

PH03Y040  
Physique Expérimentale 2  
Licence 2 de Physique  
Mini projet : Freinage magnétique

Marcin Kovalevskij  
Len Muramatsu

Objectif de projet : Mettre en évidence la présence de courants de Foucault dans un tube conducteur lors de la chute d'un aimant dans le tube.

Présentation de l'expérience : On va observer la chute d'un aimant dans un tube en cuivre. L'aimant en chute libre tombe plus lentement dans un tube en cuivre que sans tube. L'aimant est ralenti par les courants de Foucault engendrés par un champ magnétique extérieur de l'aimant (le flux du champ **B** de l'aimant à travers le tube en cuivre).

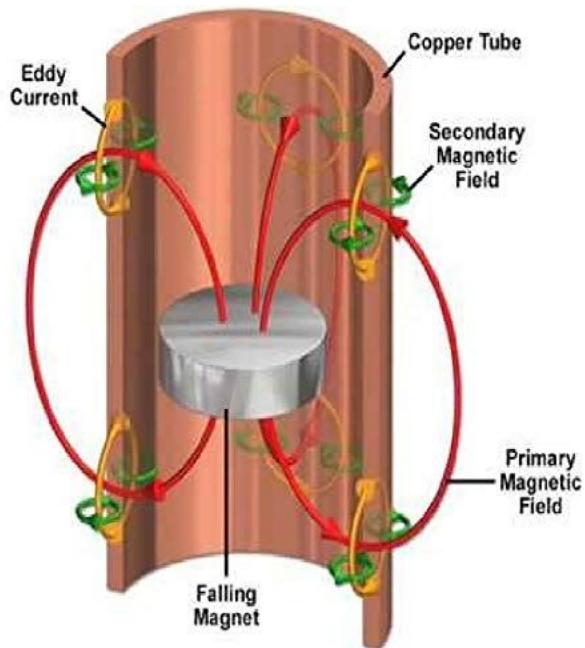


Figure 1, les courants de Foucault

On va mesurer la vitesse de l'aimant dans le tube, avec différents tubes (conductrices et isolantes) de rayon et épaisseur différentes pour contrôler comment ces paramètres modifient sa vitesse. Ensuite, nous mesurons plusieurs temps de la chute en variant la distance  $d$  entre deux bobines et en traçant la distance en fonction de temps -  $d(t)$  pour obtenir  $v(t)$  par régression linéaire. Ainsi, on s'entend avoir la relation linéaire  
$$d = vt + d_0.$$

Après avoir mesuré les vitesses de la chute d'un aimant dans les différentes tubes on utilisera le modèle théorique ainsi que l'ajustement linéaire pour estimer le coefficient  $k$ . Le coefficient  $k$  représente la traînée magnétique sur l'aimant (produit par les courants

de Foucault) pendant la chute dans le tube.<sup>1</sup> Ce protocole nous permettra mettre en évidence la présence des courants de Foucault.

Modèle théoriques : On va calculer valeur de  $k$  en utilisant le modèle de la Mécanique Classique ainsi que de l'Électromagnétisme classique.

Le simple bilan de forces s'exerçant sur l'aimant lors d'une chute libre dans le tube nous permet déduire la valeur de  $k$ .

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{P} + \vec{F} = mg - kv.$$

On s'intéresse en situation à l'équilibre, donc  $mg - kv = 0 \Rightarrow k = \frac{mg}{v}$ . Ainsi, on a retrouvé le coefficient  $k$  qui en partie sera à la cause de présence des courants de Foucault. Dans toute la suite de rapport on nommera ce  $k = k_{exp}$ .

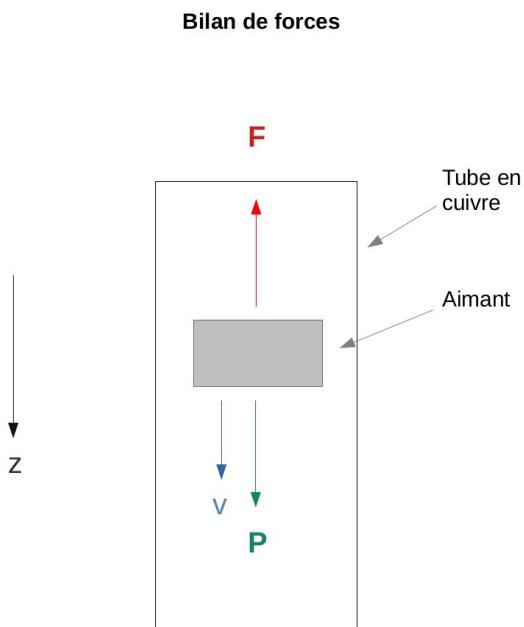


Figure 2. Bilan des forces sur l'aimant

---

<sup>1</sup> [1], page 858

Par un calcul plus compliqué que précédent, par la théorie de l'électromagnétisme, on peut déduire un autre valeur de facteur de la traînée magnétique qu'on nommera  $k_{theo}$ .<sup>2</sup> On note les paramètres de la tube :  $a$  - le rayon de tube,  $\sigma$  - la conductivité de tube (cuivre),  $\mu$  - le moment dipolaire de l'aimant et  $e$  - épaisseur de la tube.

$$k_{theo} = \frac{36\pi f \sigma e \mu^2}{a^4} \quad f = \frac{5\pi}{256}$$

### Modèle de manipulation

#### Présentation de montage de l'expérience :

1. On place deux bobines telles que le tube soit à l'intérieur de ces bobines<sup>3</sup>, on les connecte à l'oscilloscope.
2. On observe des variations du signal de Channel 1 (bobine 1) et de Channel 2 (bobine 2) à des temps différentes, lors de la chute de l'aimant, la différence des 2 temps nous donnera le temps de la chute  $t$  de l'aimant.
3. La distance  $d$  est mesurée par une règle, que l'on place sur le support, entre les centres des deux bobines.

