

L'Hyperloop au service de nos déplacements

Dans quelle mesure l'Hyperloop permet-il d'améliorer considérablement nos déplacements ?



Sommaire

I- Lévitiation magnétique

- 1) Principe
- 2) Expérience d'Elihu Thomson

II- Propulsion électromagnétique

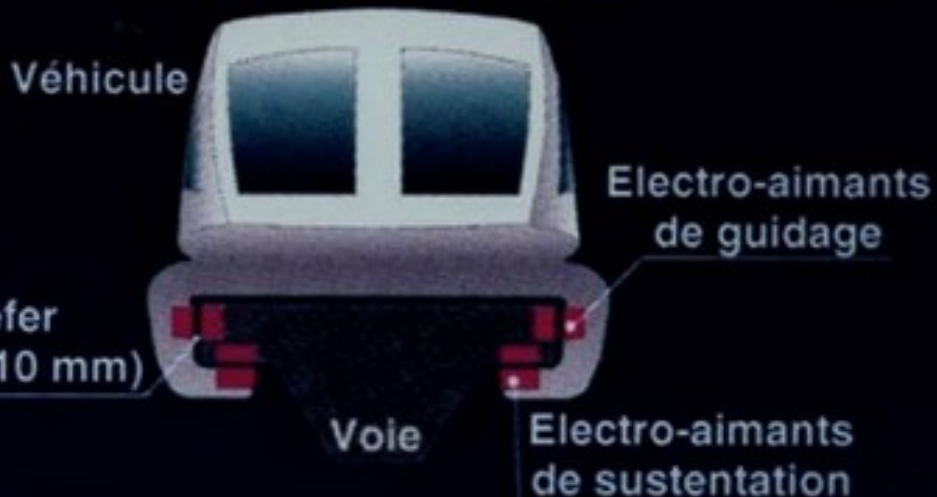
- 1) Principe
- 2) Expérience

III- La capsule

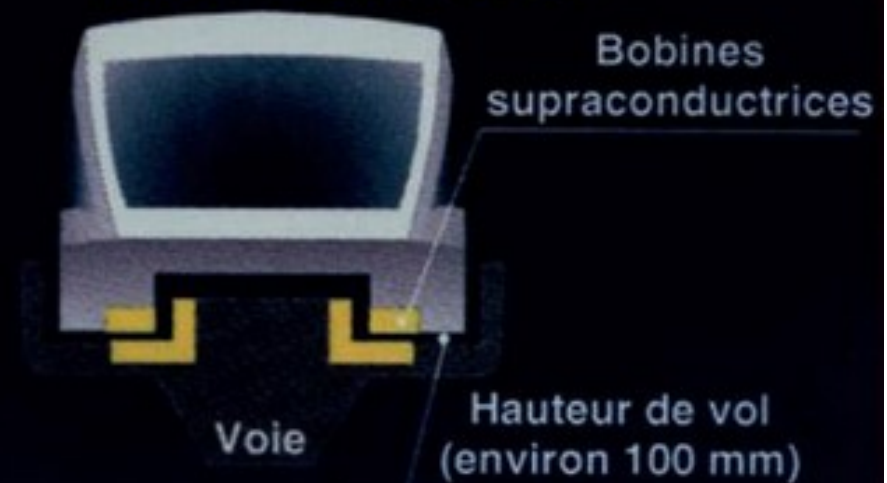
- 1) Modélisation et simulation
- 2) Interprétation

1) Principe

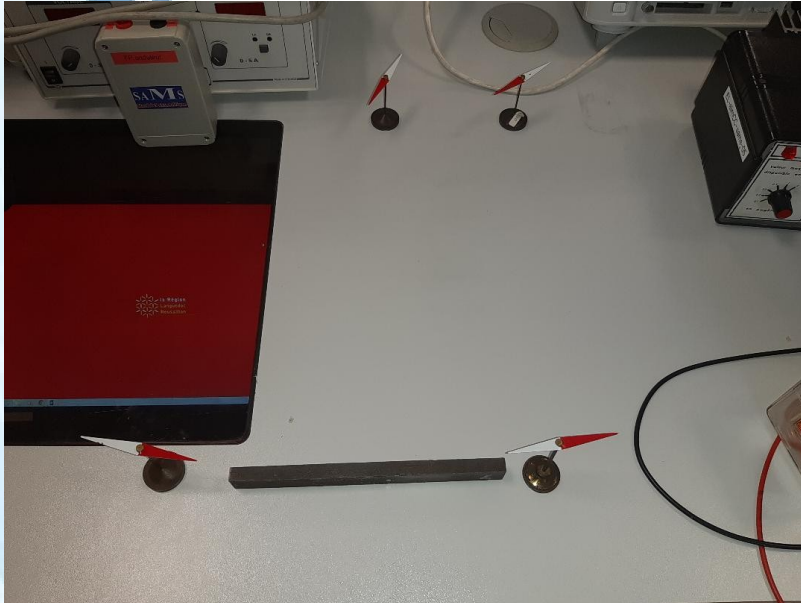
Sustentation électromagnétique (EMS) Forces attractives



