



Finale (FR)

29.03.2025

**Consignes :**

- Indiquer votre nom complet et Lycée sur chaque feuille.
- Indiquer clairement la sous-/question à laquelle vous répondez.
- Expliquer les étapes de votre raisonnement et indiquer vos calculs intermédiaires.
- Numérotter les pages.

# Recueil d'équations

## Cinématique (MRUV)

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$v = at + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

## Forces

$$F = ma$$

$$F_f \leq \mu N$$

## Travail, Énergie et Puissance

$$W = Fd \cos \theta$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{pes} = mgh$$

$$E_{el} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$P = \frac{W}{t} = Fv$$

## Quantité de mouvement

$$p = mv$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

## Calorimétrie

$$Q = mc\Delta\theta$$

$$Q = mL$$

## Gaz idéal

$$p = \frac{F}{A}$$

$$pV = nRT = Nk_B T$$

$$E_K = \frac{3}{2}k_B T$$

## Oscillations et ondes

$$T = \frac{1}{f}$$

$$c = f\lambda$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

## Électricité

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$F = k \cdot \frac{|q_1q_2|}{r^2}$$

$$U = \frac{W}{q}$$

$$E = \frac{F}{q}$$

$$U = RI$$

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

## Électro-magnétisme

$$F = qvB \sin \theta$$

$$F = BIL \sin \theta$$

## Mouvement circulaire

$$v = \omega r$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$

## Gravitation

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$g = \frac{F}{m}$$

## Physique quantique

$$E = hf$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

## Optique

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

$$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$$

## Chute d'un aimant à travers une bobine

L'objectif de ce travail pratique est d'étudier expérimentalement le freinage par induction électromagnétique. Un aimant en néodyme tombe à travers une bobine en circuit fermé. Les figures 1 et 2 montrent le dispositif expérimental et le circuit électrique à réaliser.

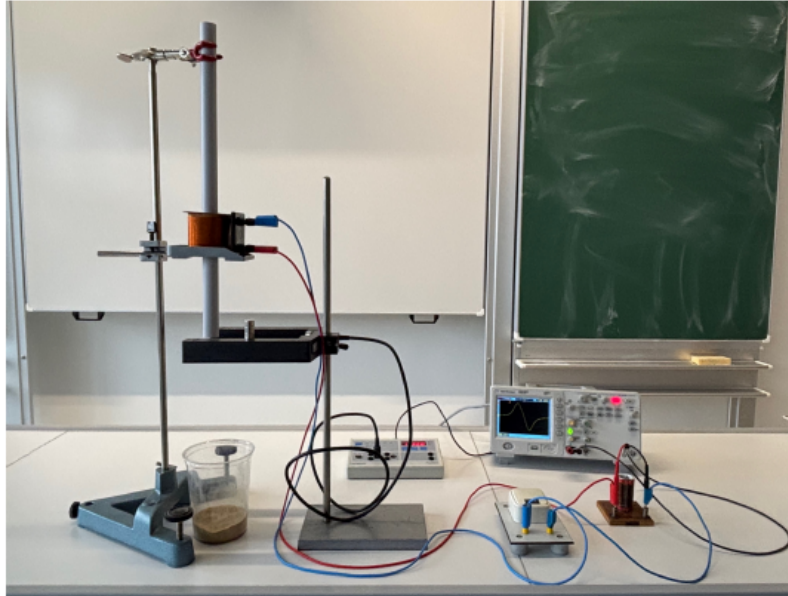


Figure 1

Matériel :

- Trépied
- Tube de longueur 50 cm
- Pince pour tenir le tube
- Bobine avec 600 spires et une résistance interne de  $r = 2.5 \Omega$
- Chronomètre électronique piloté par une cellule photoélectrique
- Aimant de longueur  $L = 30 \text{ mm}$  et de masse  $m = 42.5 \text{ g}$
- Résistance de valeur  $R = 1 \Omega$  à  $R = 5 \Omega$ .
- Voie 1 d'un oscilloscope
- Pot rempli de sable pour amortir la chute de l'aimant
- Teslamètre