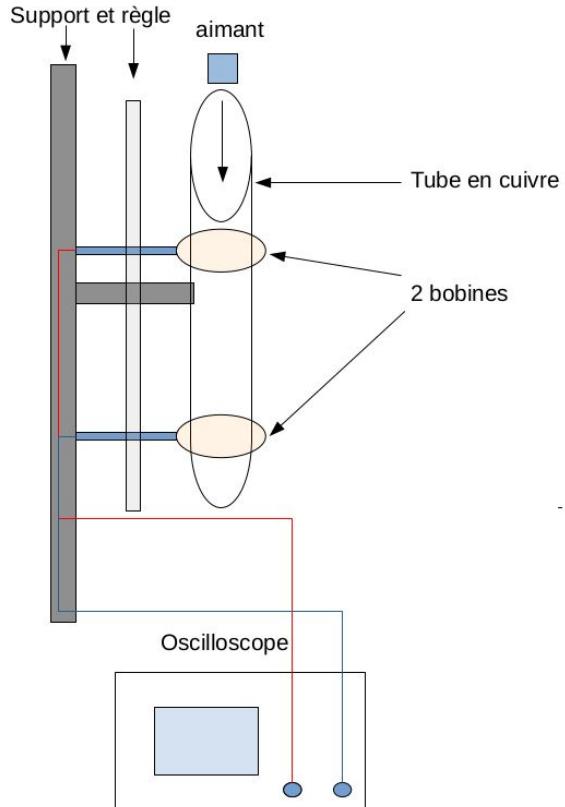


Figure 3. Présentation de montage

<sup>2</sup> Pour la preuve complète de ce résultat on vous invite à consulter [1], page 858.

<sup>3</sup> Variation de flux  $\mathbf{B}$  due l'aimant va induire la tension dans les bobines.

### Présentation des résultats expérimentaux :

On mesure les différentes temps de chute de l'aimant en variant les variables de contrôle, la distance entre deux bobines, la longueur et le diamètre de la tube ainsi que le type de la tube. Ensuite on utilise le logiciel Matlab pour interpoler la vitesse de la chute en fonction de la relation linéaire  $d = vt$ . Aussi on prend en compte l'incertitude sur nos mesures qui est présenté comme barre d'erreurs sur chaque graphique.