Sustentation électrodynamique (EDS) Forces répulsives



1) Principe

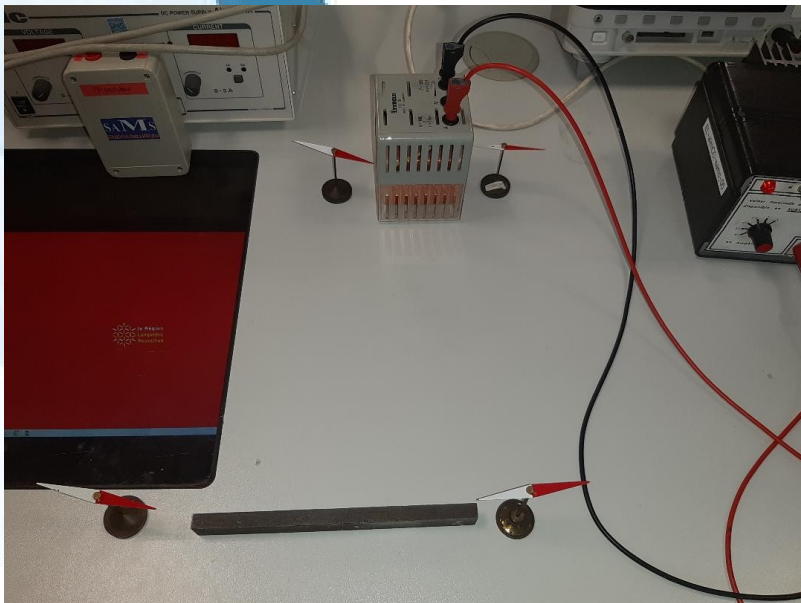


Dès que l'on allume le générateur, la bobine se comporte exactement comme un aimant.

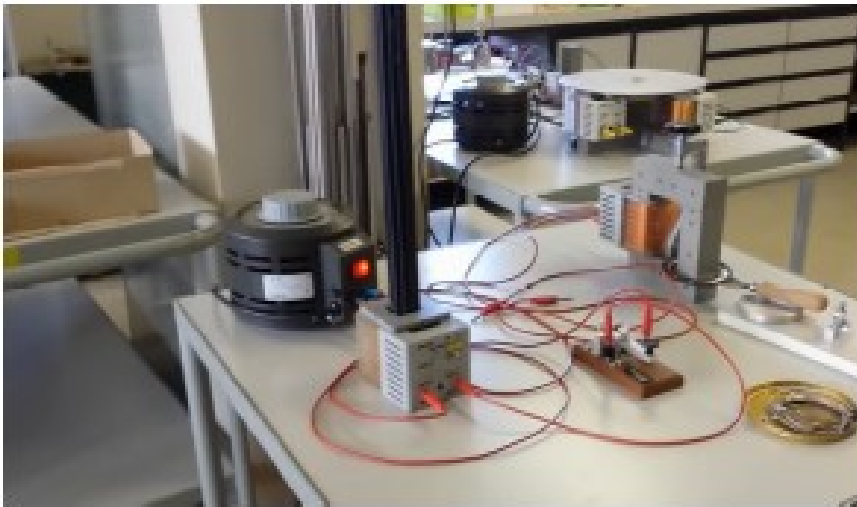
Mise en évidence des électroaimants.

