

Train à lévitation Magnétique

Comment fonctionne le train à sustentation magnétique ?



Sommaire

I. Lévitation magnétique

1. Position du problème
2. Expérience d'Elihu Thomson
3. Système expérimental
4. Modèle
5. Bilan

II. Propulsion magnétique

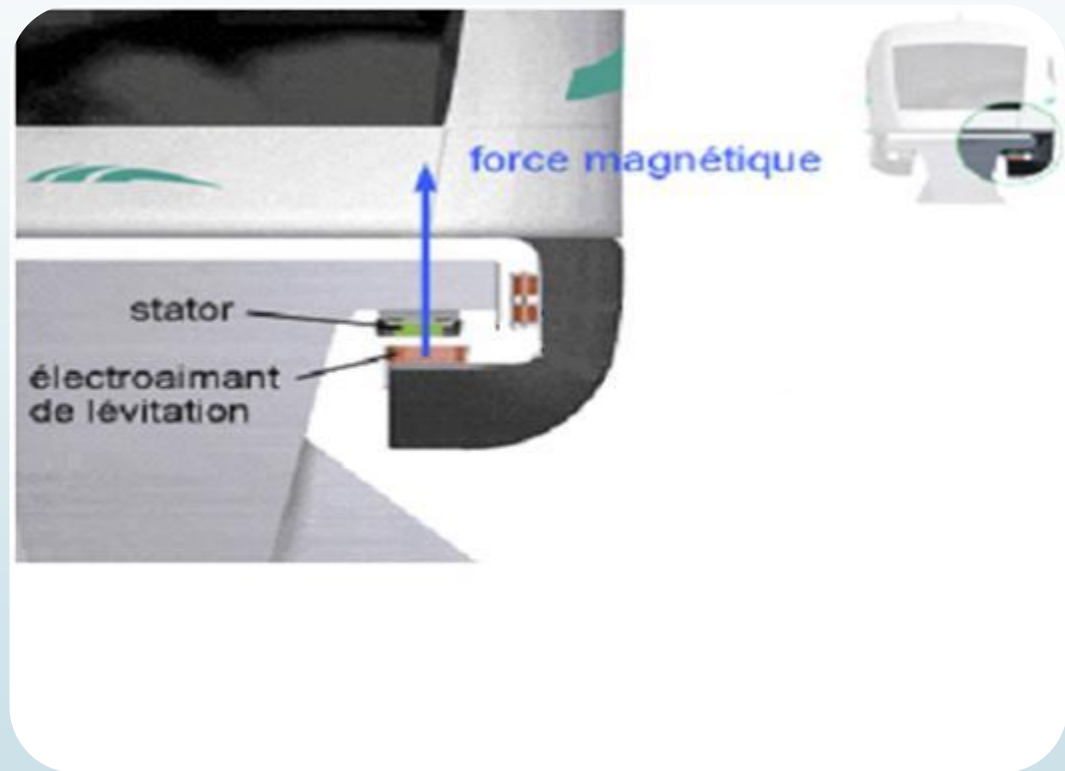
1. Système réel
2. Modèle
3. Conclusion

I. Lévation magnétique

Plan d'étude :

1. **Position du problème**
2. Expérience d'Elihu Thomson
3. Système expérimental
4. Modèle
5. Bilan

1. Position du problème

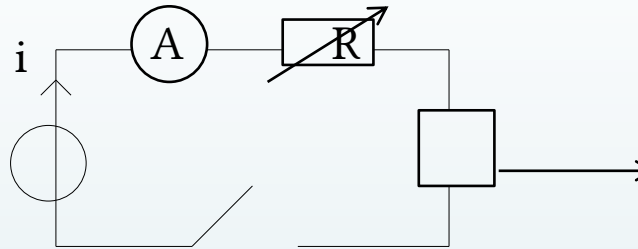


I. Lévitation magnétique

Plan d'étude :

