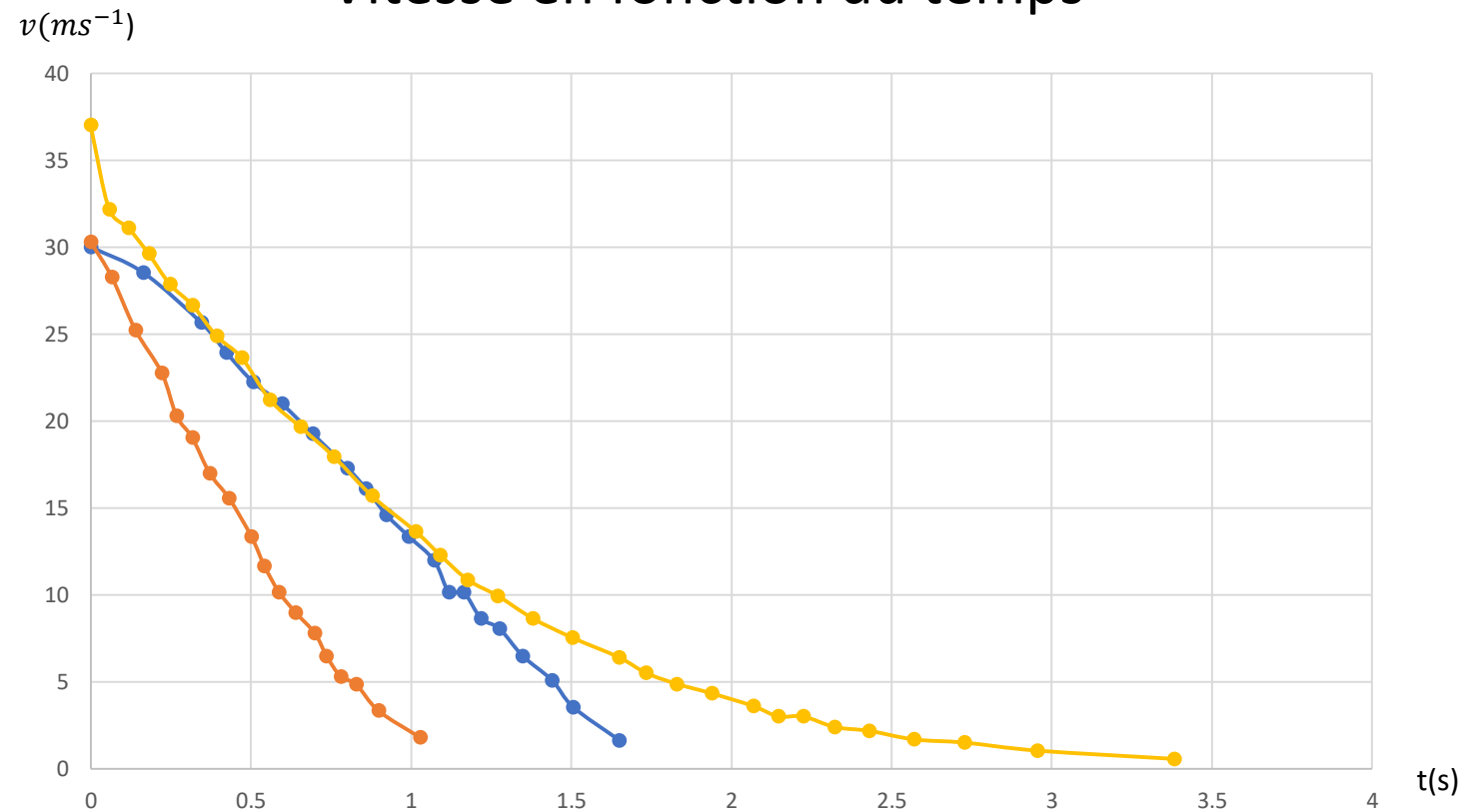
Montage frein combiné

Étude de la