Pour le Transrapid 02,

$$F = m.g / N = \mathbf{6737,5 \text{ N}}$$

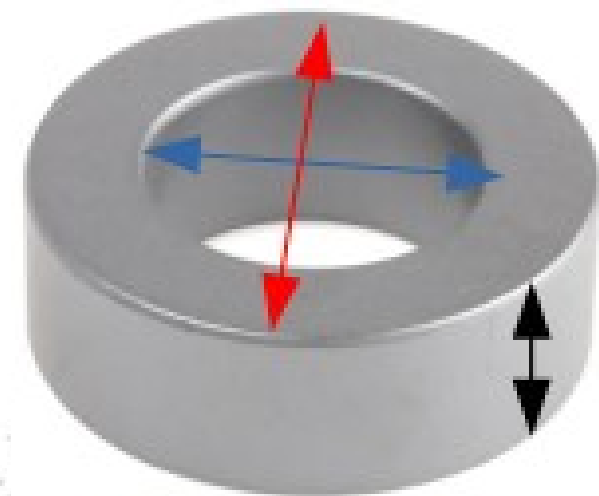


2) Expérience d'Elihu Thomson



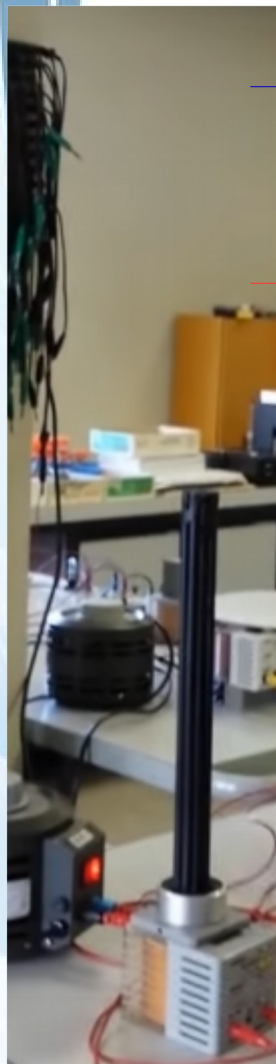
Matériel :

- Anneau de fer doux
- Barre en fer
- Bobine de 500 spires
- Générateur en courant alternatif



61 x 35.5 x 20mm

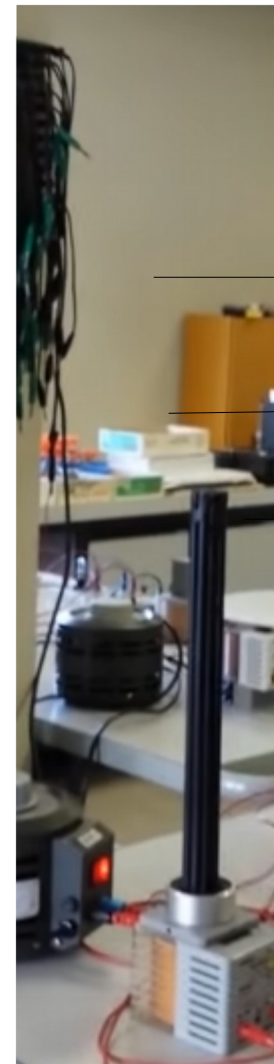
2) Expérience d'Elihu Thomson



$Z_{al} = 1,35m$

$Z_{cu} = 1,15m$

Pour un même courant, l'anneau d'aluminium va plus haut que celui de cuivre.



