

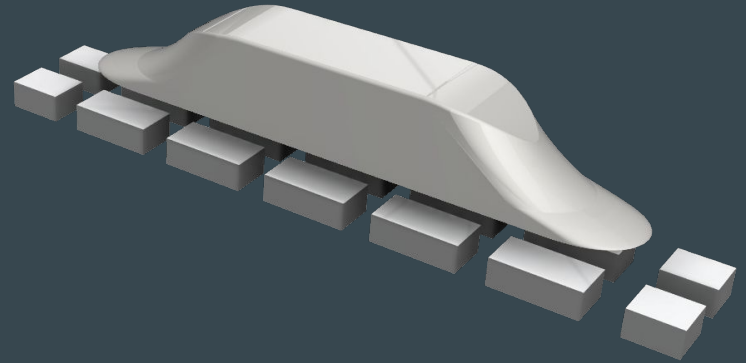
Application de la supraconductivité

...

Train supraconducteur

Sommaire

- Présentation de la supraconductivité
 - découverte
 - équations de London
 - la théorie BCS
 - l'effet Meissner
 - supraconducteur de type I et de type II
- Expériences réalisées sur le train
 - “lévitation de la céramique”
 - mécanique des fluides
- Problèmes rencontrés dans le projet
et quelles sont les solutions?



Les règles de sécurité



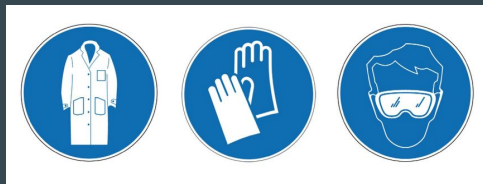
Gaz sous pression ou Gaz liquéfié



Danger Respiratoire



Altération de la Santé (Brûlure)

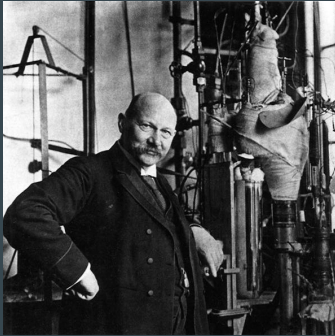


Conseil port de gants isolants, de lunettes, une blouse ou un tee-shirt manches longues avec un pantalon et des chaussures fermées

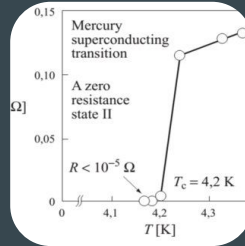
Découverte



Heike KAMERLINGH ONNES



Walther MEISSNER



Robert OCHSENFELD

- Heike Kamerlingh Onnes en 1911 sur du Mercure
- Comportement des métaux à basse température.
- Première théorie de “lévitation” en 1933 Par Meissner et Ochsenfeld

Équations de London

Première équation de London:

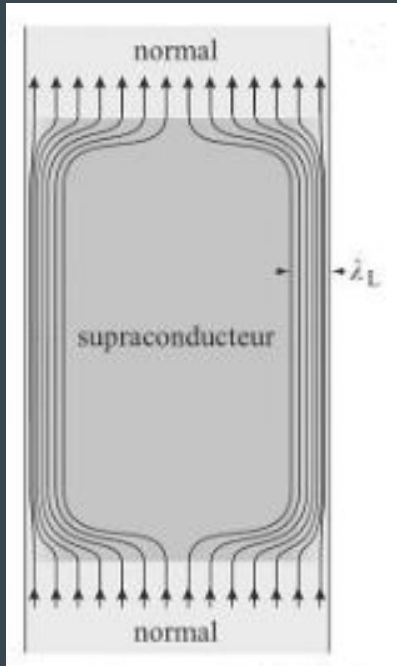
$$\frac{\partial \vec{j}}{\partial t} = \frac{n_s \cdot q_e^2}{m} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\mu_0 \lambda_L^2} \vec{E}$$

Seconde équation de London:

$$\vec{\nabla} \left[\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right] = \frac{1}{\lambda_L^2} \left[\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right]$$