performance du patin

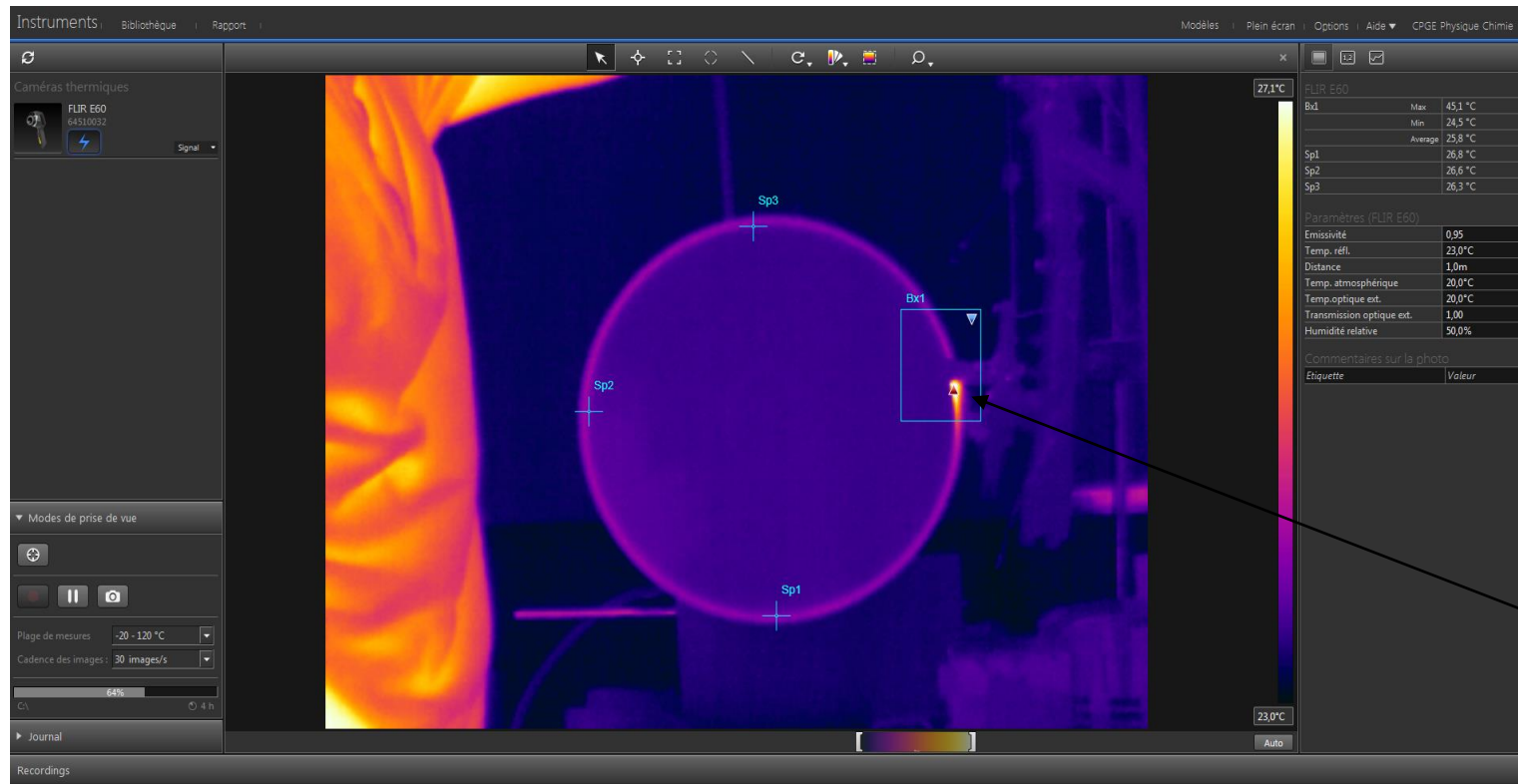
Accélérations:

- Patin: 16 ms^{-2}
- Induction: 16 ms^{-2}
- Combinaison: 35 ms^{-2}

Vitesse en fonction du temps



Étude de la performance du patin

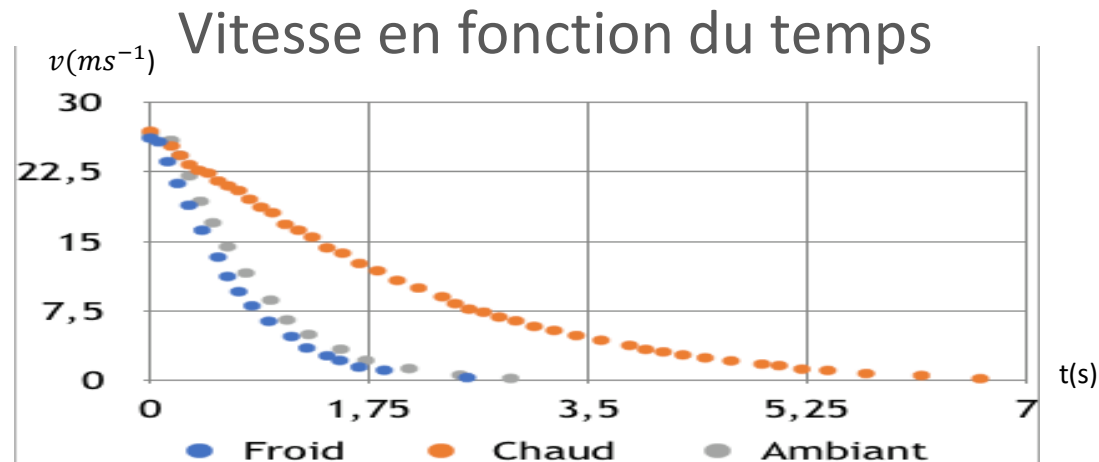
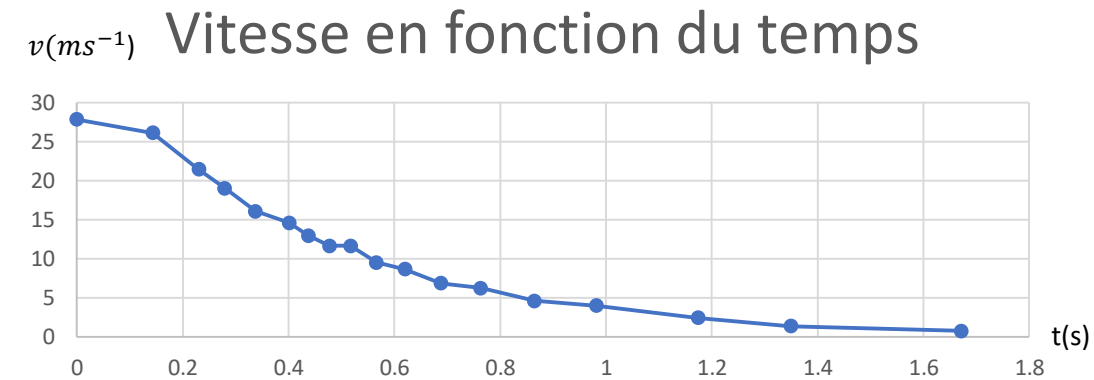
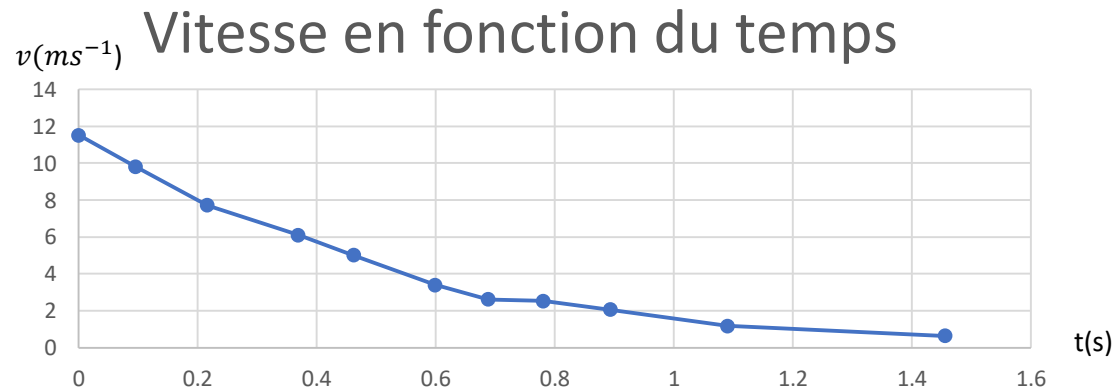