1. Position du problème
- 2. Expérience d'Elihu Thomson**
3. Système expérimental
4. Modèle
5. Bilan

2. Expérience d'Elihu Thomson



Système :
bobine + noyau
en fer doux

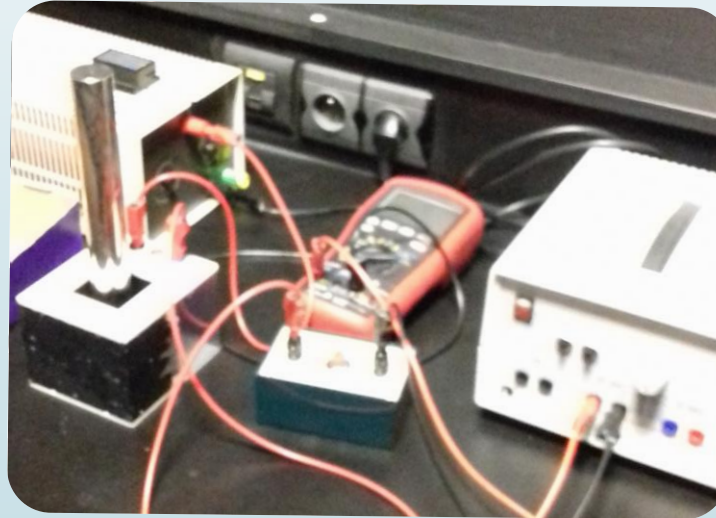


Schéma du montage

I. Lévitation magnétique

2. Expérience d'Elihu Thomson

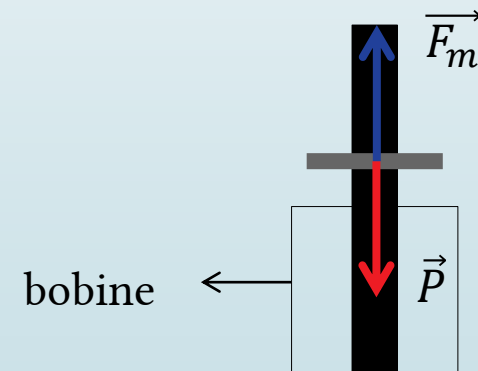


Schéma du montage

Les forces mises en jeu :

→ Le poids : $\vec{P} = m\vec{g}$

→ Force magnétique : \vec{F}_m



Plan d'étude :

1. Position du problème
- 2. Expérience d'Elihu Thomson**
3. Système expérimental
4. Modèle
5. Bilan

I. Lévitation magnétique

Plan d'étude :

1. Position du problème
2. Expérience d'Elihu Thomson
- 3 Système expérimental**
4. Modèle
5. Bilan

3. Système expérimental

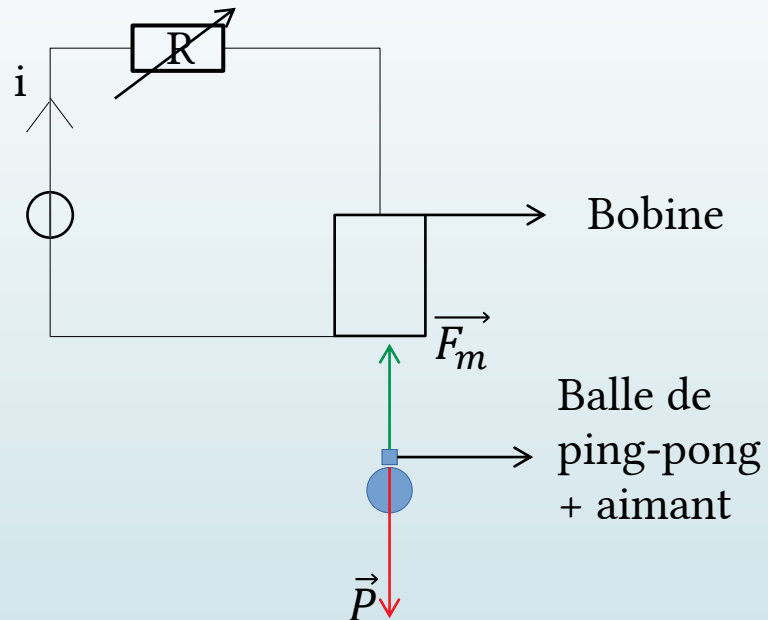
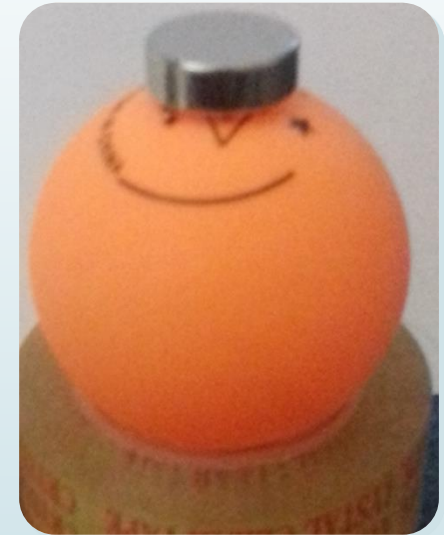