$Z_{3spires} = 1,05m$ et $F=114N$

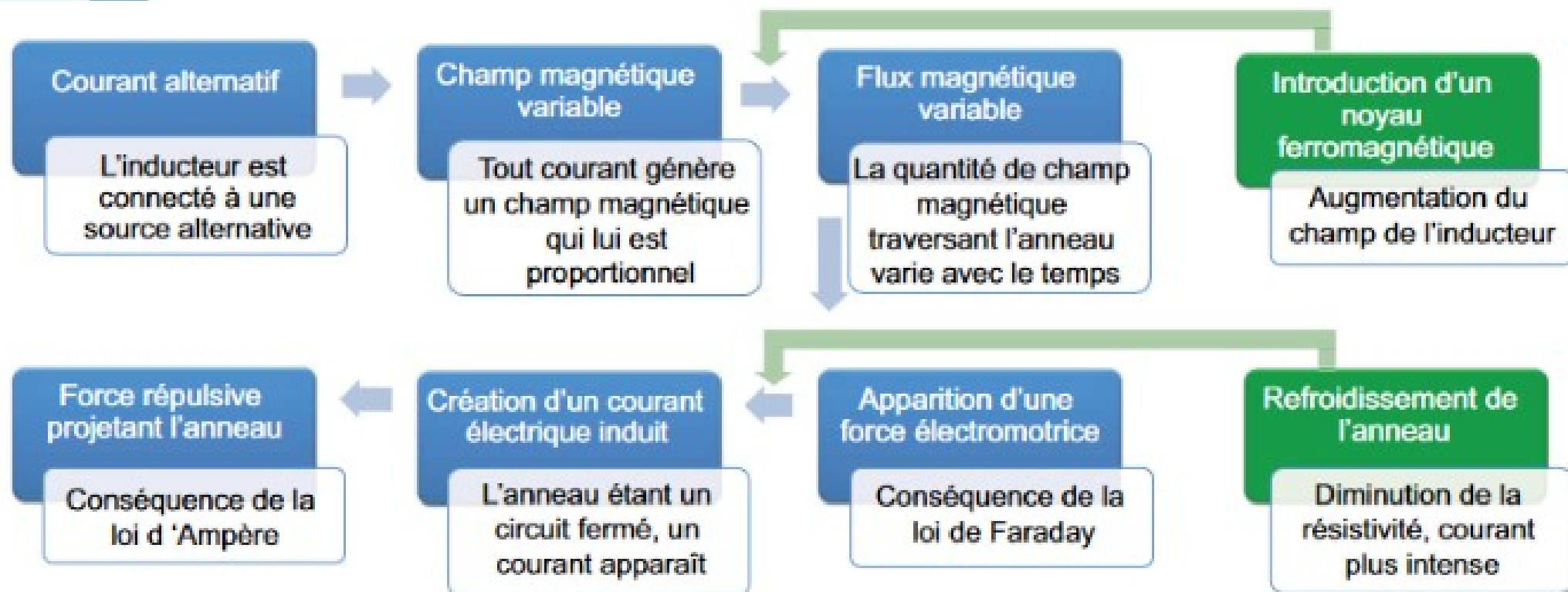
$Z_{2spires} = 95cm$ et $F=48N$

$Z_{1spire} = 90cm$ et $F=13N$

Plus l'anneau possède de spires, plus il va haut.

2) Expérience d'Elihu Thomson

Explications du phénomène :



2) Expérience d'Elihu Thomson

Systeme : anneau

Référentiel : supposé galiléen associé au repère

Oxyz

R_A résistance de l'anneau

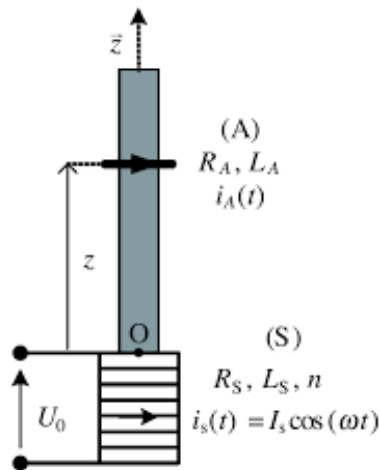
r_a résistance de la spire de l'anneau

L_a inductance propre

R_s résistance du solénoïde

r_s résistance d'une spire (N spires)

L_s son inductance propre



On détermine que : (Annexe 1)

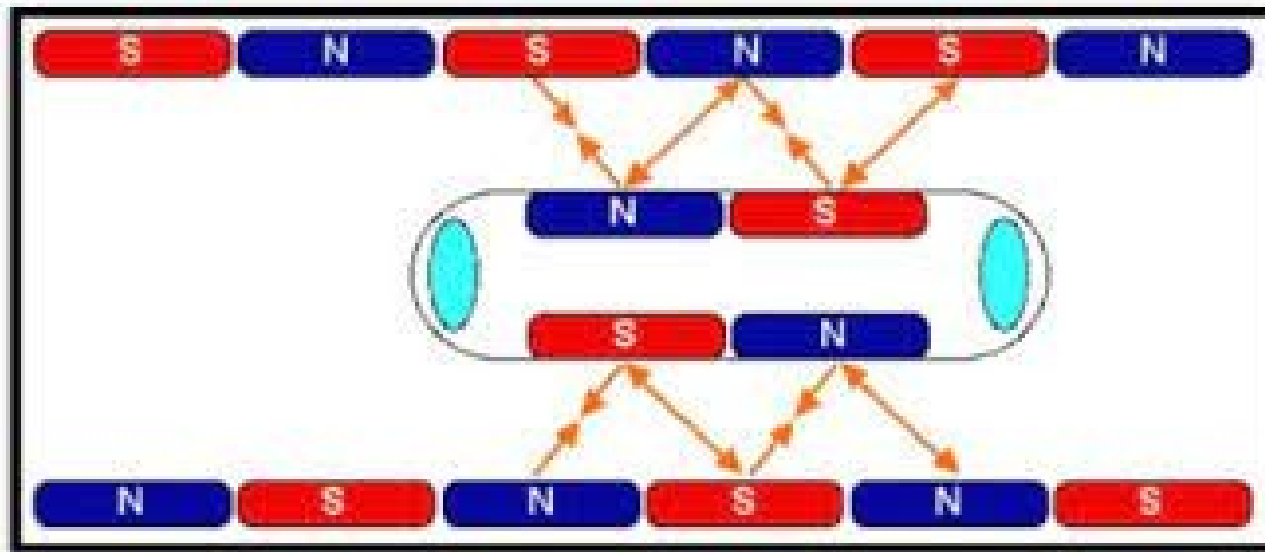
$$F_{LAP} \propto \frac{N^2}{(r_a R_s - N \omega^2 (L_a L_s - M^2))^2 + \omega^2 (r_a L_s + L_a R_s)^2}$$

