NOM : ........................ PRÉNOMS : ........................ Signature :
(En lettres capitales) (En écriture courante)

ANNÉE

Composition de ........................

NUMÉRO DE PLACE



NE RIEN PORTER SUR CETTE FEUILLE AVANT D'AVOIR REMPLI COMPLETEMENT L'EN-TÊTE CI-DESSUS.

| Notes Partielles | | | | | Minoration | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

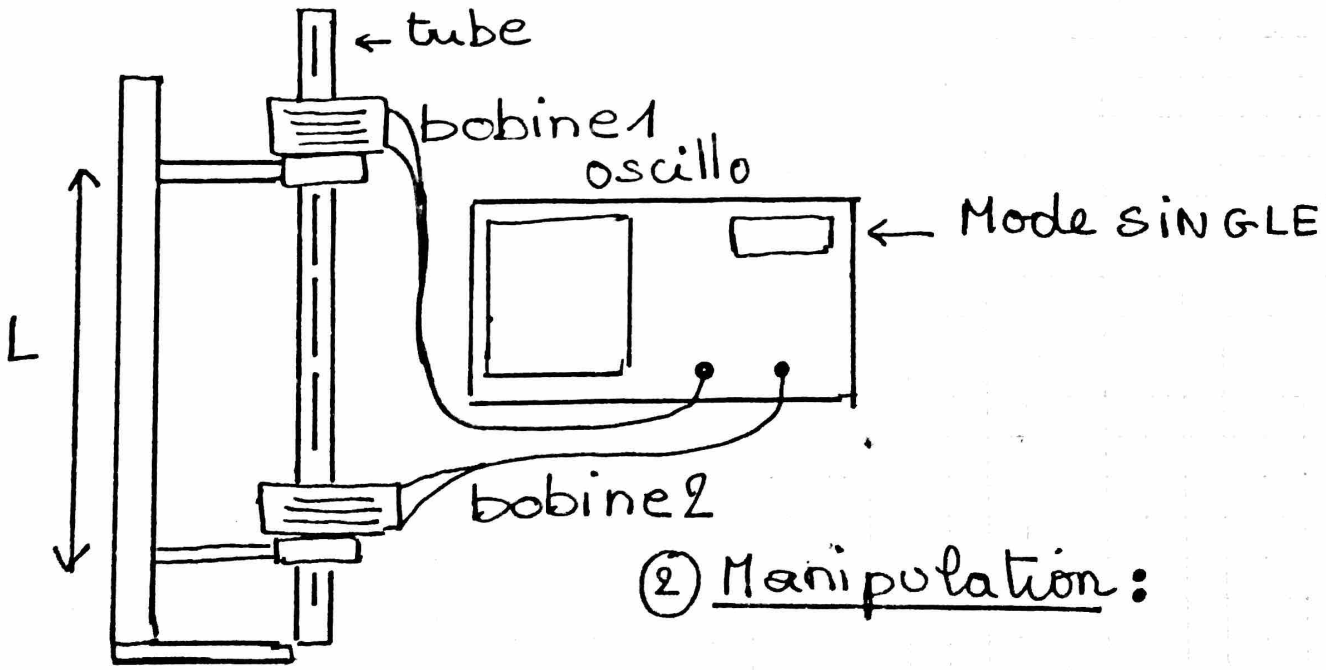
ANNÉE

*Les candidats ne doivent signer aucune de leurs compositions en dehors de l'en-tête détachable*

**Composition de :** TP9 : Mesure du moment magnétique d'un aimant

# Méthode 1

## ① Montage :



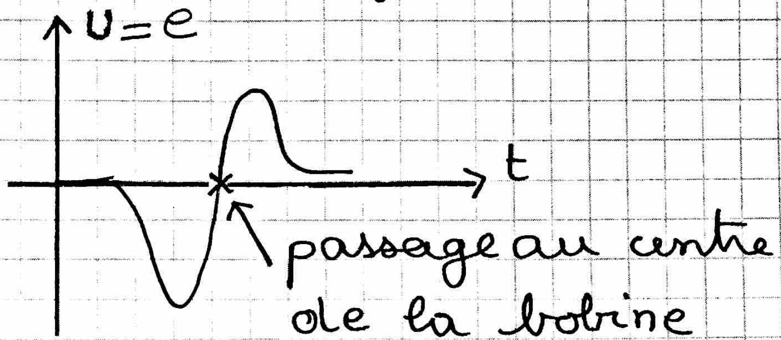

## ② Manipulation :

- on fait tomber l'aimant dans un tube et on mesure à l'oscilloscope le temps $t_i$ entre les 2 signaux envoyés par les bobines.