Schéma du montage



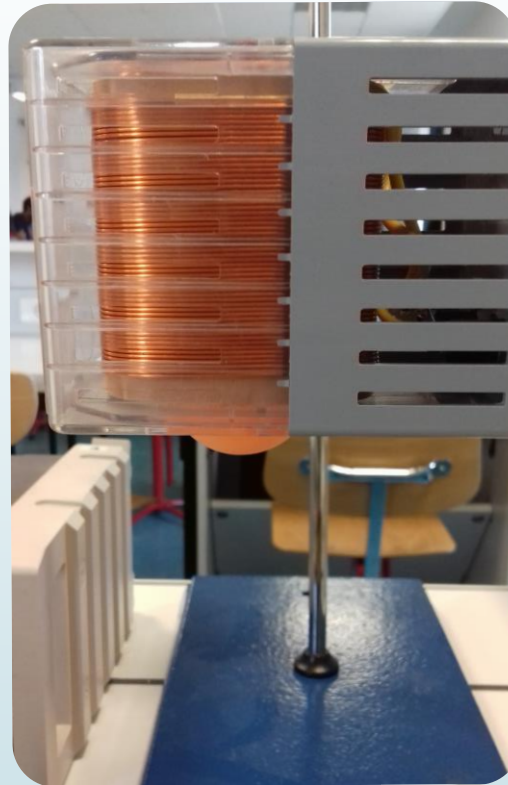
Balle de ping-pong avec aimant

I. Lévitation magnétique

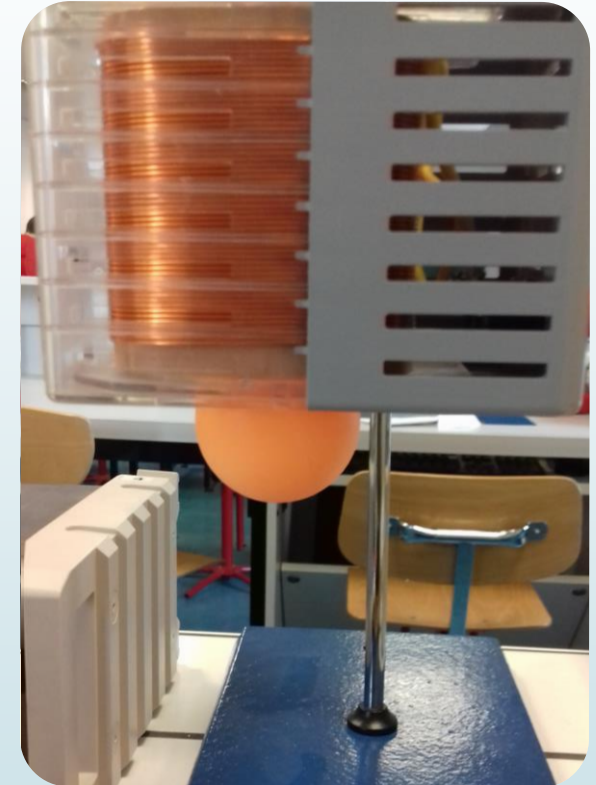
Plan d'étude :