FLIR Tools, logiciel utilisé pour mesurer la température du disque avec une caméra thermique

Surchauffe du disque qui atteint les 45°C

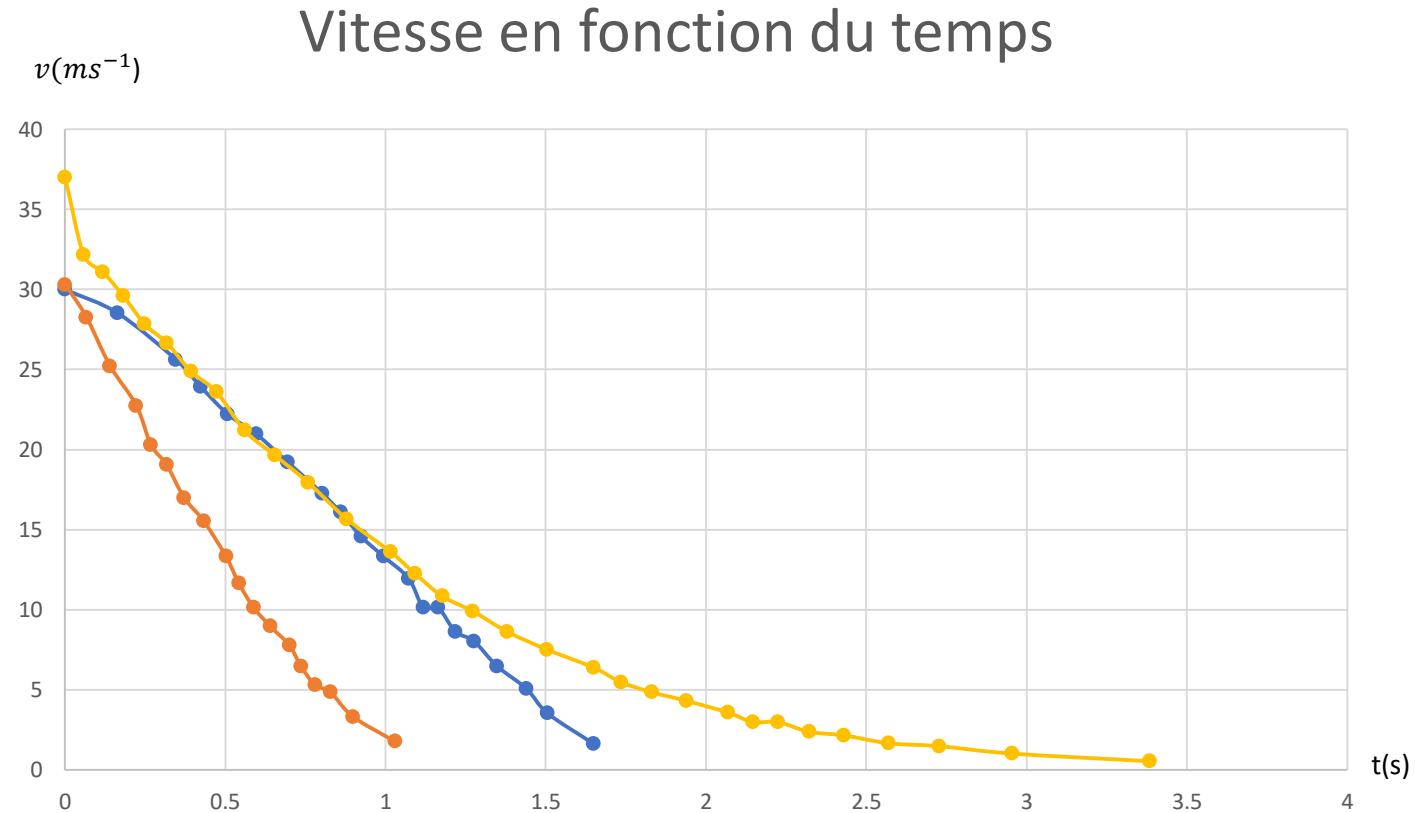
Bilan

Dans quelles conditions le freinage électromagnétique est plus performant?



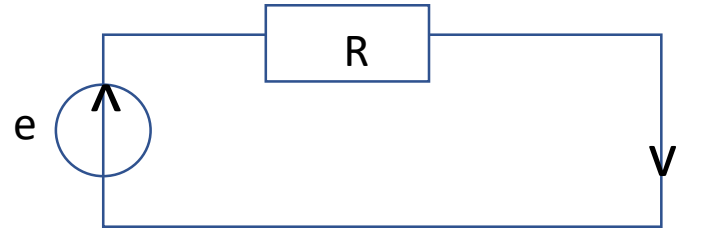
Bilan

Quel type de freinage serait le plus intéressant?



Détermination de l'expression de la force de Laplace

Circuit équivalent:



Loi des mailles: $e = Ri \Leftrightarrow i = \frac{e}{R}$

Calcul du flux magnétique: $d\phi = \vec{B} d\vec{S}$ où $d\vec{S} = \frac{(A^2 - a^2)\omega dt}{2} \vec{u}_z$

Loi de Faraday: $e = -\frac{d\phi}{dt}$ d'où $e = -\frac{1}{2}B(A^2 - a^2)\omega$

Détermination de l'expression de la force de Laplace

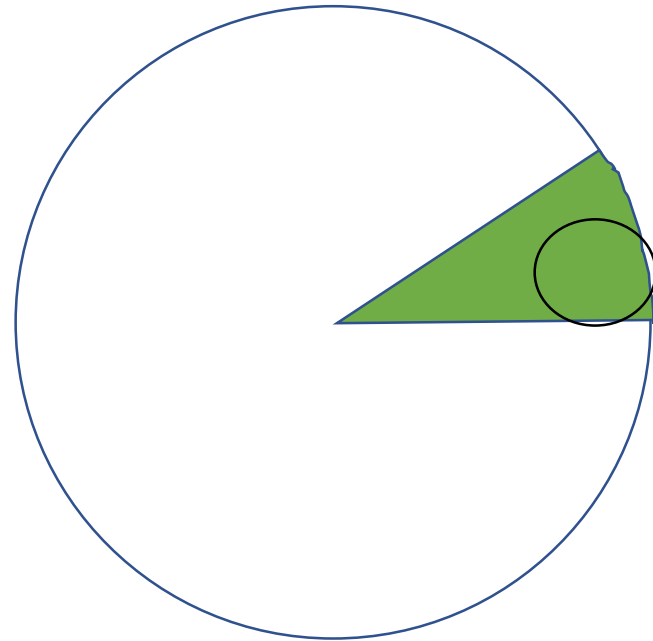
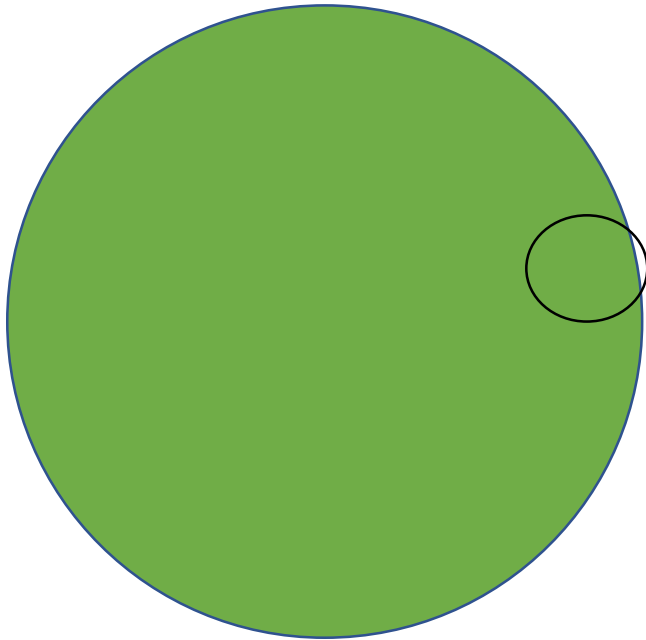
$$\text{D'où } i = -\frac{1}{2R} B(A^2 - a^2)\omega$$