(Longueur x diamètre) 20x1 en cm

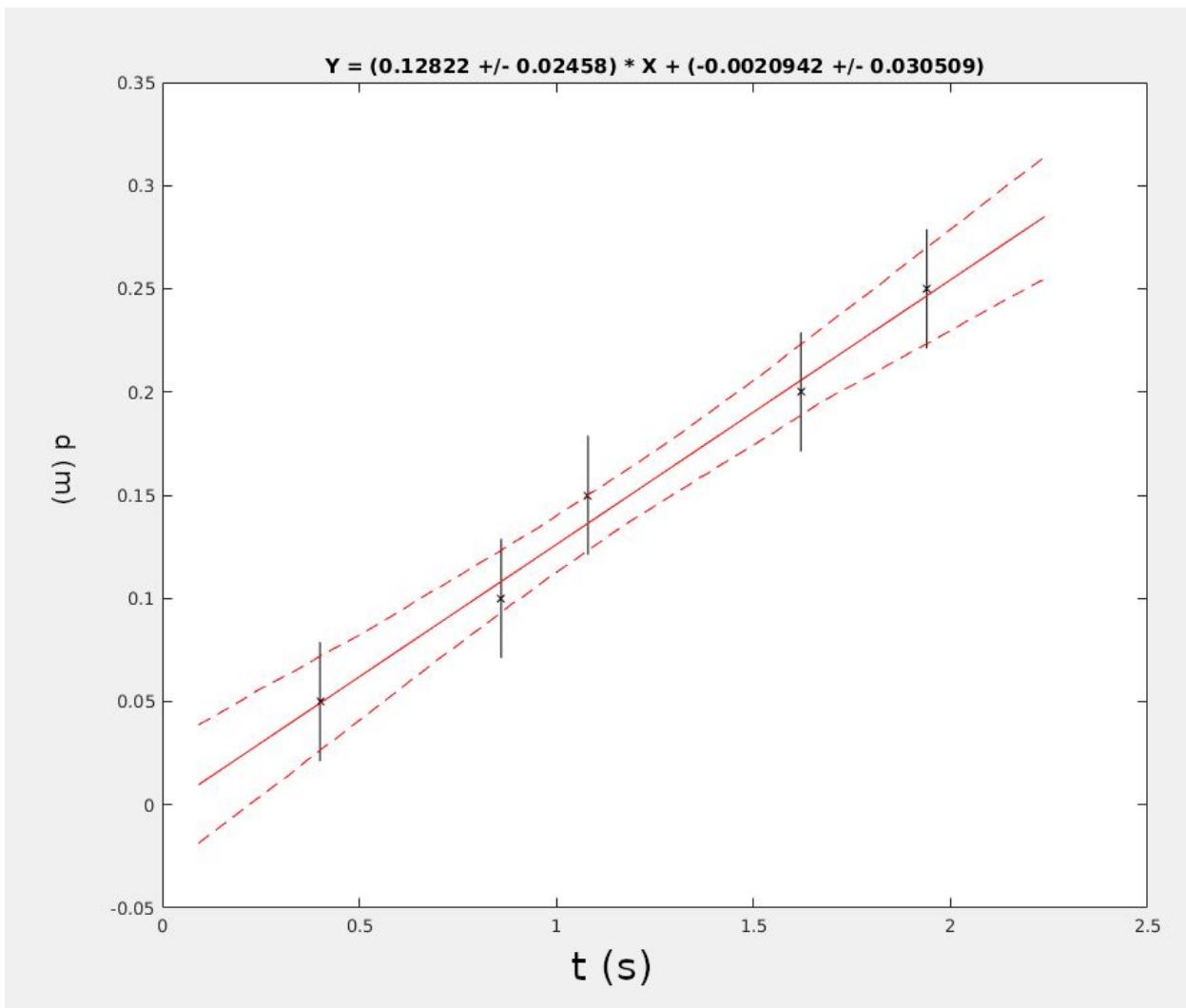


Figure 4, (Distance en fonction de temps de l'aimant dans le tube de longueur 20 cm et de rayon 1 cm)

(Longueur x diamètre) 22x1 en cm

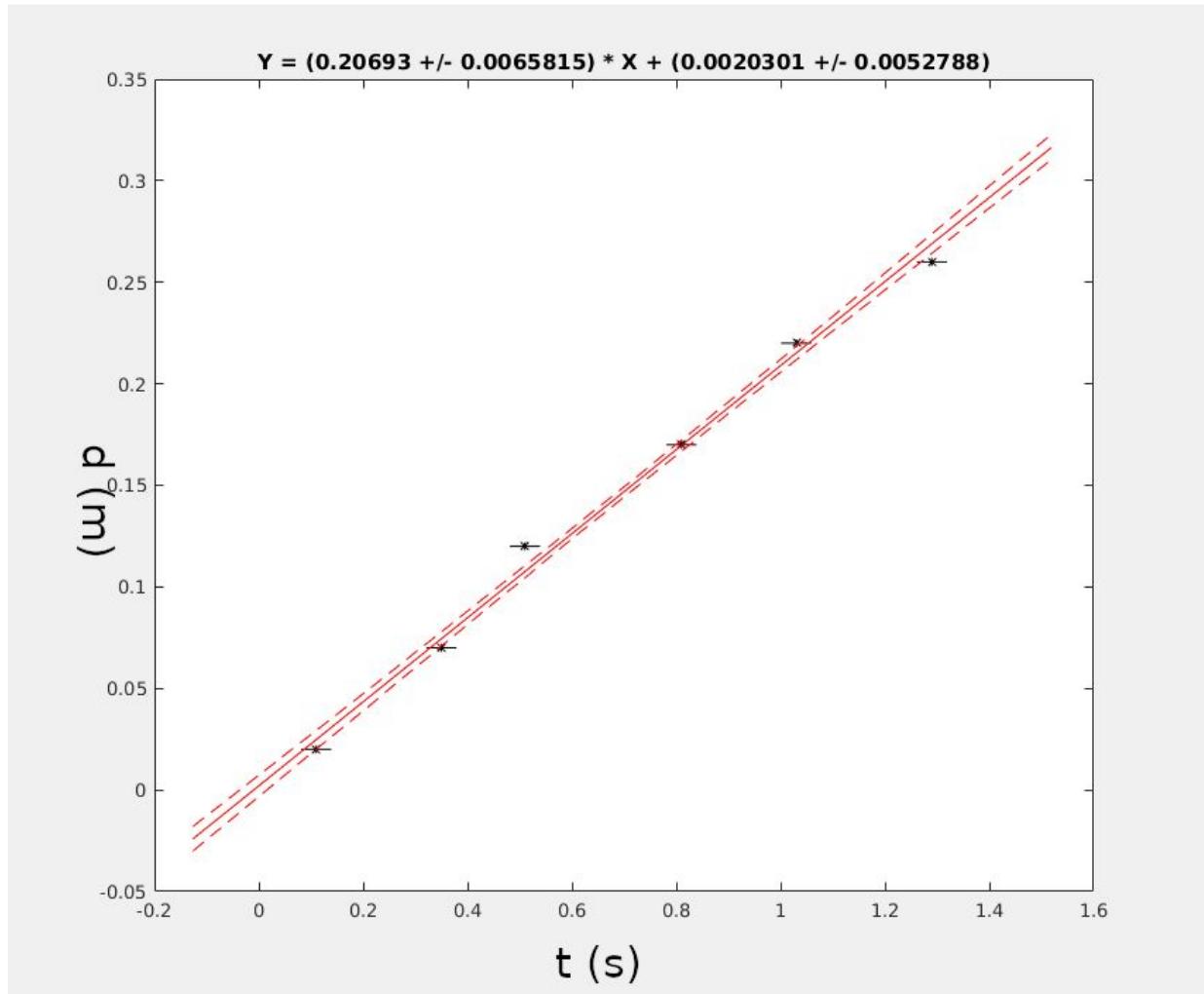


Figure 5, (Distance en fonction de temps de l'aimant dans le tube de longueur 22 cm et de rayon 1 cm)