Influence de la nature du matériau et du nombre de spires :

	Al	Cu
Masse volumique (g.cm ⁻³)	2,7	8,96
m_{cu}/m_{Al}	3	
Force (N)	340	950
F_{cu}/F_{Al}	2,8	

Nombre de spires	1	2	3
F(N)	950	3800	8500

1) Modèle théorique



- Accélération et le freinage basés sur l'alternance de la polarité des électroaimants des voies de guidage
- Le courant alternatif permet le changement de polarité

2) Modèle expérimental

Matériel :

Pile AA

Aimants en néodyme

Spire en cuivre

Tube en plastique d'environ 4cm de diamètre

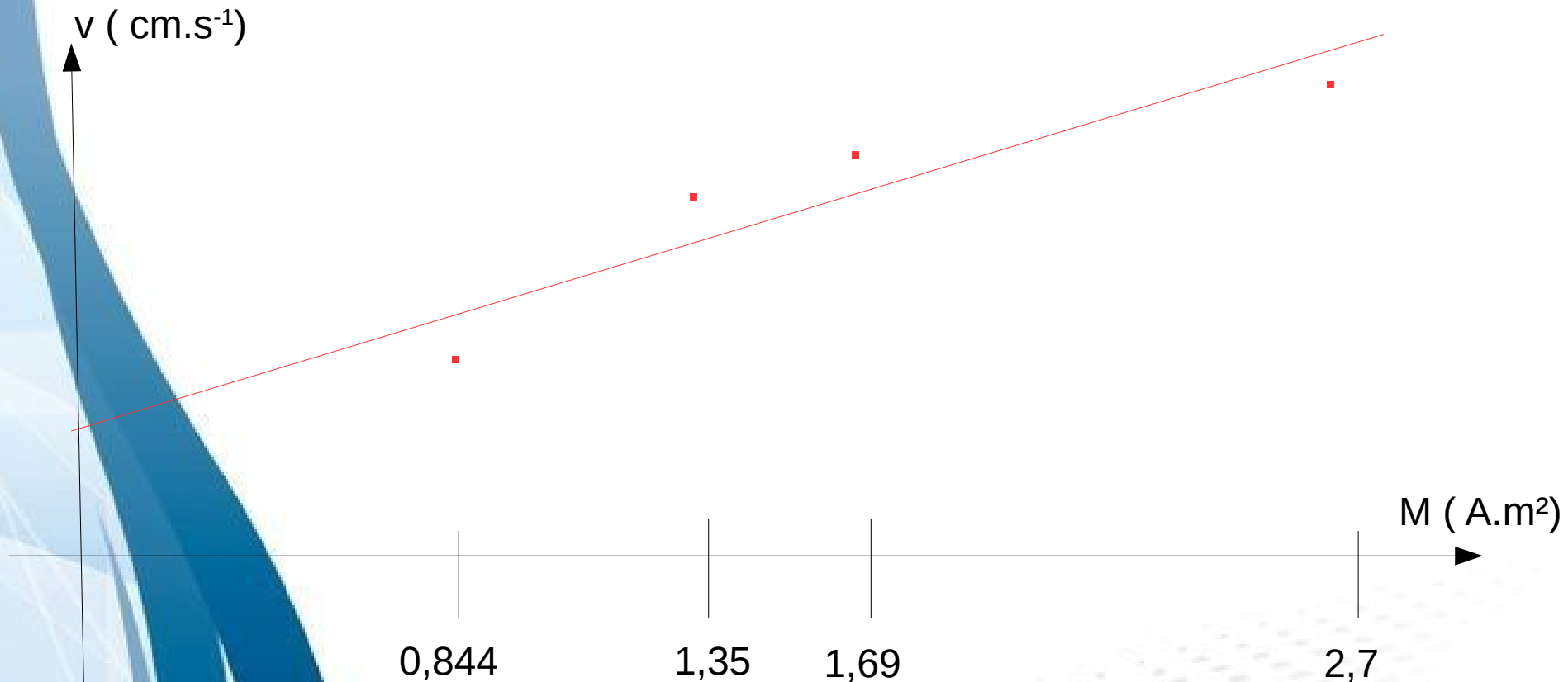


Explications :