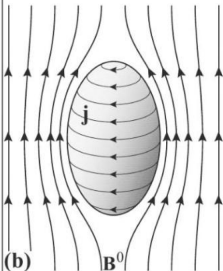

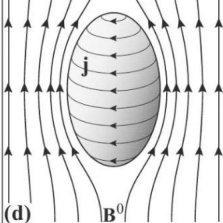
Explication du coefficient λ_L



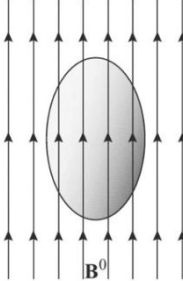
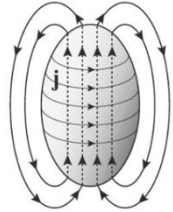

λ_L est appelé longueur de London , elle représente la longueur dans laquelle le champ magnétique peut “rentrer” dans le supraconducteur.

Comparaison entre un conducteur parfait et un supraconducteur

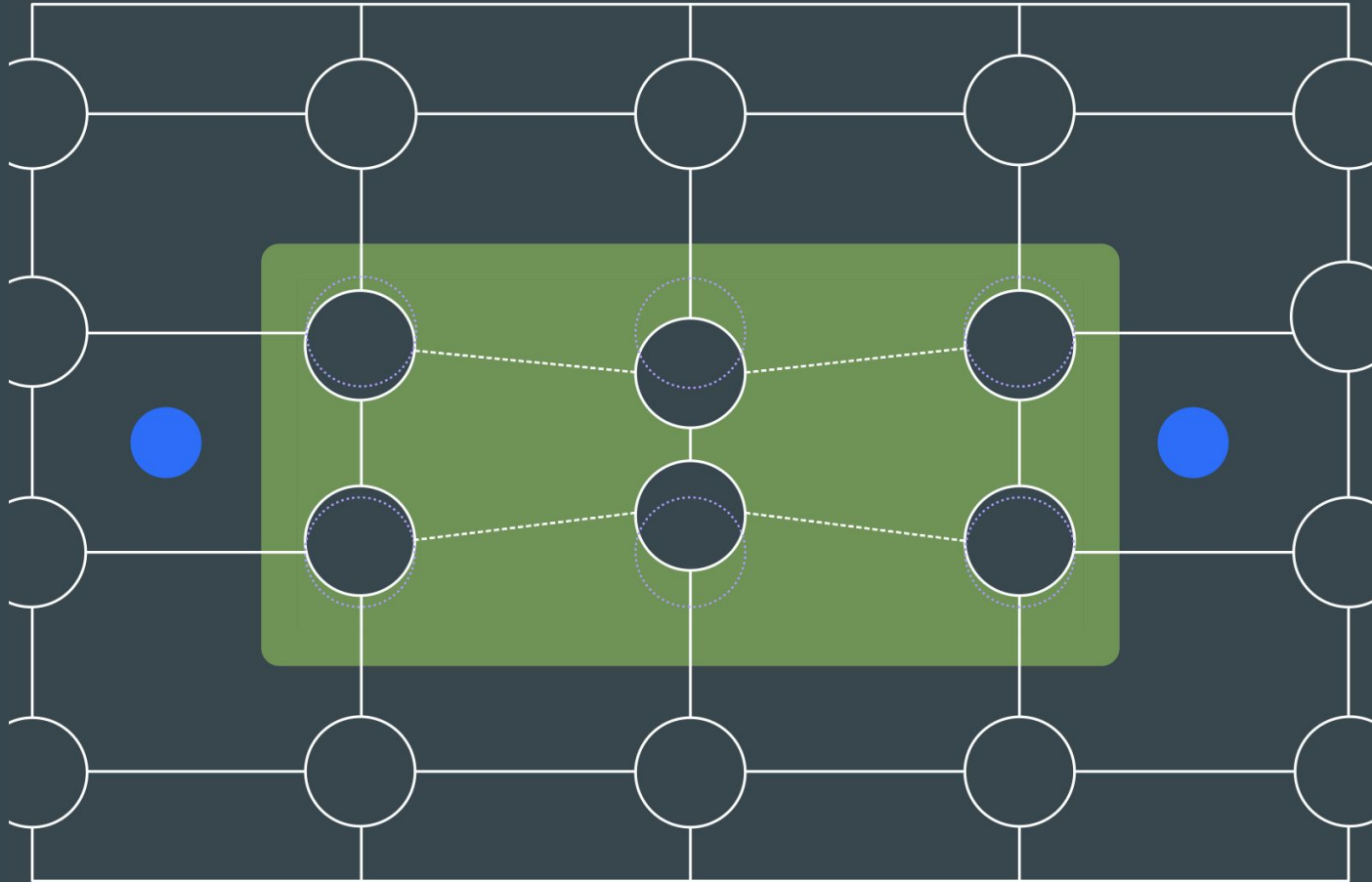
comparaison à $T \leq T_c$

	$B^0 = 0$ $T > T_c$	$B^0 = 0$ $T < T_c$	$B^0 \neq 0$ $T < T_c$
conducteur parfait		(a) 	(b) 
supra-conducteur		(c) 	(d) 