1. Position du problème
2. Expérience d'Elihu Thomson
- 3 Système expérimental**
4. Modèle
5. Bilan

3. Système expérimental



$B = 14,6 \text{ mT}$
 $Z = 4,67 \text{ cm}$



$B = 3,7 \text{ mT}$
 $Z = 6,1 \text{ cm}$

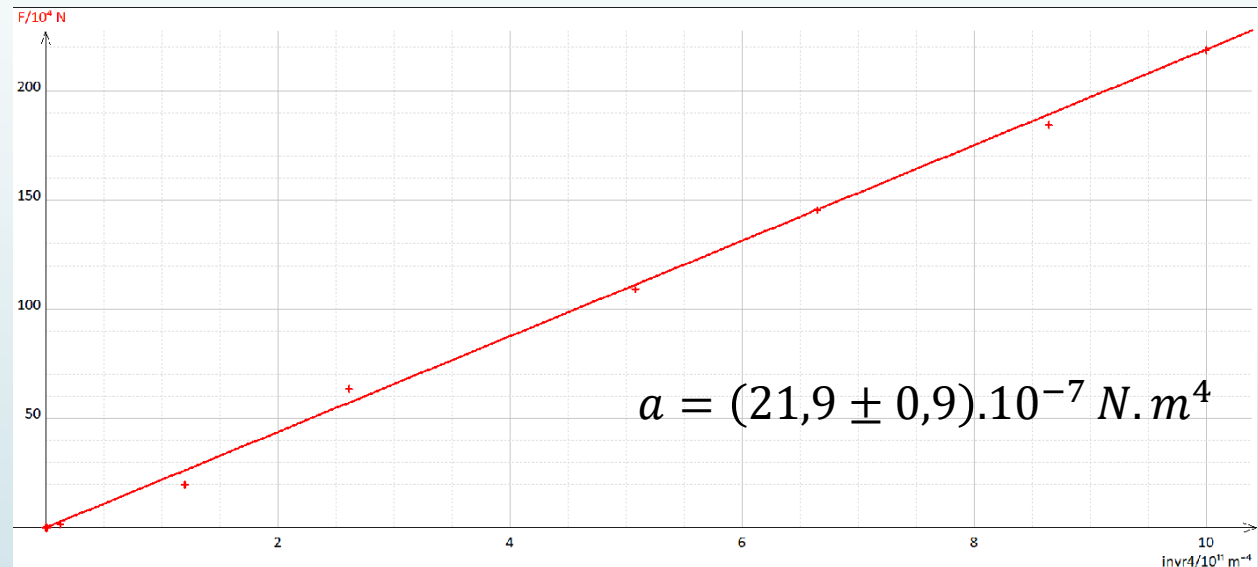
I. Lévitation magnétique

Plan d'étude :

1. Position du problème
2. Expérience d'Elihu Thomson
- 3. Système expérimental**
4. Modèle
5. Bilan

3. Système expérimental

Vérification de la force magnétique



$$F = a \frac{1}{r^4}$$
$$F = \frac{3\mu_0 M_1 M_2}{2\pi r^4}$$

$$\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$$

r : distance séparant le centre des 2 aimants

$M_1 M_2$: moments magnétiques des aimants

I. Lévitation magnétique

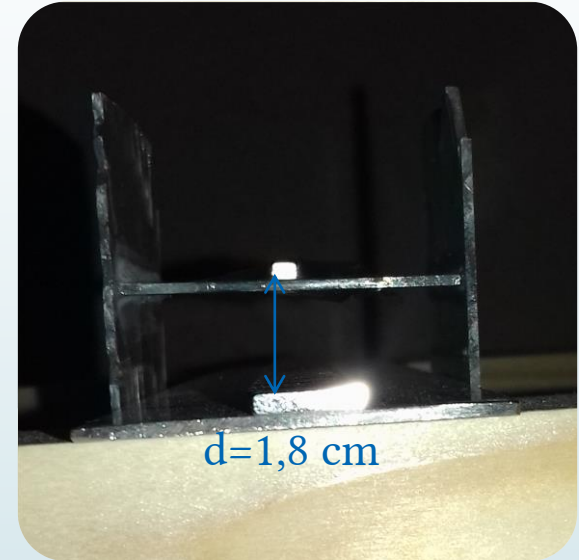
Plan d'étude :