- aimants conducteurs de courant dans la bobine
- création d'un champ magnétique
- aimant en position stable / instable
- création d'une force motrice

2) Modèle expérimental



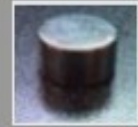

Evolution de la vitesse en fonction du moment magnétique :



Fonction affine : $v = a M + b$

Avec $a = 13,8 \pm 2 \text{ m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}$

2) Modèle expérimental

	Masse (g)	Volume (mm ³)	Moment magnétique (A.m ²)	Vitesse (cm.s ⁻¹)
	6,72	884	0,844	27,3
	13,43	1767	1,69	44,92
	10,74	1414	1,35	42
	21,49	2827	2,7	51

La vitesse augmente avec le moment magnétique et la masse.

2) Modèle expérimental

Calcul théorique de l'intensité :

Appliquons le PFD au système { pile + aimant } :

$$m \cdot \vec{a} = \Sigma \vec{F}_{ext}$$

En projetant sur l'axe (Ox) : $m \frac{dv}{dt} = \frac{N \mu_0 \cdot i \cdot M}{2 \pi r^2}$





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

Soit a le coefficient directeur de la droite $v=f(t)$:

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

2) Modèle expérimental

Comparaison théorie et pratique :

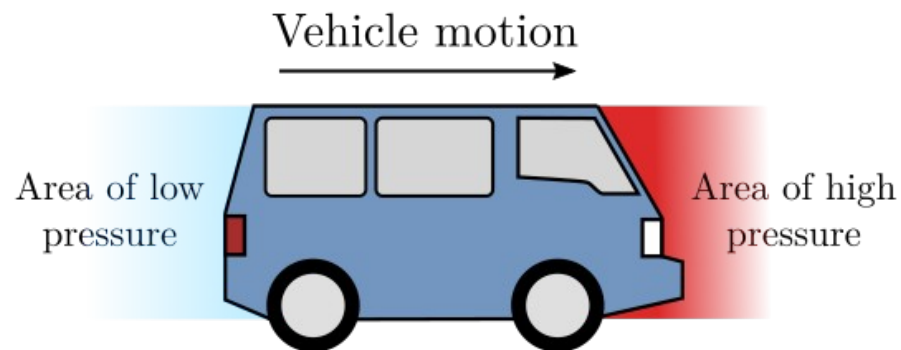
Aimant	Coefficient directeur (cm/s ²)	Intensité (A)	Intensité mesurée (A)
	114 ± 52	$0,154 \pm 0,070$	$0,110 \pm 0,004$
	147 ± 36	$0,151 \pm 0,037$	$0,130 \pm 0,004$
	182 ± 47	$0,166 \pm 0,043$	$0,180 \pm 0,004$
	340 ± 42	$0,255 \pm 0,032$	$0,280 \pm 0,004$

Limites du modèle :

- La pile se décharge rapidement
- Présence importante de frottements
- Relief (angle limite)
- Peu d'aimants utilisés