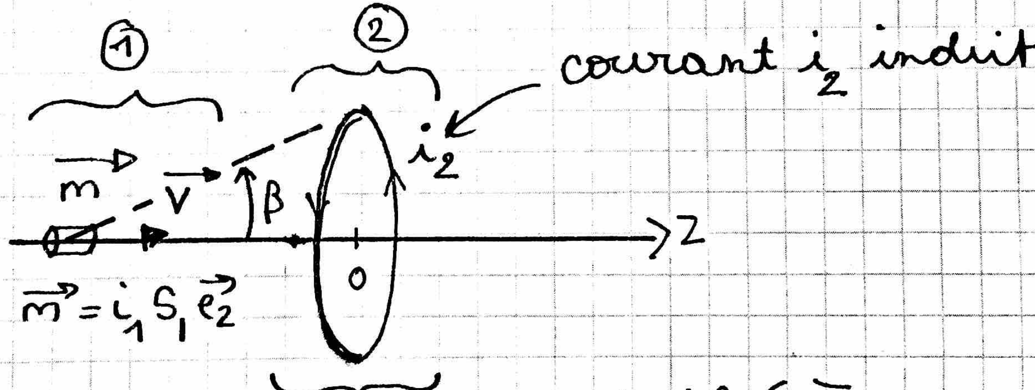
Pour optimiser la mesure, penser à bien positionner les bobines (centrées, horizontal

• Le signal envoyé par chaque bobine est de la forme :

La tension mesurée est bien la force électromotrice car $i = 0$ (Ze de l'oscillo $\sim 10\ M\Omega$)




• on peut retrouver cette forme en modélisant le système de la manière suivante :




bobine assimilée à une bobine plate

D'après le théorème de Neumann, on a :

$$\frac{\Phi_{1\to2}}{i_1} = \frac{\Phi_{2\to1}}{i_2} \quad \text{où} \quad \Phi_{2\to1} \simeq B_{2\to1} S_1$$
$$= \frac{\mu_0 i_2}{2R} \sin^3\beta \, S_1$$

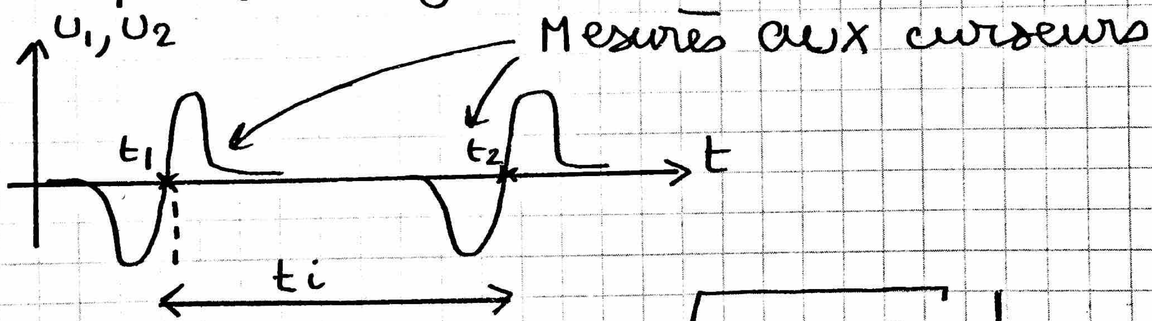
D'où $\Phi_{1\to 2} = \frac{\mu_0 m R^2}{2} (z^2 + R^2)^{-3/2}$