(Longueur x diamètre) 25x2.5 en cm

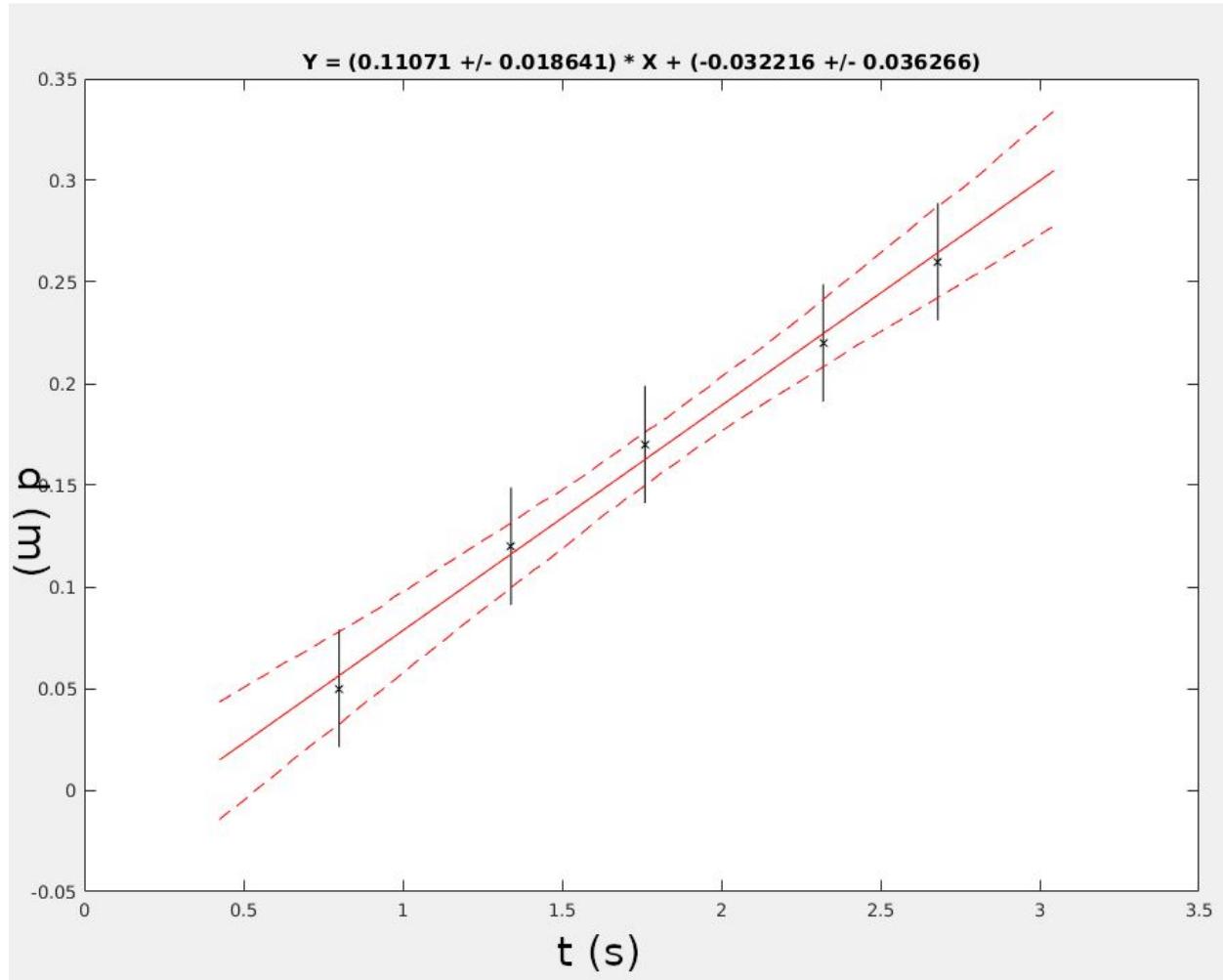


Figure 6, (Distance en fonction de temps de l'aimant dans le tube de longueur 25 cm et de rayon 1 cm)