1) Modélisation et simulation

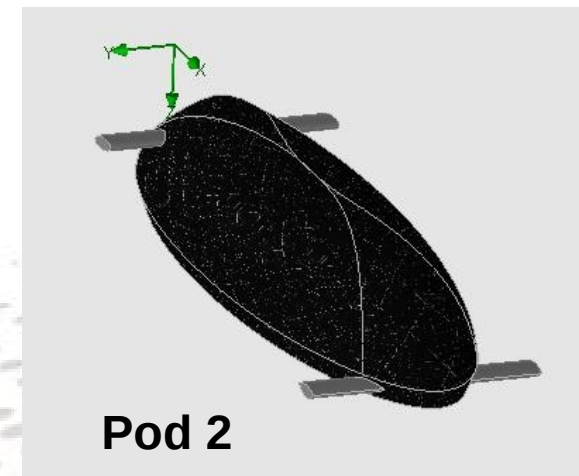
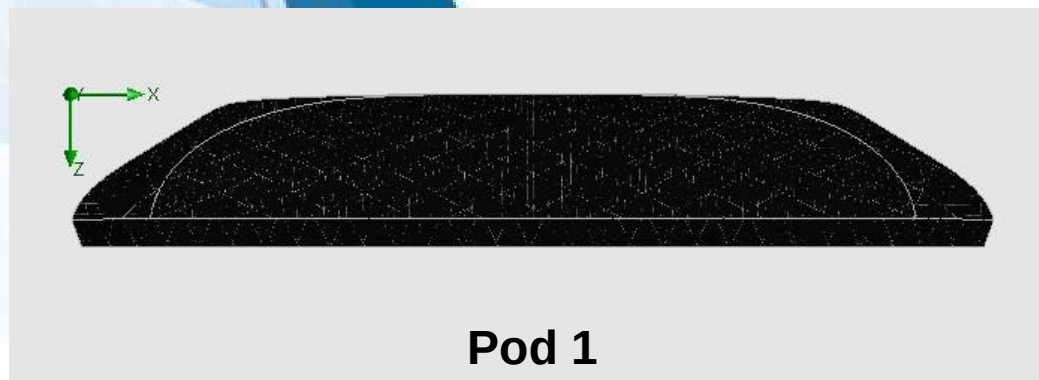
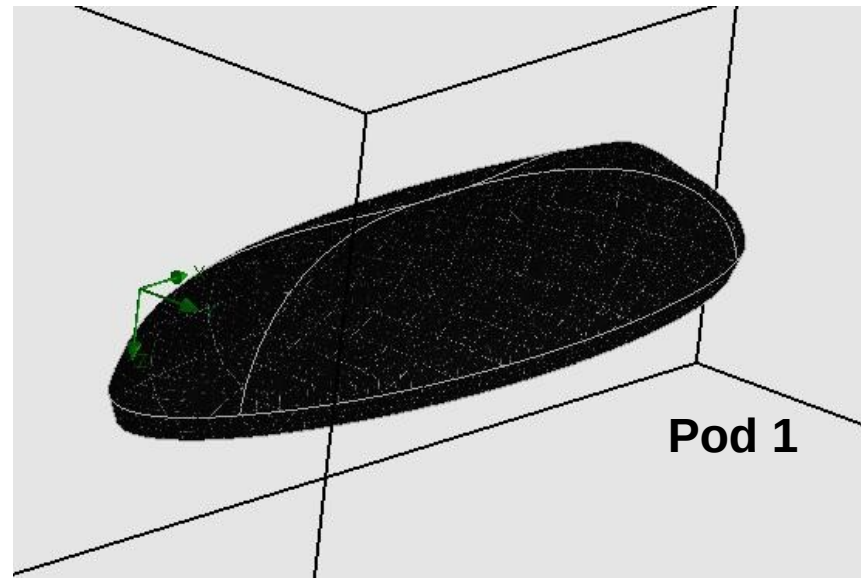
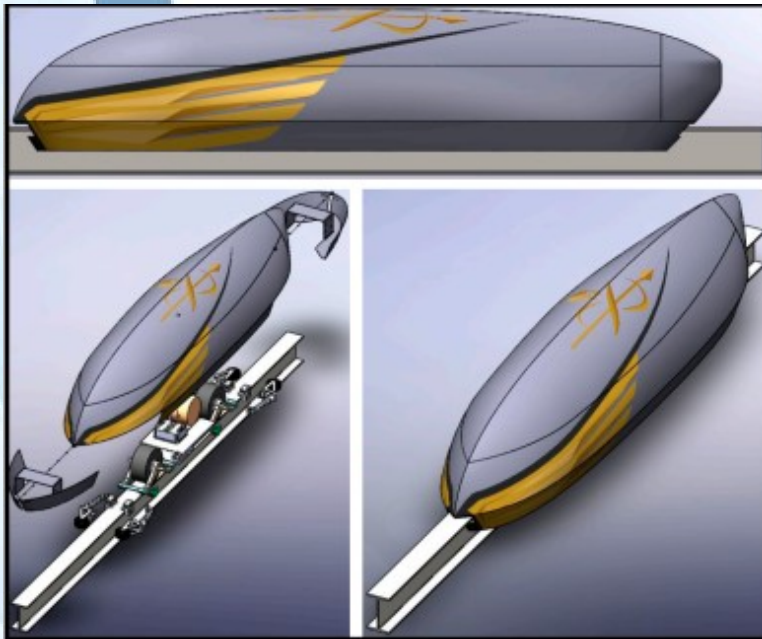
Problème : Comment contrer l'effet piston ?



Une trop grande différence de pression entre l'avant et l'arrière du train crée un mur de pression à l'avant ce qui l'empêche d'atteindre certaines vitesses.