1. Position du problème
2. Expérience d'Elihu Thomson
- 3 Système expérimental
- 4. Modèle**
5. Bilan

4. Modèle



Vue du dessus



Vue de face

I. Lévitatie magnétique

Plan d'étude :

1. Position du problème
2. Expérience d'Elihu Thomson
3. Système expérimental
- 4. Modèle**
5. Bilan

4. Modèle

Mise en équation

On a :

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \vec{F} = \frac{3\mu_0 M_1 M_2}{2\pi r^4} \vec{u}_z \\ \vec{P} = m\vec{g} \end{cases} \quad \text{Où } M_1 = M_2 = M$$

$$\text{donc } 0 = \vec{P} + \vec{F}_m$$

Or on a 9 aimants sur le rails et 3 sur le train

En projetant sur (Oz)

$$\Leftrightarrow 0 = -mg + \frac{3\mu_0 M_1 9M_2}{2\pi r^4}$$

$$\Leftrightarrow r = \left(\frac{27\mu_0 M^2}{2\pi mg} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{Donc } \underline{R = 2,1 \text{ cm}}$$

I. Lévitaiton magnétique

5. Bilan

Plan d'étude :

1. Position du problème
2. Expérience d'Elihu Thomson
- 3 Système expérimental
4. Modèle
5. **Bilan**

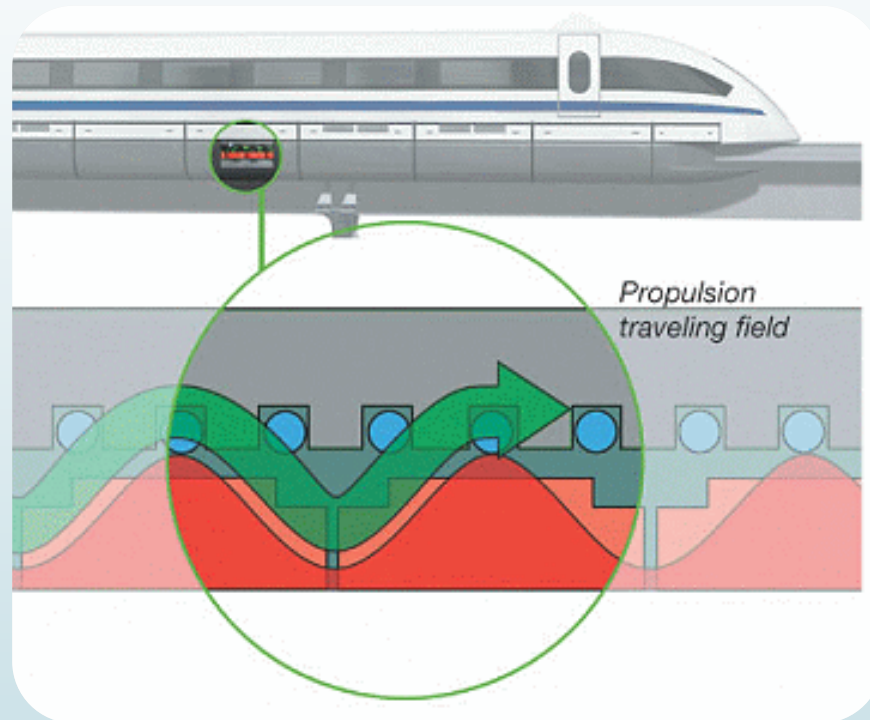
	Lévitaiton (cm)
Résultat théorique	$D = 2,1 \pm 0,3$
Modèle	$D = 1,8 \pm 0,1$
Système réel	Quelques centimètres

II. Propulsion magnétique

Plan d'étude :

1. **Système réel**
2. Modèle
3. Conclusion

1. Système réel



II. Propulsion magnétique

Plan d'étude :

1. Système réel
- 2. Modèle**
3. Conclusion

2. Modèle



Modèle expérimental

Le circuit se ferme avec les aimants conducteurs de courant dans la bobine, la pile débite alors dans la bobine ce qui crée un champ magnétique.