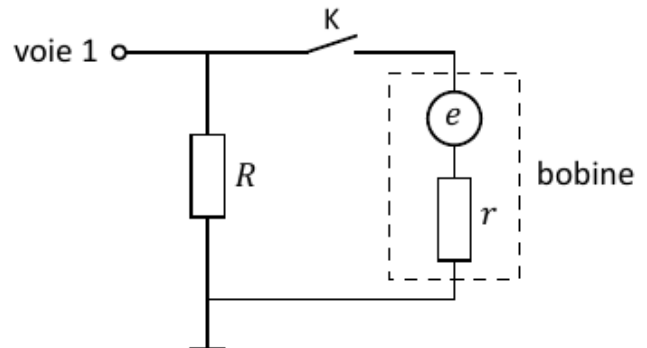


Figure 2

Le questionnaire comprend trois parties : dans la première partie, vous déterminez à l'aide d'un teslamètre le moment magnétique de l'aimant utilisé dans la suite. Pour les parties 2 et 3, vous assemblez le dispositif expérimental indiqué par les figures 1 et 2. L'expérience consiste à lâcher l'aimant sans vitesse initiale du haut du tube. L'aimant glisse dans le tube à travers la bobine et

crée une force électromotrice  $e$ .

Dans la partie 2, vous déterminez l'énergie cinétique de l'aimant en mesurant sa vitesse en bas du tube à l'aide du temps d'obturation de la cellule photoélectrique, et vous comparez cette énergie cinétique avec le cas où l'aimant tomberait en chute libre.

Dans les parties 2 et 3, vous étudiez la tension induite par le passage de l'aimant à travers la bobine. La tension dans le circuit au cours du temps est affichée à l'aide de l'oscilloscope.

### 1. Détermination du moment magnétique de l'aimant

10 p.

Le champ magnétique d'un dipôle magnétique suivant l'axe  $O_z$  perpendiculaire à sa surface (voir figure 3), peut être décrit par

$$B_z = \frac{\mu_0 m}{2\pi z^3} \quad ,$$

où  $z$  est la distance suivant l'axe  $O_z$  du centre du dipôle (en m), et  $m$  son moment magnétique (en Nm/T).

- a) À l'aide du teslamètre, mesurez  $B_z$  sur l'axe  $O_z$  à des distances entre 3 et 10 cm. Notez vos résultats dans un tableau. 3 p.



Figure 3

- b) Représentez graphiquement  $B_z$  en fonction de  $\frac{1}{z^3}$ . 4 p.
- c) Ajoutez une courbe de régression adéquate (engl: fit) et déduisez-en la valeur du moment magnétique en unités SI. 3 p.

### 2. Perte d'énergie de l'aimant tombant à travers la bobine

22 p.

- a) Montrer à l'aide d'un schéma que lors du passage de l'aimant dans la bobine une force magnétique  $\vec{F}_m$  est exercée sur l'aimant dont le sens est opposé au sens du mouvement. Pour simplifier le schéma, la bobine peut être représentée par une seule spire. 3 p.
- b) Soient  $v_0$  et  $v$  les vitesses de l'aimant en bas du tube dans le cas où l'interrupteur est respectivement ouvert et fermé. Soit  $\Delta E_c$  la différence des énergies cinétiques correspondantes:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$$

En tenant compte d'une force résistante résultante (force de frottement entre le tube et l'aimant, résistance de l'air), montrer que :

$$\Delta E_c = -W(\vec{F}_m)$$

L'hypothèse centrale qu'il s'agit de vérifier dans cette expérience est que le travail de la force magnétique est égal à la chaleur  $Q$  dissipée par effet Joule dans le circuit électrique :

$$W(\vec{F}_m) = -Q = -\int_0^t P dt \quad ,$$

où  $P$  est la puissance dissipée par effet Joule. Montrer que la chaleur  $Q$  s'écrit :

$$Q = \frac{R+r}{R^2} \int_0^t u^2 dt \quad ,$$

où  $u$  est la tension aux bornes de la résistance  $R$  mesurée sur la voie 1 de l'oscilloscope. 5 p.

c) Mesurer le temps d'obturation lorsque l'interrupteur  $K$  est ouvert. Répéter au moins deux fois cette mesure et en déduire la vitesse  $v_0$ . 2 p.

d) Les mesures suivantes sont à répéter pour six positions verticales de la bobine.

Mesurer le temps d'obturation lorsque l'interrupteur  $K$  est fermé. Répéter au moins deux fois cette mesure et en déduire la vitesse  $v$ .

Choisir sur l'oscilloscope une échelle de temps de 100 ms/div et une échelle de tension de 200 mV/div. Appuyer sur le bouton STOP/HOLD de l'oscilloscope immédiatement après le passage de l'aimant par la bobine. Recentrer l'oscillogramme et réduire l'échelle de temps à 10 ms/div.