comparaison à $T \geq T_c$

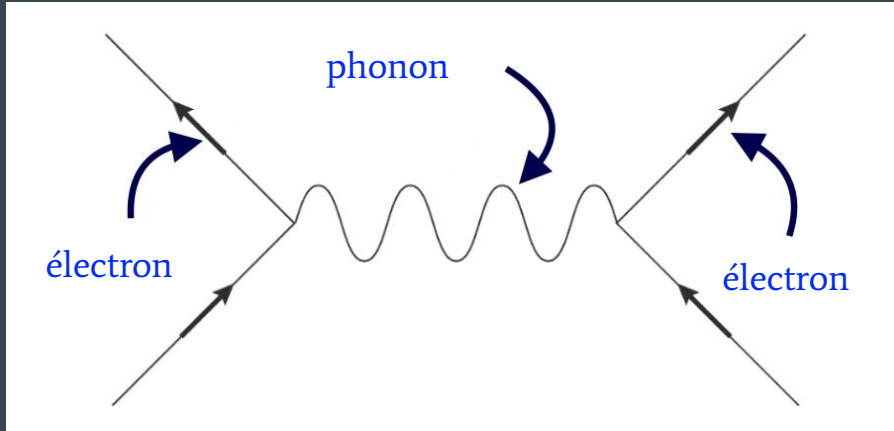
	$B^0 \neq 0$ $T > T_c$	$B^0 = 0$
conducteur parfait		(b) 
supra-conducteur		(d) 

Théorie BCS



Pour un supraconducteur de type I

Couplage d'une paire d'électrons par des phonons.



Les états initiaux et finaux doivent être des vecteurs d'onde et de spin opposé (état de paire)

Cet état permet d'abaisser à chaque paire de Cooper crée un peu plus le niveau du système.

Cette paire entraîne le super diamagnétisme du supraconducteur

L'Effet Meissner

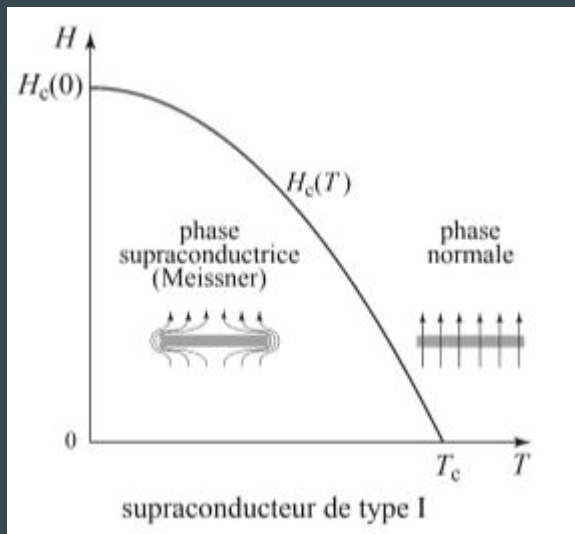


En conclusion à cette partie théorique:

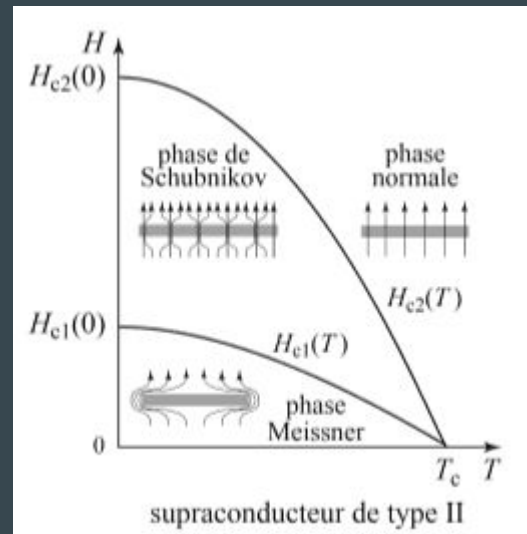
- L'effet Meissner en lien avec les équations de London.
- Expliqué par la théorie BCS (le super diamagnétisme) lorsqu'il s'agit d'un supraconducteur de type I

Différence entre supraconducteur de type I et II

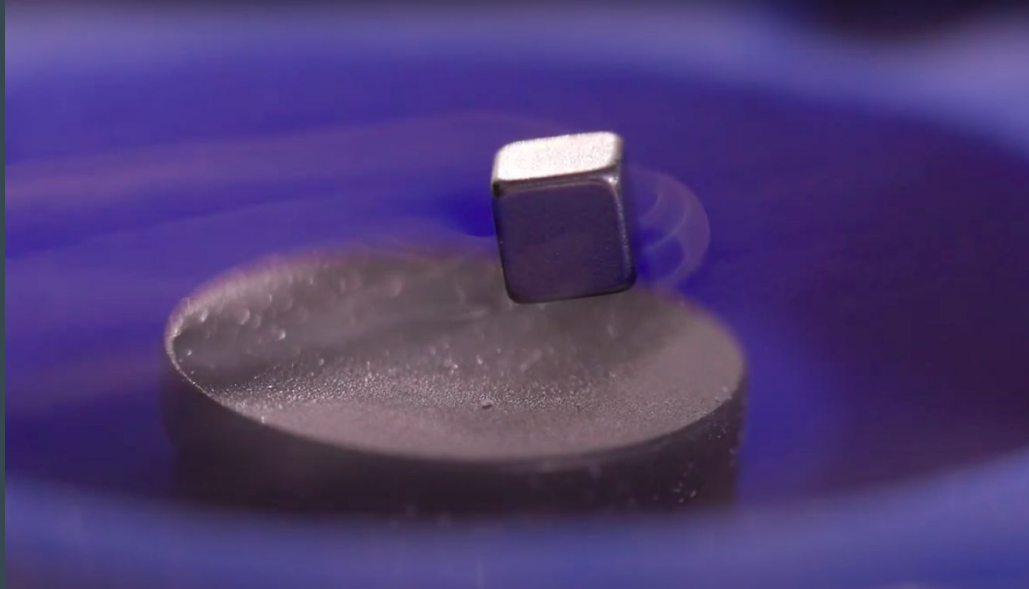
Supraconducteur de type I



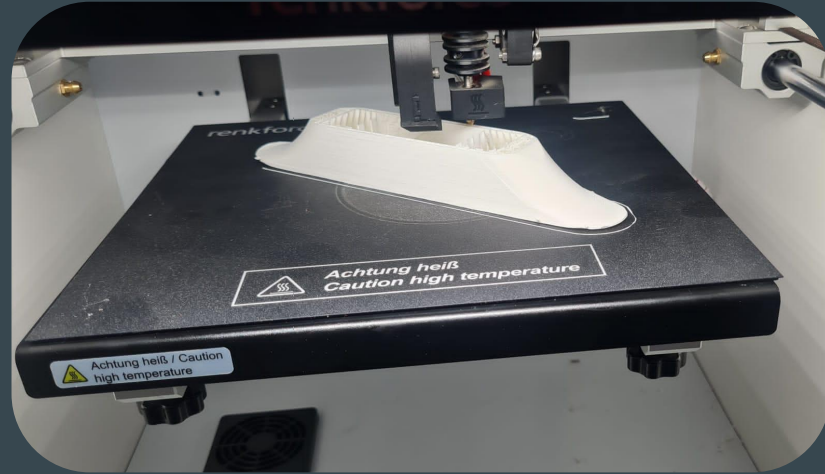
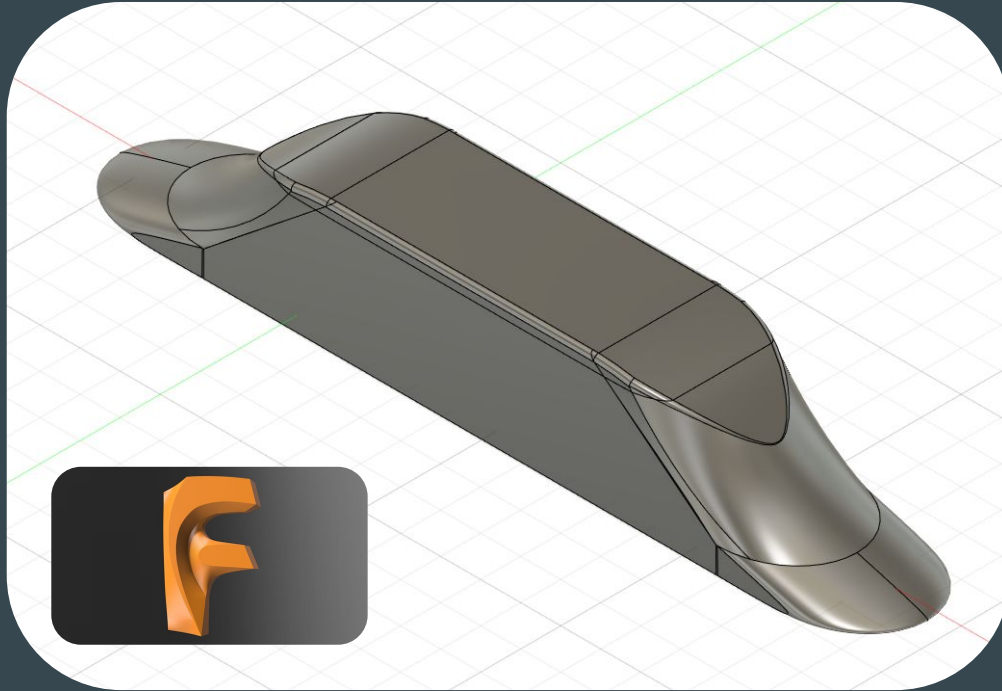
Supraconducteur de type II



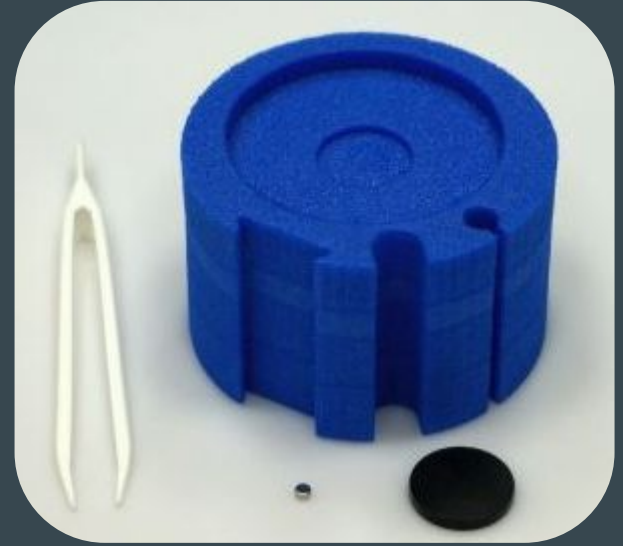
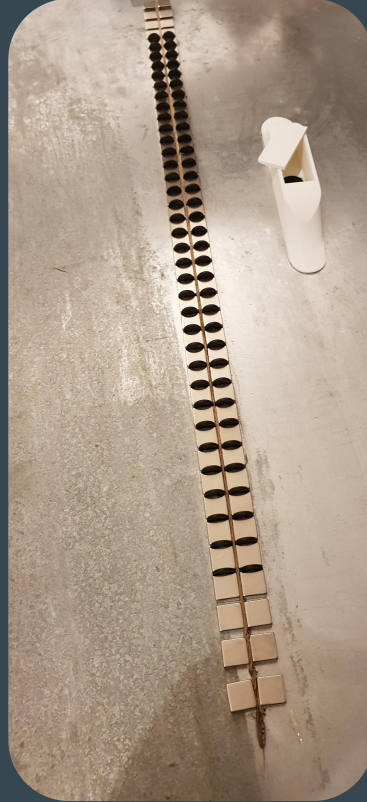
Expérience de lévitation:



Création du train en 3D



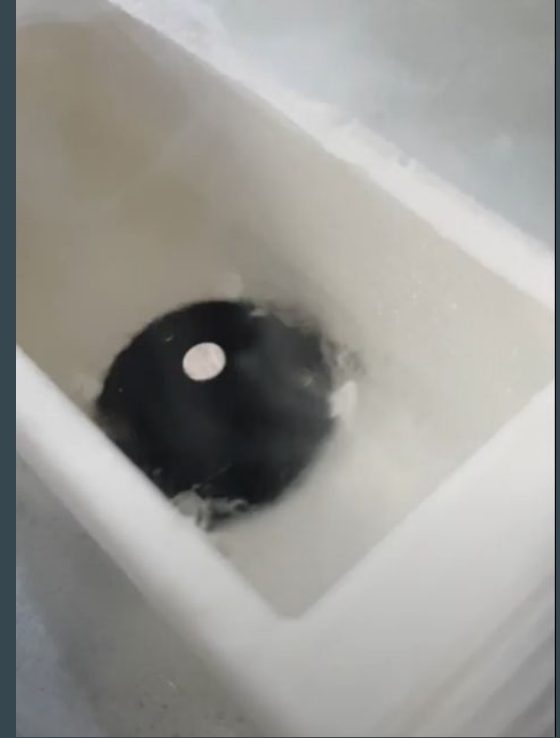
Train en lévitation avec les aimants



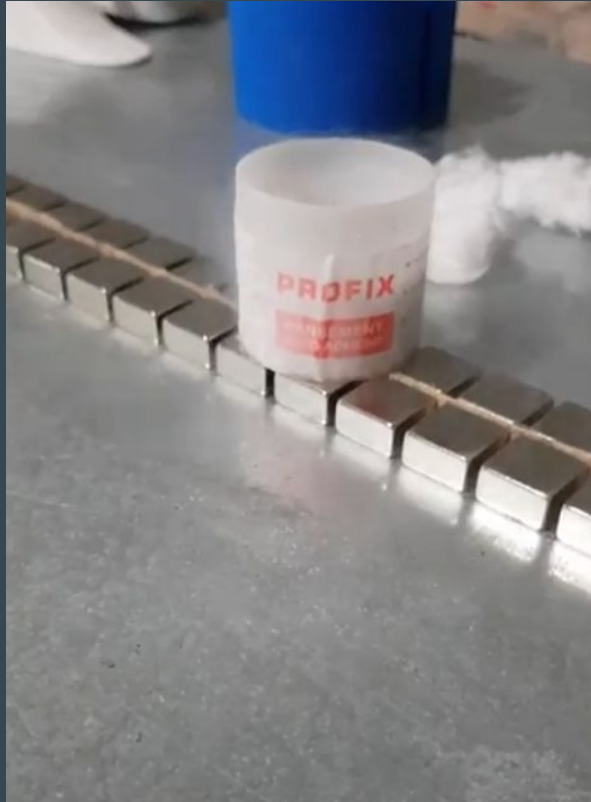
Première tentative

Première expérience avec le train et la céramique à l'intérieur.

On remarque que le train ne lévite pas pourtant la céramique est bien supraconductrice comme on peut le voir sur la photo.