On en déduit : $e = -\frac{d\Phi_{1\to2}}{dt}$

$$\boxed{e = \frac{3\mu_0 m R^2 z \dot{z}}{2(R^2+z^2)^{5/2}}} \quad \dot{z} \to V$$

La fct $\frac{x}{(1+x^2)^{5/2}}$ a bien la forme observée

- Pour mesurer $(t_i)$, on peut utiliser les temps pour lequel e s'annule à chaque passage de bobine :




$\underline{t_i = t_2 - t_1} \Rightarrow \underline{u_{t_i}} = \boxed{\sqrt{u_{t_1}^2 + u_{t_2}^2}}$

estimés

- on utilise la formule de l'énoncé pour en déduire m :

$$m = \sqrt{\frac{1024\, m_a g a^4 t_i}{45 \mu_0^2 \gamma e L}} \quad \text{eq (1)}$$

$$2\frac{u_m}{m} = \sqrt{\left(\frac{u_{m_a}}{m_a}\right)^2 + \left(4\frac{u_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{u_{t_i}}{t_i}\right)^2 + \left(\frac{u_e}{e}\right)^2 + \left(\frac{u_L}{L}\right)^2}$$

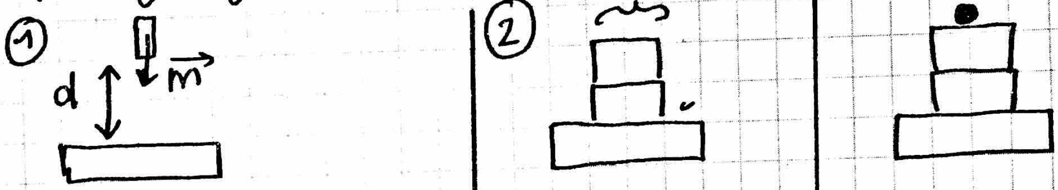
- Mesure de $m_a$

⚠ L'aimant, par la force qu'il exerce sur la balance, modifie la valeur de la masse affichée

⇒ Pour y remédier, on interpose entre l'aimant et la balance du polystyrène :

polystyrène

Aimant




| | | |
|---|---|---|
| on estime la distance d à partir de laquelle l'aimant agit sur la balance | on dispose une hauteur > d de cubes et on fait la tare | on pèse l'aimant |

odg : $m_a \simeq 50g$

⇒ on obtient $(m_a, u_{m_a})$
↳ doc constructeur

- Mesure de a et de e

On utilise un pied à coulisse
on obtient $(a, u_a)$ et $(e, u_e)$

odg : $a \sim 1cm$, $e \sim 1mm$

⚠ Mesurer a avec soin car la dépendance de m en a est en $a^4$

$$u_a^2 = u_c^2 + u_e^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{q}{6}\right)^2 \quad (q = \text{résolution})$$

NOM : ........................................ PRÉNOMS : ........................................

(En lettres capitales) (En écriture courante)

Signature :

ANNÉE

**Composition de** ........................................

NUMÉRO DE PLACE



NE RIEN PORTER SUR CETTE FEUILLE AVANT D'AVOIR REMPLI COMPLETEMENT L'EN-TÊTE CI-DESSUS.

| Notes Partielles | | | | | Minoration | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

*Les candidats ne doivent signer aucune de leurs compositions en dehors de l'en-tête détachable*

ANNÉE

**Composition de :** ........................................

La mesure de L avec $t_3$ ($L = \frac{1}{2} g t_3^2$) ne donne pas de bon résultats (Poiseuille)

× Mesure de L

on mesure L à l'aide d'un mètre ou d'une règle. Sachant que l'on pointe 2 positions ($L_1$ et $L_2$) on obtient :

odg : $\boxed{L \sim 50 cm}$

$$L = L_2 - L_1 \qquad u_L = \sqrt{u_{L_1}^2 + u_{L_2}^2}$$

⚠ Les incertitudes sur $L_1$ et $L_2$ st des incertitudes "spéciales" (constructeur et lecture sont négligeables) car il est difficile de positionner précisement $L_1$ et $L_2$