(Longueur x diamètre) 30x1 en cm

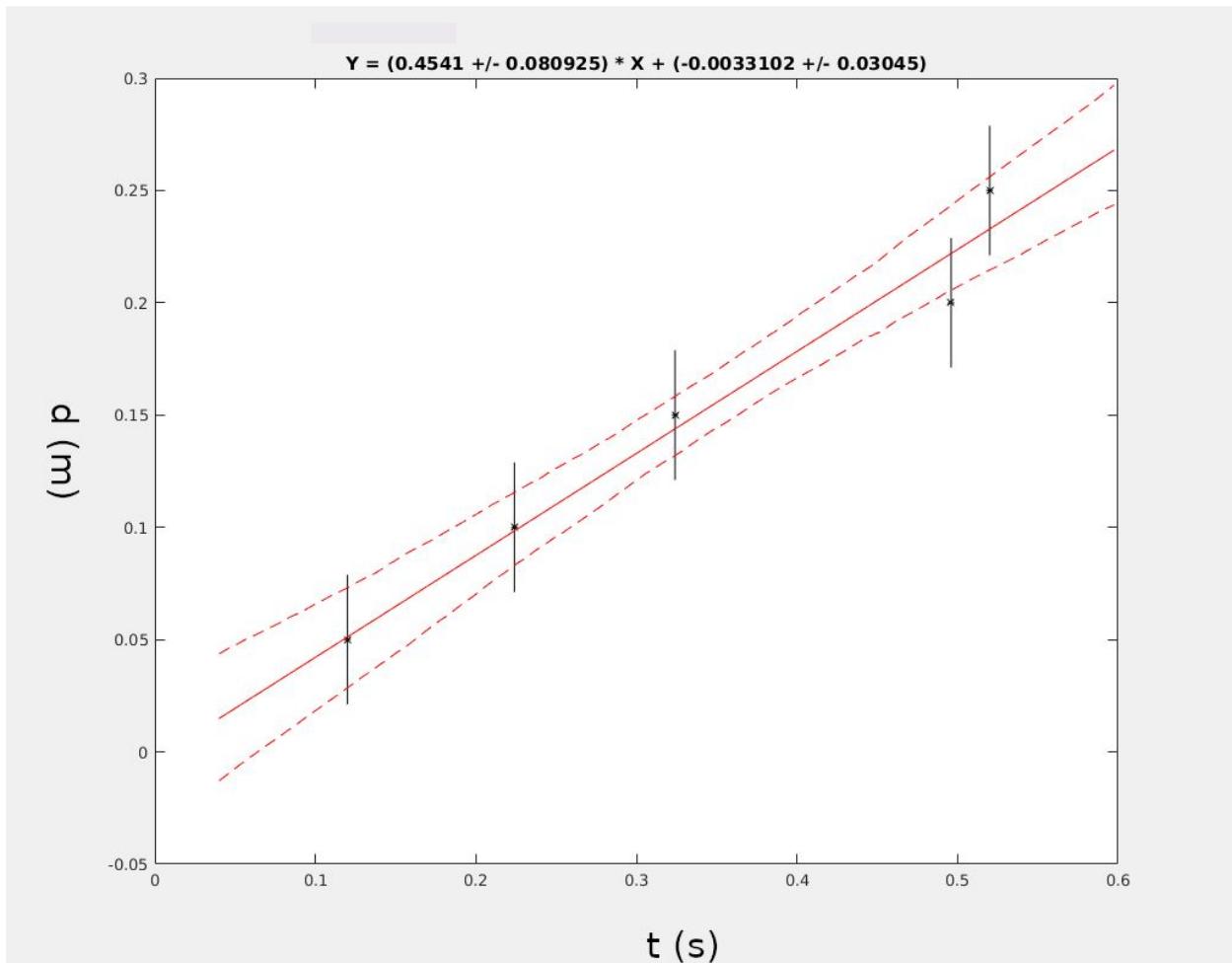


Figure 7, (Distance en fonction de temps de l'aimant dans le tube de longueur 30 cm et de rayon 1 cm)