Seconde tentative

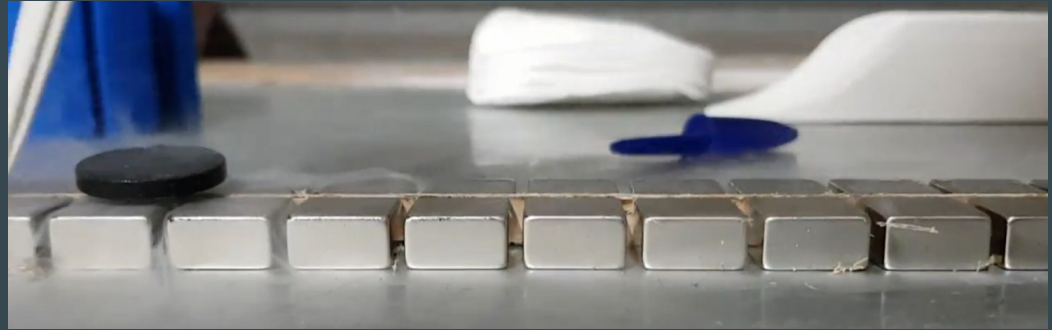


Tentative avec un cylindre d'un
hauteur d'environ 5cm et de
diamètre 3 cm

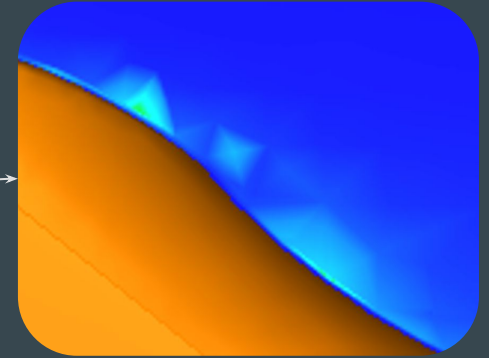
Démonstration de supraconductivité

Dans cette vidéo, on remarque que la céramique lévite au-dessus du rail, jusqu'à que la céramique remonte au-dessus de sa température critique.

On remarque aussi qu'il faut n'y appliquer qu'une très faible force pour que la céramique se déplace sur tout notre rail.

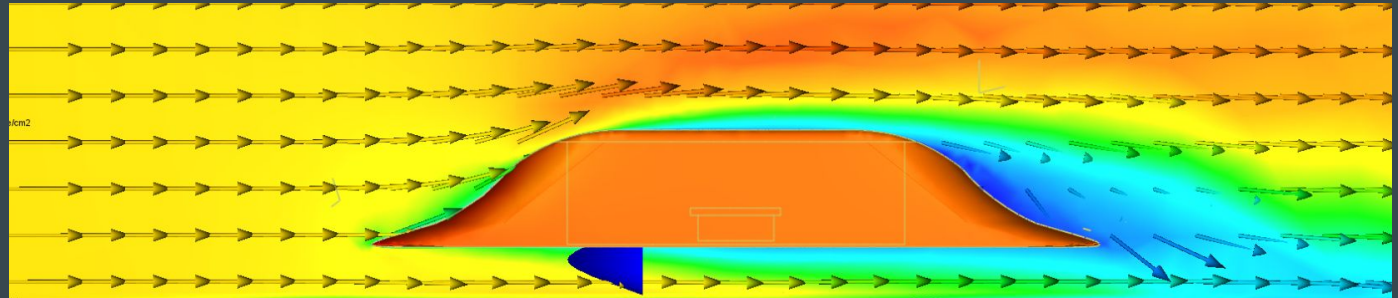


Simulation mécanique des fluides



Intensité des turbulences

Amplitude du
vecteur vitesse



Données recueillies grâce aux simulations de mécanique des fluides

La formule de la traînée est

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2$$

or on a $F_x = 32.61$ Newton et l'aire vaut 6067.37 cm^2

on a donc un coefficient de traînée qui vaut:

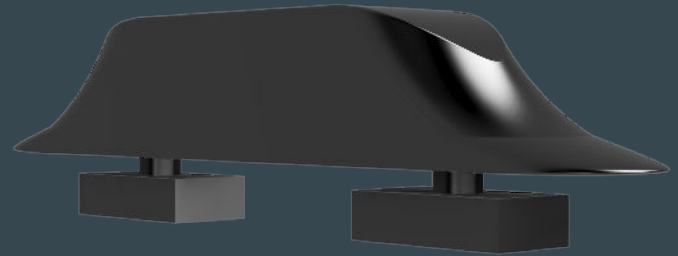
$$C_x = 0.0029$$

On remarque de plus, que la pression appliquée sur le train est d'environ $1.36 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

On remarque aussi que l'intensité maximale des turbulences est comprise entre:
3 et 3.5

Problème envisagé avec ce train:

- On ne peut pas faire de longs trains.
- On doit donc diminuer l'aérodynamisme du train au profit de plus de maniabilité



Conclusion

Un projet aujourd'hui réalisable mais qui ne sera pas fait pour des raisons de coût du projet. En effet, malgré la sécurité et la vitesse apportées par ce train, le coût en azote liquide et en céramiques supraconductrices rendent le projet irréalisable à grande échelle. Il faudra donc attendre la création d'une céramique supraconductrice à température ambiante, afin de peut-être pouvoir voir le projet émerger. Cependant cela n'est même pas sûr car si il vient à y avoir une céramique à température ambiante, ce ne serait pas la première application de la supraconductivité.