Les aimants se retrouvent donc un en position stable, l'autre en position instable et c'est l'instabilité de ce dernier qui crée la force motrice.

II. Propulsion magnétique

Plan d'étude :

1. Système réel
- 2. Modèle**
3. Conclusion

2. Modèle

Forces subit pas la pile :

- Le poids : $\vec{P} = m\vec{g}$
- La force de Laplace :
 $\vec{F} = i\vec{dl} \wedge \vec{B}$

Ici, la force de Laplace s'écrit :





$$\vec{F} = -\frac{\mu_0 NiM}{2\pi r^2} \vec{u}_x$$

où $\left\{ \begin{array}{l} r : \text{rayon de la bobine} \\ M : \text{moment magnétique des aimants} \\ N : \text{nombre de spires} \end{array} \right.$

II. Propulsion magnétique

2. Modèle

Mesure de vitesse à l'aide de Tracker

	Moment magnétique ($A \cdot m^2$)	Vitesse ($cm \cdot s^{-1}$)	Volume (mm^3)	Masse (g)
	0,844	27,3	884	6,715
	1,347	42	1414	10,744
	1,69	44,92	1767	13,43
	2,7	51	2827	21,49

Plan d'étude :

1. Système réel
- 2. Modèle**
3. Conclusion

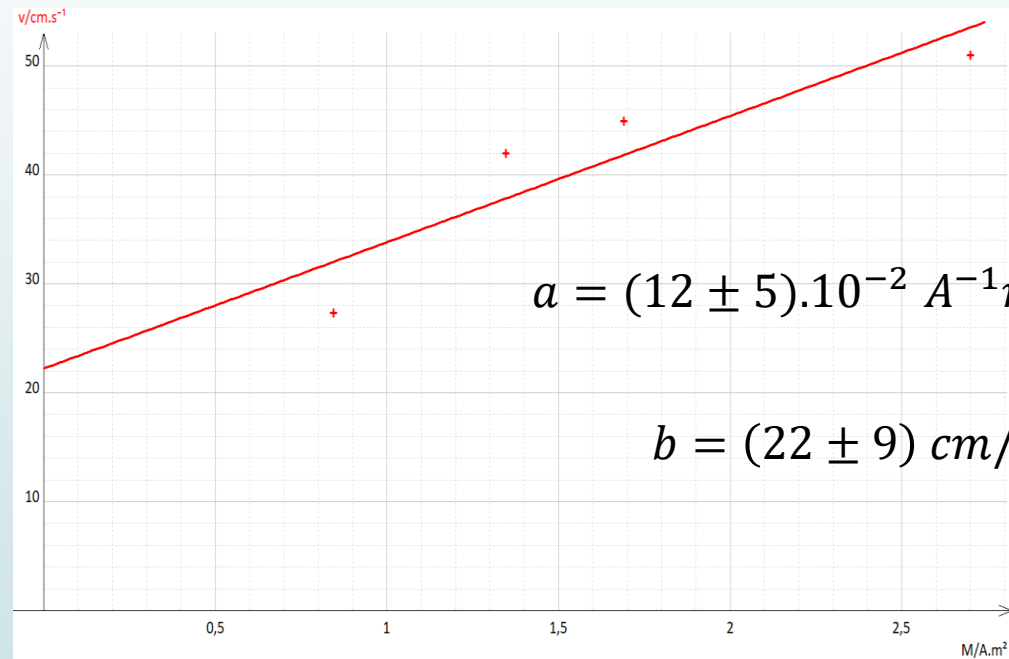
II. Propulsion magnétique

Plan d'étude :

1. Système réel
- 2. Modèle**
3. Conclusion

2. Modèle

Relation de vitesse



$$a = (12 \pm 5) \cdot 10^{-2} \text{ A}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$b = (22 \pm 9) \text{ cm/s}$$