1) Modélisation et simulation

Logiciel utilisé : SolidWorks 2017

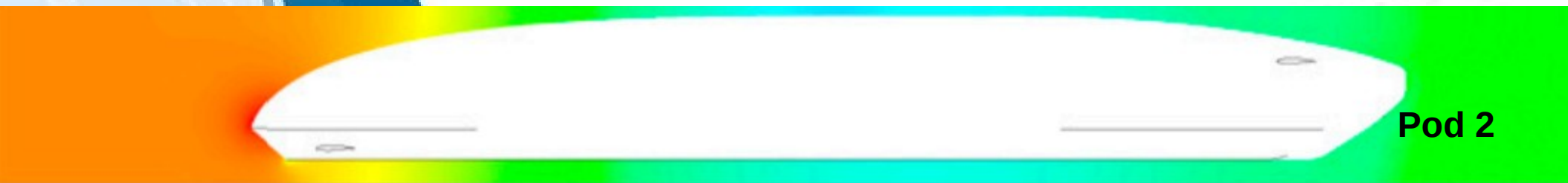
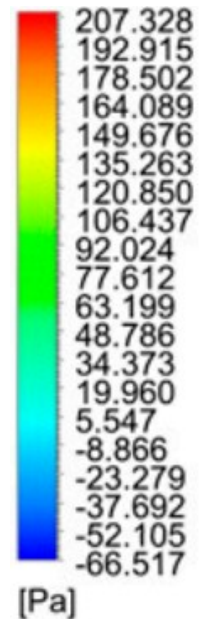


1) Modélisation et simulation

Paramètres rentrés :

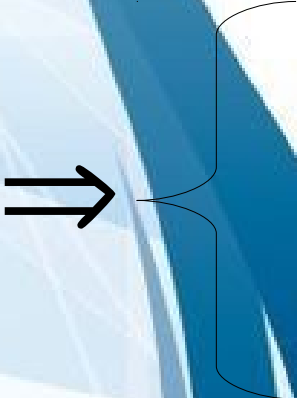
- Pression dans le tube : 25 Pa
- Température : 293 K
- Vitesse de la capsule : 309 m.s⁻¹
- Fluide : Air

Répartition des pressions



2) Interprétation

On remarque que :

- La pression autour du pod 1 est répartie inégalement (très haute pression à l'avant, très faible à l'arrière) .
 - Après l'ajout d'ailettes, la pression s'homogénéise autour du pod 2 .
- 
- L'ajout d'ailettes permet donc de réduire l'effet piston
 - L'effet du mur de pression tend à diminuer.
 - Le pod 2 possède des meilleures performances aérodynamiques et ainsi représente un modèle intéressant pour modéliser la capsule

Annexe 1

La force est : $F_L = i_A i_S \frac{dM}{dz} = \frac{U_0^2}{2} \frac{dM}{dz} \frac{|Z_A| M \omega}{|D|^4} \left(\cos\left(\phi_A + \frac{\pi}{2}\right) + \cos\left(2\omega t + \phi_A - \frac{\pi}{2} - 4\phi_D\right) \right)$

De valeur moyenne : $-\frac{U_0^2}{2} \frac{dM}{dz} \frac{|Z_A| M \omega}{|D|^4} \sin(\phi_A) = \boxed{\langle F \rangle_t = -\frac{U_0^2}{2} \frac{dM}{dz} \frac{L_A M \omega^2}{|D|^4}}$

On calcule :

$$D^2 = (R_A + jL_A \omega)(R_S + jL_S \omega) + M^2 \omega^2 = (R_A R_S - \omega^2 (L_A L_S - M^2)) + j\omega (R_A L_S + L_A R_S)$$

$$|D|^4 = (R_A R_S - \omega^2 (L_A L_S - M^2))^2 + \omega^2 (R_A L_S + L_A R_S)^2$$

$$|D|^4 = N^2 (r_A R_S - N \omega^2 (l_A L_S - M_1^2))^2 + N^2 \omega^2 (r_A L_S + N l_A R_S)^2$$

$$\langle F \rangle_t = -\frac{U_0^2}{2} \frac{dM_1}{dz} \frac{N^2 l_A M_1 \omega^2}{(r_A R_S - N \omega^2 (l_A L_S - M_1^2))^2 + \omega^2 (r_A L_S + N l_A R_S)^2}$$

qui est bien : $\boxed{\langle F \rangle_t \propto \frac{N^2}{(r_A R_S - N \omega^2 (l_A L_S - M_1^2))^2 + \omega^2 (r_A L_S + N l_A R_S)^2}}$