$$\text{Force de Laplace: } \vec{F}_{Lap} = \int i d\vec{l} \wedge \vec{B} \quad \text{où } \vec{B} = B\vec{u}_z \quad \text{et } d\vec{l} = -dr\vec{u}_r$$

$$\text{d'où } \vec{F} = i(A - a)B\vec{u}_\theta$$

$$\text{Donc } \boxed{\vec{F} = -\frac{B^2}{2R} (A^2 - a^2)(A - a)\omega\vec{u}_\theta}$$

Principe du flux coupé:



Détermination de l'expression de ω

D'après le théorème des moments cinétiques pour un solide en rotation:

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = \sum_i M_z(\vec{F}_i) \quad \text{où } J_z = \frac{1}{2} m A^2$$

où m est la masse du solide

$$\text{Or } M_z(\vec{F}) = (\overrightarrow{OM} \wedge \vec{F}) \overrightarrow{u_z}$$

Détermination de l'expression de ω

- Frein électromagnétique:

Les moments par rapport à l'axe z du poids et de la réaction du support sont nuls, donc on a:

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = M_z(\overrightarrow{F_{Lap}})$$

$$\text{Or } M_z(\overrightarrow{F_{Lap}}) = \left(\frac{A+a}{2} \vec{u}_r \wedge \overrightarrow{F_{Lap}} \right) \vec{u}_z = - \frac{B^2(A^2 - a^2)^2}{4R} \omega$$

$$\text{Donc } J_z \frac{d\omega}{dt} = - \frac{B^2(A^2 - a^2)^2}{4R} \omega \Leftrightarrow \omega(t) = \omega_0 e^{-\frac{B^2(A^2 - a^2)^2}{4RJ_z} t} \Leftrightarrow \boxed{\omega(t) = \omega_0 e^{-\frac{B^2(A^2 - a^2)^2}{2RmA^2} t}}$$

Détermination de l'expression de ω

- Frein mécanique:

Les moments par rapport à l'axe z du poids et de la réaction du support sont nuls, donc on a:

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = M_z(\overrightarrow{F_{Meca}}) \quad \text{où } \overrightarrow{F_{Meca}} = -F\overrightarrow{u_\theta}$$

Or, en considérant que le patin touche le bord du disque:

$$M_z(\overrightarrow{F_{Lap}}) = (A\overrightarrow{u_r} \wedge \overrightarrow{F_{Meca}})\overrightarrow{u_z} = -AF$$

Donc: $J_z \frac{d\omega}{dt} = -AF \Leftrightarrow \omega(t) = -\frac{AF}{J_z} t + \omega_0 \Leftrightarrow \boxed{\omega(t) = -\frac{2F}{mA} t + \omega_0}$