(Longueur x diamètre) 32x1 en cm

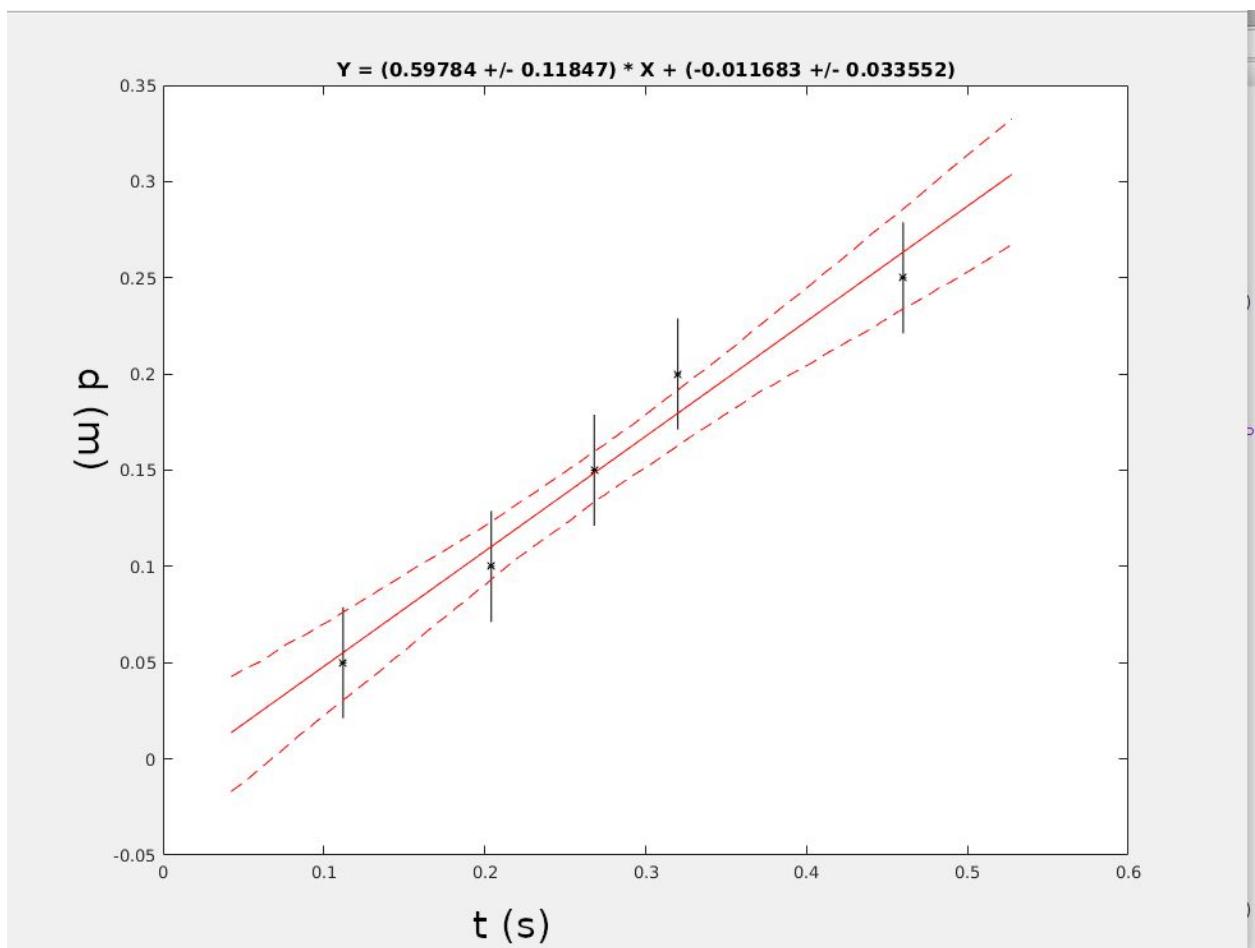


Figure 8, (Distance en fonction de temps de l'aimant dans le tube de longueur 32 cm et de rayon 1 cm)

### Tube en plastique

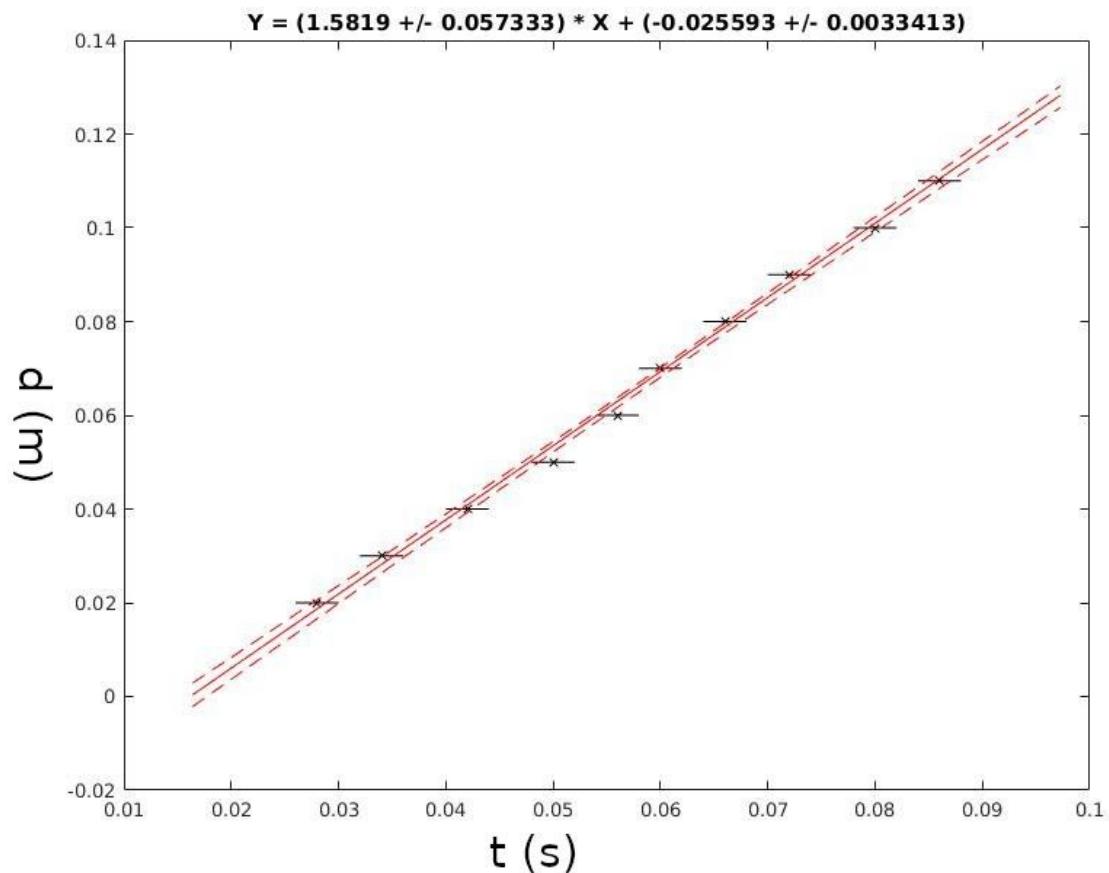


Figure 9, (Distance en fonction de temps de l'aimant dans le tube en plastique)

### Estimation du coefficient $k_{theo}$ :

Pour calculer  $k_{theo}$ , d'abord on mesure les valeurs du champ B de l'aimant en fonction de la distance. Ensuite on calcule les valeurs de  $\mu$  de l'aimant par simple interpolation<sup>4</sup> de moment dipolaire en utilisant l'équation de champ magnétique dipolaire selon la direction radiale  $B_r = 2\mu \frac{\cos(\theta)}{r^3} \approx 2\mu \frac{1}{r^3}$ . Ainsi, on obtient la valeur de  $\mu = 4.834e-07$  unités S.I.

### Les valeurs de B de l'aimant en fonction de la distance pour interpoler $\mu$

Distance (cm)	$\mathbf{B(z)}$ (mT)
5.0	8.33
6.0	3.70
8.0	1.62
9.0	0.96
11.50	.50
12.50	.40

Ainsi on estime la valeur de  $k_{theo}$ .