On a une droite d'équation :

$$v = aM + b$$

II. Propulsion magnétique

Plan d'étude :

1. Système réel
2. **Modèle**
3. Conclusion

2. Modèle

En appliquant le PFD au système {pile, aimant} :

$$\text{On a } m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$$

En projetant suivant l'axe (Ox):

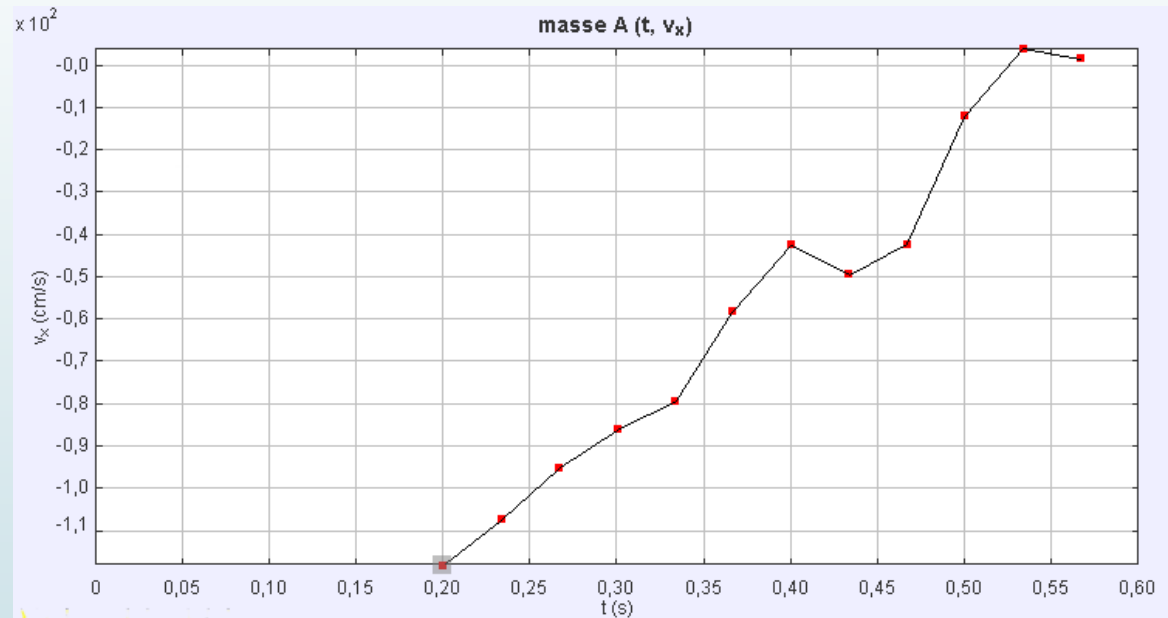
$$m \frac{dv}{dt} = \frac{N\mu_0 i M}{2\pi r^2}$$

$$\text{donc } v = \frac{N\mu_0 i M}{m 2\pi r^2} t + v_0$$

II. Propulsion magnétique

2. Modèle

Mesure de la vitesse en fonction du temps



on a une droite d'équation :

$$v = at + b$$

$$\text{donc } a = \frac{N\mu_0 i M}{2m\pi r^2}$$

$$\text{donc } i = \frac{2\pi r^2 a m}{N\mu_0 M}$$

Plan d'étude :

1. Système réel
- 2. Modèle**
3. Conclusion





II. Propulsion magnétique

Plan d'étude :

1. Système réel
2. **Modèle**
3. Conclusion

2. Modèle

Tableau de valeur

Aimant	Coefficient directeur (cm/s ²)	Intensité (A)	Intensité mesurée (A)
	114 ± 52	$0,154 \pm 0,070$	$0,110 \pm 0,004$
	147 ± 36	$0,151 \pm 0,037$	$0,130 \pm 0,004$
	182 ± 47	$0,166 \pm 0,043$	$0,180 \pm 0,004$
	340 ± 42	$0,255 \pm 0,032$	$0,280 \pm 0,004$