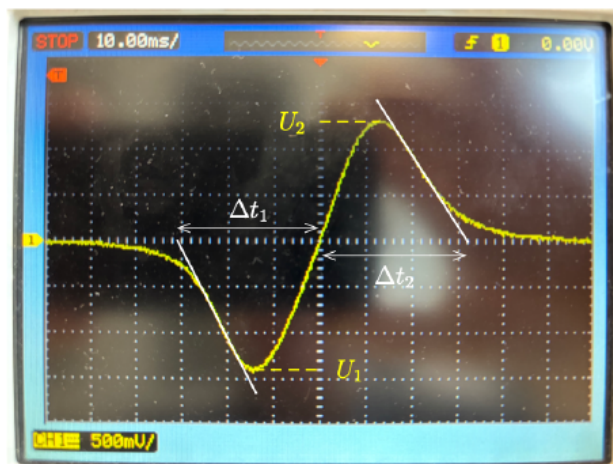


Figure 4

Mesurer sur l'écran de l'oscilloscope les grandeurs  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $U_1$  et  $U_2$  comme définies sur la figure 4. 6 p.

e) L'intégrale  $\int_0^t u^2 dt$  est égale à l'aire sous la courbe bleue qui représente  $u^2 = f(t)$ . Elle sera approchée par la somme des aires des triangles  $A_1$  et  $A_2$  définis sur la figure 5.

Utiliser les mesures prises à la question précédente pour déterminer l'aire des triangles. Il n'est pas nécessaire d'afficher la courbe bleue sur votre oscilloscope.

Calculer pour chacune des mesures les valeurs de  $\Delta E_c$  et de  $Q$ .

Représenter graphiquement  $Q$  en fonction de  $\Delta E_c$ .

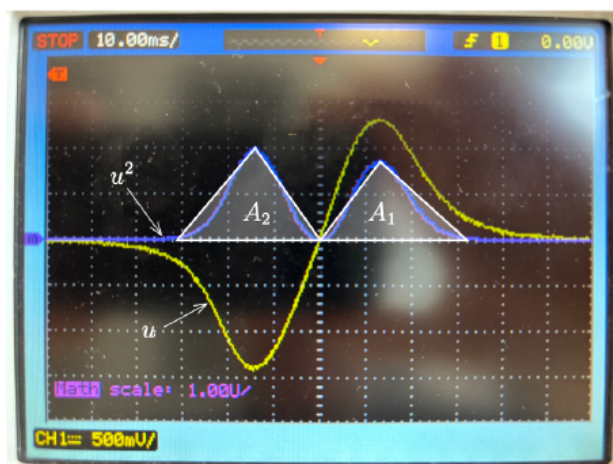


Figure 5

Montrer que ces deux grandeurs sont proportionnelles et interpréter le coefficient de proportionnalité  $k$ . 6 p.

### 3. Détermination du pic de la tension induite pour une bobine réelle

8 p.

Une bobine plate idéale est considérée comme une bobine où les spires sont infiniment comprimées. Cependant, l'extension spatiale d'une bobine réelle, c'est-à-dire le fait que les spires sont enroulées sur une certaine longueur, peut avoir des répercussions sur la force électromotrice (f.é.m) induite  $e$  par le passage de l'aimant. En effet, le passage de l'aimant provoque une variation du flux magnétique ce qui fait apparaître une tension dans le circuit.

En traitant l'aimant tombant comme un dipôle magnétique de moment magnétique  $m$ , on peut montrer que la f.é.m. induite de la bobine de longueur  $L$  et de rayon  $a$  et comportant  $N$  spires peut être décrite en fonction de la position  $z$  de l'aimant et de sa vitesse  $v$  par

$$e = -\frac{\mu_0 m N v}{2L} \left( \frac{(z - L/2)^2}{(a^2 + (z - L/2)^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(a^2 + (z - L/2)^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{(z + L/2)^2}{(a^2 + (z + L/2)^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{(a^2 + (z + L/2)^2)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

Le graphique de la figure 7 montre la f.é.m. induite par la chute de l'aimant à travers des bobines de longueurs différentes. La position initiale de l'aimant est fixée à 40 cm au-dessus du centre de la bobine. Le rayon de la bobine vaut  $a = 2.6$  cm.