- Lorsque le tube est un tube de cuivre ($\gamma_{cu}$ donnée), on détermine m :

odg : $\boxed{t_1 = 2,5 s}$

odg (TP) $m \sim 1$ à $2$ $A.m^2$

- lorsque le tube est un tube d'aluminium ($m$, $u_m$) connu, on détermine $\gamma_{alu}$ (connaissant $t_{cu}$ et $t_{Alu}$) $\gamma_{alu} \sim 3,8 \times 10^{7} \Omega^{-1} m^{-1}$

odg : $t_{alu} \sim 1{,}6\,s$

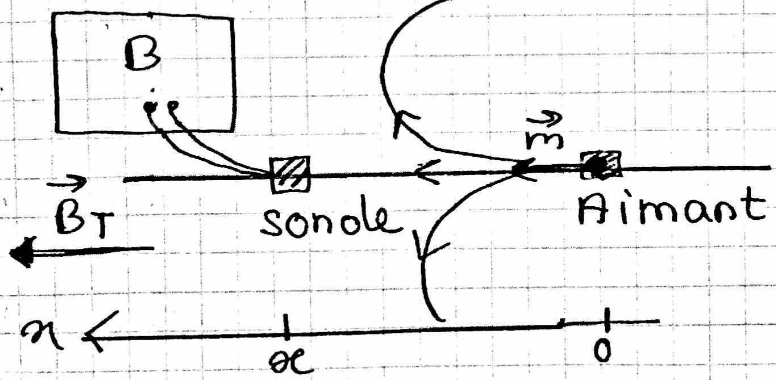
$$\begin{cases} \gamma_{Al} = \dfrac{t_{alu}}{t_{Cu}}\gamma_{Cu} \\[2ex] \dfrac{u_{\gamma Al}}{\gamma_{Al}} = \sqrt{\left(\dfrac{u_{t_{alu}}}{t_{alu}}\right)^2 + \left(\dfrac{u_{t_{Cu}}}{t_{Cu}}\right)^2} \end{cases}$$

on peut aussi utiliser eq (1) et, connaissant m, déterminer $\gamma_{alu}$ à partir de la mesure de $t_{alu}$

## Méthode 2

① **Principe** : on mesure le chp créé par l'aimant à une distance $x$ de l'aimant et on en déduit m

② **Montage**

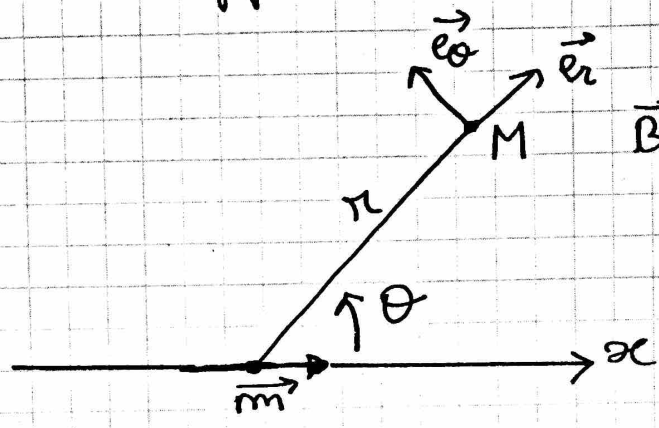



⚠ On aligne l'axe $(Ox)$ avec $\vec{B}^{\text{terrestre}}_{\text{horizontal}} = \vec{B}_T$

- Le champ $\vec{B}$ local vaut :

$$\vec{B} = \vec{B}_{aimant} + \vec{B}_T$$

- Pour exprimer $\vec{B}_{aimant}$, on se place ds l'approximation dipolaire :




$$\vec{B}(M) = \left| \begin{array}{l} B_r = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m\cos\theta}{r^3} \\ B_\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m\sin\theta}{r^3} \end{array} \right.$$

- Ici $\theta = 0$ et $r = x \Rightarrow \boxed{\vec{B}_{aimant} = \frac{\mu_0 m}{2\pi x^3} \vec{e_x}}$