Annexe

Démonstration de la première équation de London

Cas du conducteur parfait:

On ne considère que la force électrique qui s'applique à la particule.

$$m \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = q_e \cdot \vec{E}$$

Or:

$$\vec{j} = n_s \cdot q_e \cdot \vec{v} \Rightarrow \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} = n_s \cdot q_e \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$$

D'où:

$$\frac{\partial \vec{j}}{\partial t} = \frac{n_s \cdot q_e^2}{m} \cdot \vec{E}$$

Démonstration de la seconde équation de London

On prend la première équation de London
et on en prend le rotationnel

$$\mu_0 \cdot \overrightarrow{rot} \left(\frac{\partial \vec{j}}{\partial t} \right) = \frac{1}{\lambda_L^2} \cdot \overrightarrow{rot} (\vec{E})$$

on applique la loi de Maxwell-Faraday :

$$\overrightarrow{rot} (\vec{E}) = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

et on obtient :

$$\mu_0 \cdot \overrightarrow{rot} \left(\frac{\partial \vec{j}}{\partial t} \right) = - \frac{1}{\lambda_L^2} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) \quad (1)$$

on se place dans l'ARQS magnétique:

$$\overrightarrow{rot} (\vec{B}) = \mu_0 \vec{j}$$

d'où :

$$\overrightarrow{rot} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = \mu_0 \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

on utilise la relation :

$$\overrightarrow{rot} (\overrightarrow{rot} (\vec{B})) = \overrightarrow{grad} (div (\vec{B})) - \overrightarrow{\Delta} \vec{B}$$

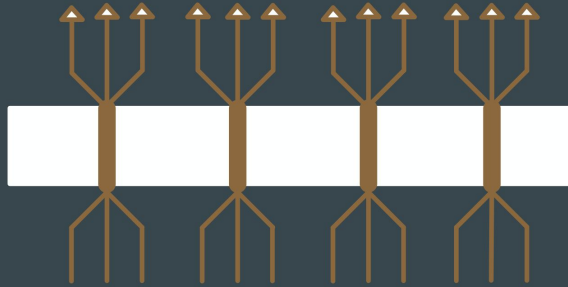
or d'après Maxwell-Flux :

$$div (\vec{B}) = 0$$

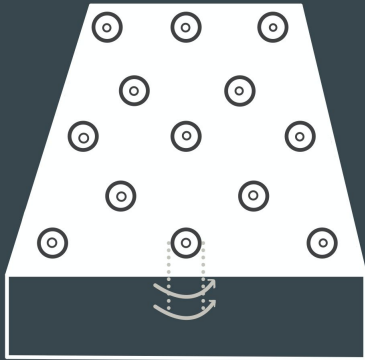
on obtient donc en injectant dans (1) :

$$\overrightarrow{\Delta} \left[\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right] = \frac{1}{\lambda_L^2} \left[\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right]$$

Etude rapide de la phase Shubnikov

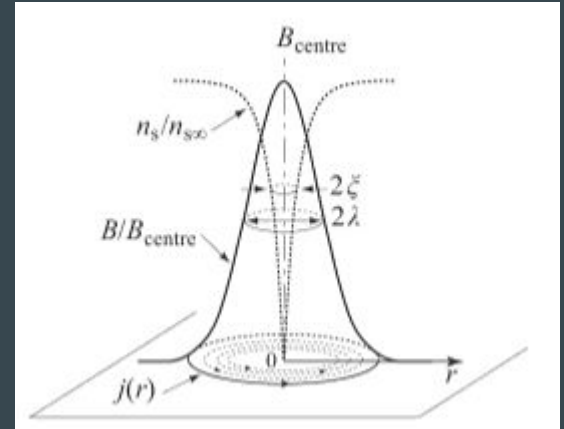


Champ dans supraconducteur
de type II



Réseau d'Abrikosov

Vortex d'Abrikosov



maillage du train