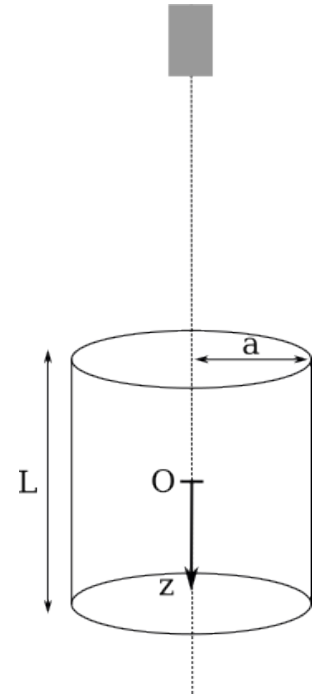


Figure 6

- Mesurez la tension  $U$  aux bornes de la résistance  $R$  à l'aide de l'oscilloscope et déterminez la hauteur des pics de tension (un négatif, l'autre positif). 2 p.
- Représentez sur un graphique les pics des différentes bobines de la figure 7 en fonction de leur taille  $L$ . Relier les points par une courbe de régression adéquate. Afin d'ajouter votre mesure sur le graphique, il faut calculer la f.é.m. par :  $e = (R + r)/R \cdot U$ . Ajoutez votre mesure sur le graphique de manière qu'on puisse la distinguer des autres points, et concluez. 4 p.
- Pourquoi le premier pic (négatif) est (en valeur absolue) légèrement inférieur au deuxième pic (positif) ? 2 p.

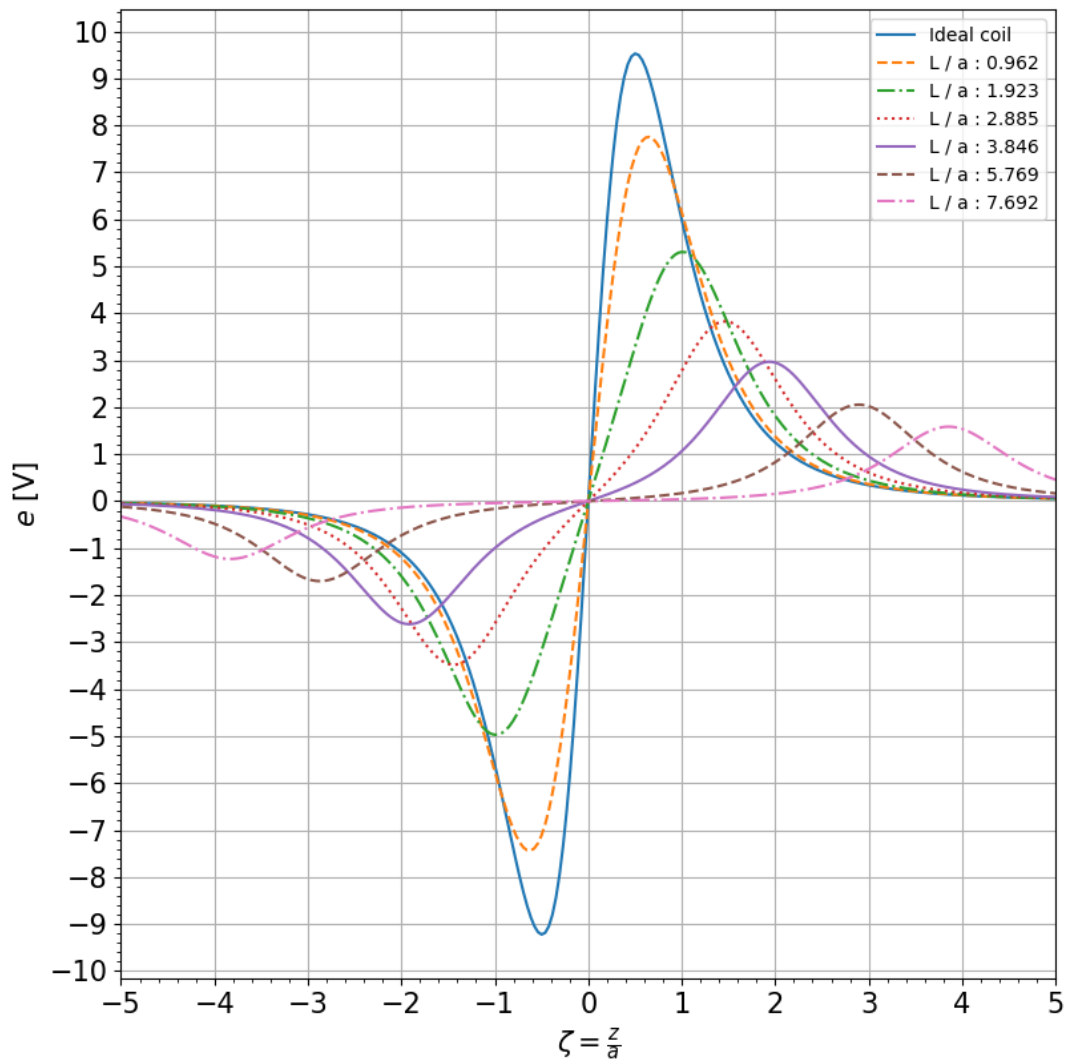


Figure 7