Rayon en m	$k_{theo}$ en $T A^{-1}s m^{-4}$
0.0100	9.6648
0.0110	6.6012
0.0150	1.9091
0.0160	1.4747

<sup>4</sup> On utilise la fonction d'interpolation de Matlab.

Figure de  $k_{theo}$

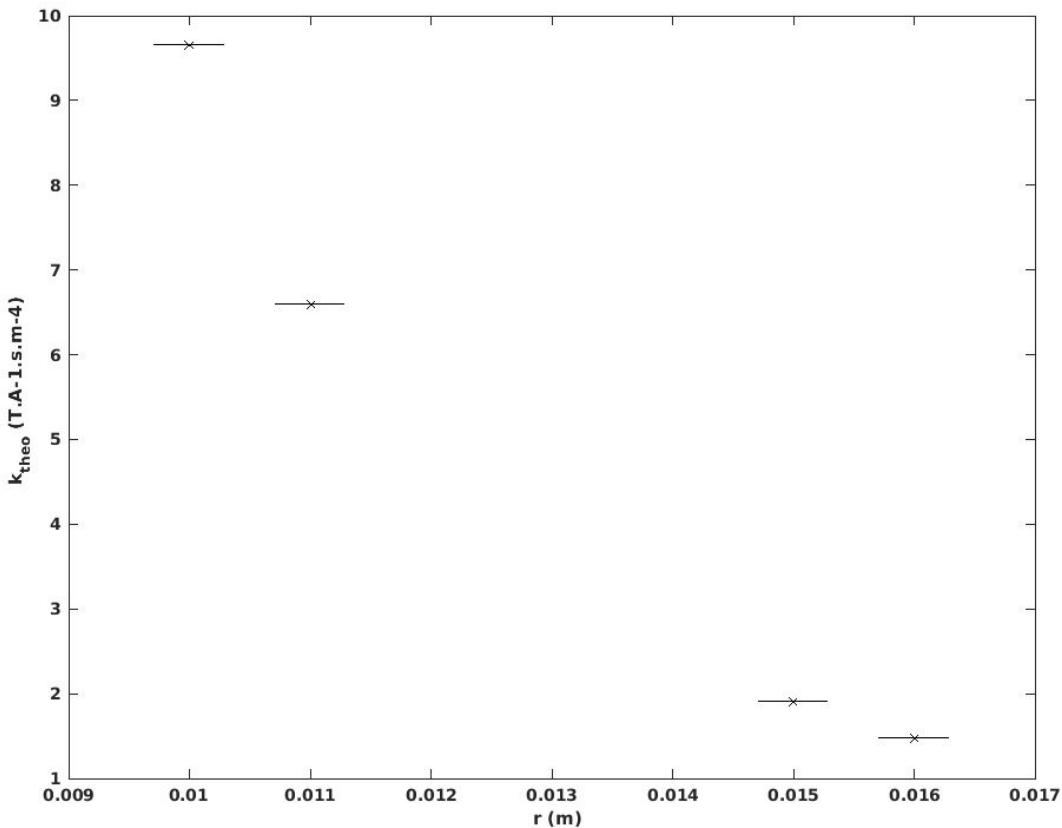


Figure 10, (L'interpolation des valeurs  $k_{theo}$ )

Estimation du coefficient  $k_{exp}$  :

Pour calculer  $k_{exp}$  on utilise la relation démontrée précédemment  $k_{exp} = \frac{mg}{v}$  avec les paramètres de  $m$  - masse de l'aimant,  $g$  - constante de la gravitation terrestre et  $v$  - la vitesse terminale de l'aimant selon les différentes configurations.

Les valeurs de  $k_{exp}$

Rayon $m$	$k_{exp} \text{ kg s}^{-1}$
0.0100	2.11
0.0110	1.31
0.0150	0.59
0.0160	0.45