II. Propulsion magnétique

Plan d'étude :

1. Système réel
2. Modèle
3. **Conclusion**

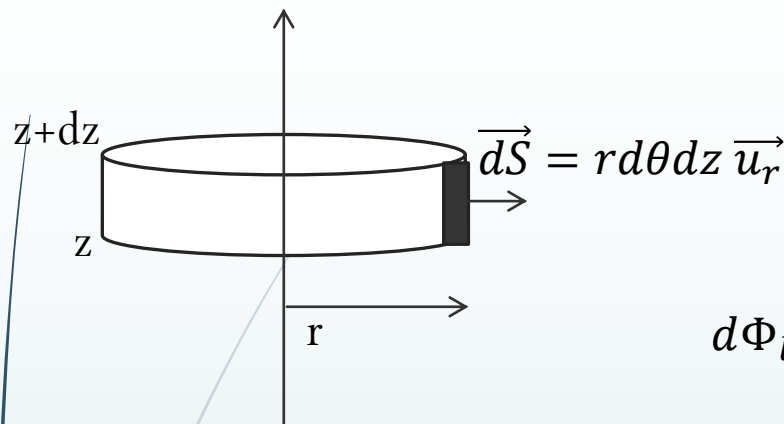
3. Conclusion

Limites du modèle

Hypothèse:

- dipôle magnétique
- intensité constante
- système peu viable car il consomme beaucoup d' énergie

Annexe 1 : Expérience d'Elihu Thomson



on a $\vec{B} = B_0(z) \cos(\omega t) \vec{u}_z + B_r(r, z) \cos(\omega t) \vec{u}_r$

$$d\Phi_{lat} = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_0^{2\pi} B_r r d\theta dz = 2\pi r dz B_r \cos(\omega t)$$

$$\begin{aligned} d\Phi_{bases} &= \iint \vec{B}(z+dz) r dr d\theta \vec{u}_z + \iint \vec{B}(z) r dr d\theta (-\vec{u}_z) \\ &= B_z(z+dz) \pi r^2 - B_z(z) \pi r^2 = \pi r^2 dz \frac{dB_0(z)}{dz} \cos(\omega t) \end{aligned}$$

Or \vec{B} est à flux conservatif

donc $d\Phi_{lat} = -d\Phi_{bases}$

donc $B_r = -\frac{r}{2} \frac{dB_0(z)}{dz} \cos(\omega t)$

On a $d\vec{F}_L = i d\vec{l} \wedge \vec{B} = i[a d\theta \vec{u}_\theta \wedge (B_z \vec{u}_z + B_r \vec{u}_r)]$

Or \vec{F}_L est suivant l'axe (Oz)

Donc $\vec{F}_L = N \left[\int_{1 \text{ spire}} i \cos(\omega t) a d\theta \frac{a}{2} \frac{dB_0(z)}{dz} \right] \vec{u}_z$

Donc $\vec{F}_L = i N \pi a^2 \frac{dB_0(z)}{dz} \cos(\omega t) \vec{u}_z$

Annexe 2 : Interaction entre deux moments magnétiques

L'énergie potentielle d'interaction des deux dipôles s'écrit :

$$E_p = -\vec{M}_2 \cdot \vec{B}_1(M) = -\vec{M}_1 \cdot \vec{B}_2(O)$$

Le champ magnétique créé en un point P par un dipôle de moment \vec{M} placé en A s'écrit :

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(3\vec{M} \cdot \vec{u}_{AP})\vec{u}_{AP} - \vec{M}}{AP^3}$$

$$\text{Donc } E_p = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3(\vec{M}_1 \cdot \vec{u}_r)(\vec{M}_2 \cdot \vec{u}_r) - \vec{M}_1 \cdot \vec{M}_2}{r^3}$$

Si les dipôles sont colinéaire entre eux et perpendiculaires à \vec{u}_r :

$$E_p = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M_1 M_2}{r^3} \quad d'où \quad \vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\overrightarrow{\text{grad}}(E_p) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3M_1 M_2}{r^4} \vec{u}_r$$