Fabrication des disques et mise en montage



← Dessin des disques sur les plaques en aluminium à l'aide d'un compas

Découpe du disque dessiné à l'aide de ciseaux à métaux →

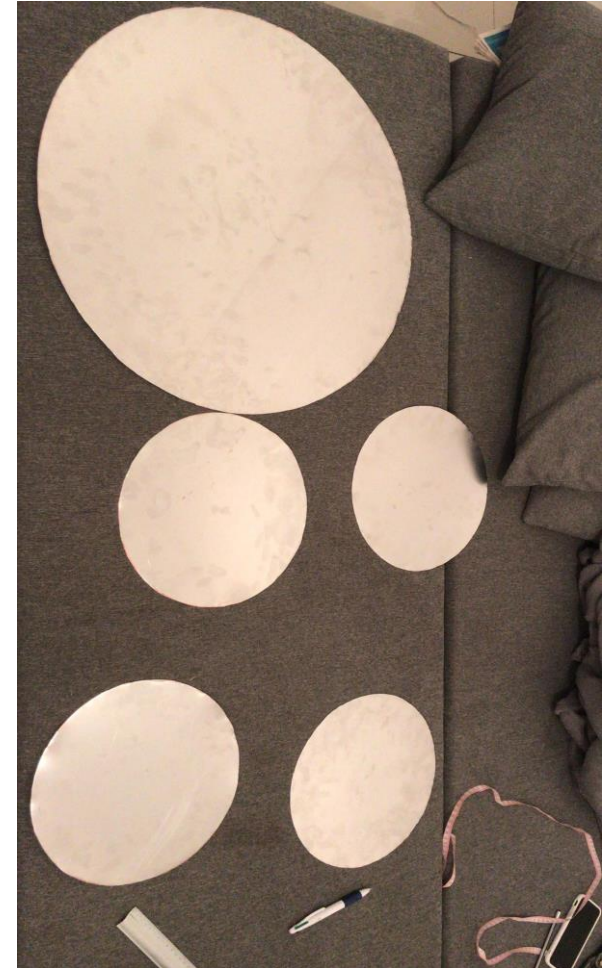
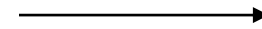


Fabrication des disques et mise en montage

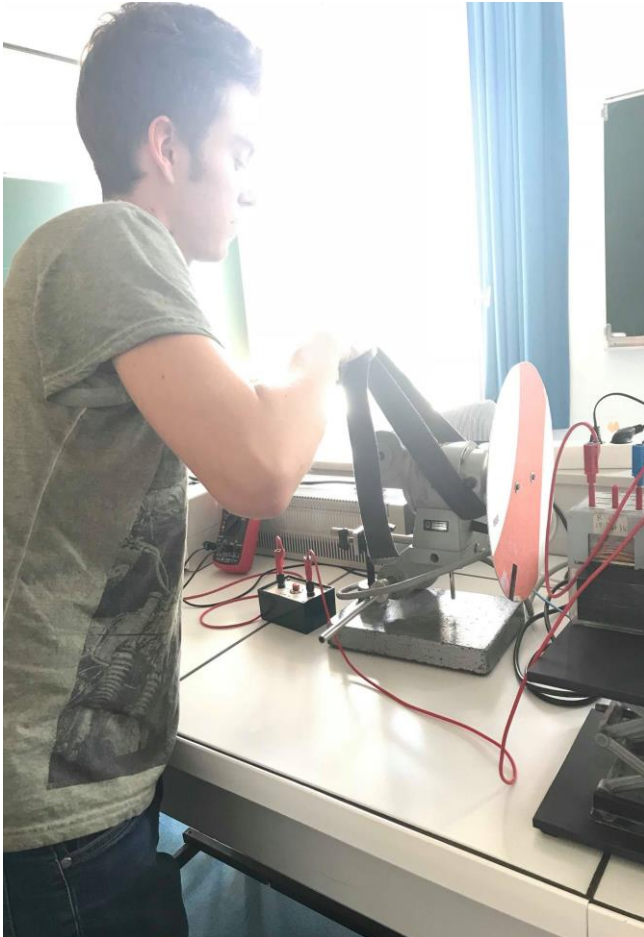


← Perforation du disque afin de pouvoir le fixer au montage

Disques terminés et limés



Fabrication des disques et mise en montage



← Première tentative de fixer le montage avec une corde: échec

Deuxième tentative: serre-joints et plaques de bois: succès →