La figure de  $k_{exp}$

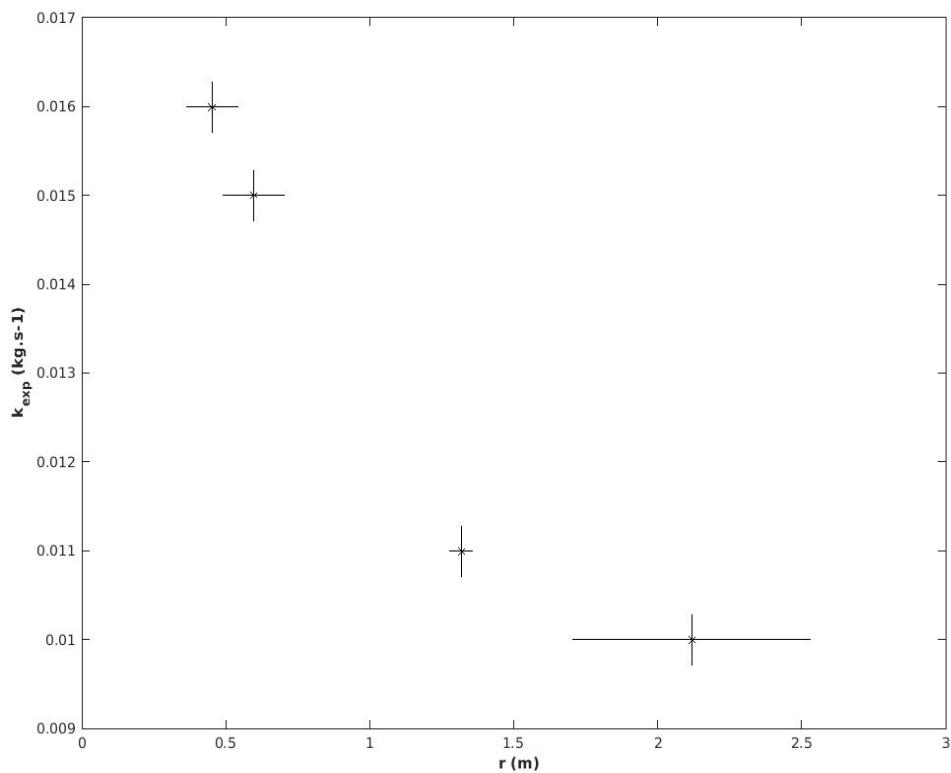


Figure 11, (L'interpolation des valeurs  $k_{exp}$  )

## Interprétation physique

Les deux modèles nous permettent observer la décroissance d'effets de la traînée magnétique sur l'aimant à la cause des courants de Foucault. Comme il est indiqué sur la (figure numéro 12) les coefficients  $k_{exp}$  et  $k_{theo}$  diminuent d'une manière non linéaire en fonction de rayon du tube. Aussi, on observe que le coefficient  $k_{theo}$  diminue plus vite que  $k_{exp}$ , ceci peut être interprété comme la différence entre les deux modèles de modéliser les différentes phénomènes. Le modèle classique d'un corps en chute libre modélise les effets liés à frottement de fluide. Tandis que le modèle électromagnétique nous permet d'estimer d'une manière explicite le coefficient de la traînée à cause des courants de Foucault sur l'aimant.

Le test en z-score bilatéral entre  $k_{exp}$  et  $k_{theo}$  vaut .289, on n'est pas en mesure de rejeter notre hypothèse nulle sur la présence des courants de Foucault. Ainsi, au risque de 1 % on conclut la présence des courants de Foucault.

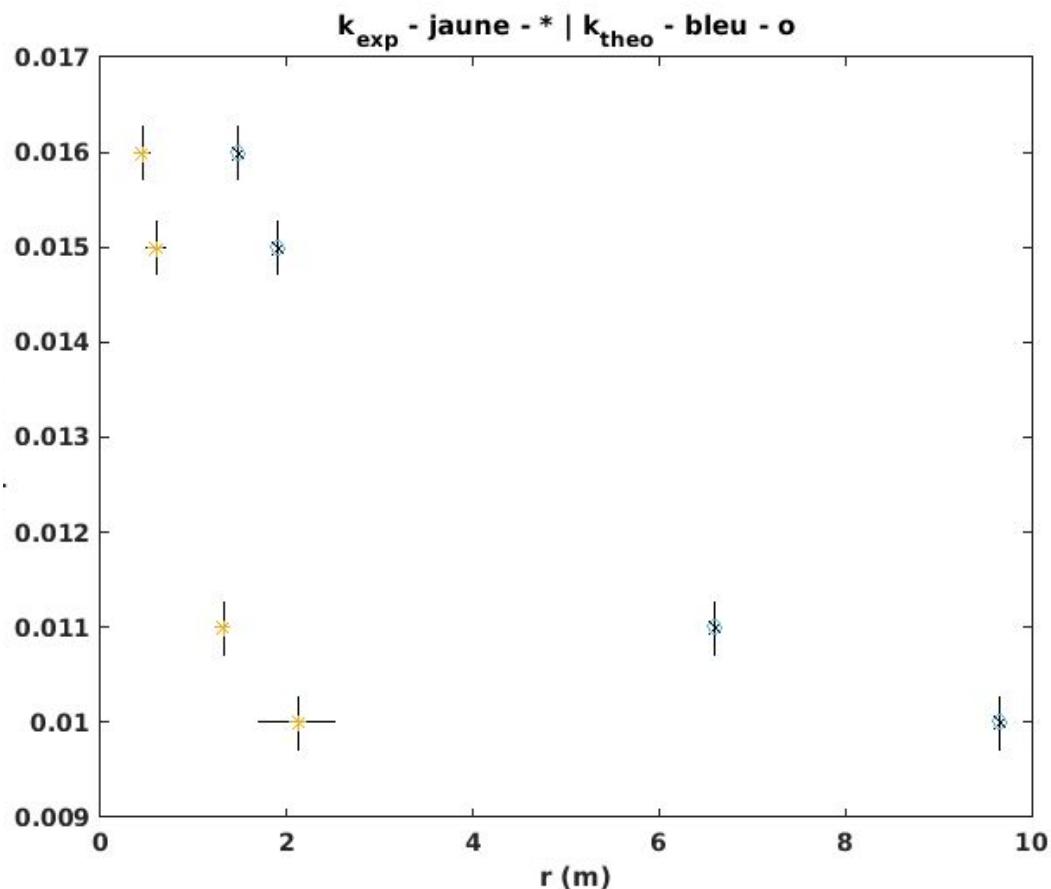


Figure 12, (Présentation des valeurs de  $k_{exp}$  et  $k_{theo}$ )

## References

[1] - **Magnet fall inside a conductive pipe: motion and the role of the pipe wall thickness**, G Donoso, C L Ladera and P MartínDepartamento de Física, Universidad Simón Bolívar, Apdo. 89000, Caracas 1080, Venezuela, 2009, Eur. J. Phys. 30 855 (<http://iopscience.iop.org/0143-0807/30/4/018>)