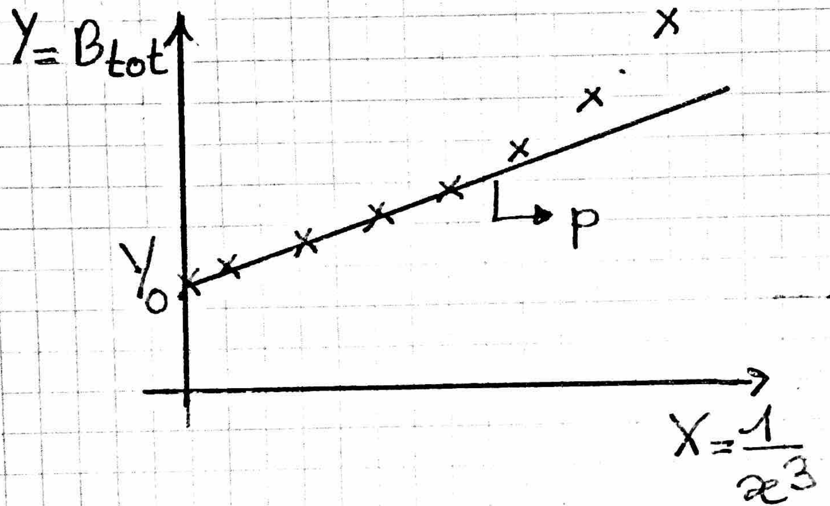
- D'où : $\vec{B}_{tot} = \underbrace{\left( B_T + \frac{\mu_0 m}{2\pi x^3} \right)}_{B_{tot}} \vec{e_x}$

- On mesure $B_{tot}$ pour différentes valeurs de $x$ (Récapituler les résultats dans un tableau)
- On trace $Y = B_{tot}$ en fct de $X = \frac{1}{x^3}$

$\Rightarrow$ on doit obtenir une droite d'ordonnée à l'origine $Y_0 = B_T$ et de pente $p = \frac{\mu_0 m}{2\pi}$

$\Rightarrow$ on mesure $(Y_0, u_{Y_0})$ et $(p, u_p)$ et on en déduit :

$$\begin{cases} B_T = Y_0 \\ u_{B_T} = u_{Y_0} \end{cases} \qquad \begin{cases} m = \dfrac{2\pi p}{\mu_0} \\ u_m / m = u_p / p \end{cases}$$

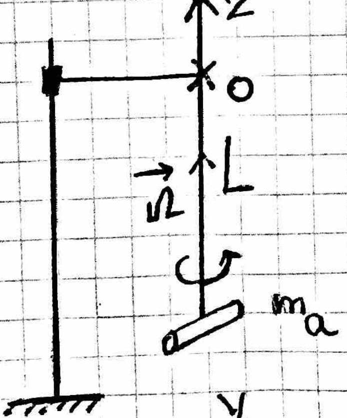



Pour des grandes valeurs de X (faibles valeurs de $x$) la courbe s'éloigne de la droite car on n'est plus dans l'approximation dipolaire.

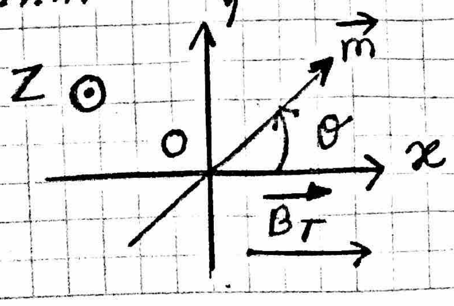
## 3ème méthode

Principe

• on forme un pendule constitué de l'aimant (masse $m_a$) et d'un fil (de longueur L, de constante de torsion C, sans masse)




• on fait osciller l'aimant autour de l'axe formé par le fil dans un champ magnétique constitué:




– Du champ magnétique terrestre $\vec{B_T}$ (// (Ox))

– D'un champ magnétique

ANNÉE

**Composition de** ..........

NUMÉRO DE PLACE





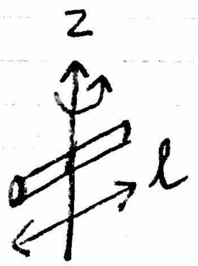
| Notes Partielles | | | | | Minoration | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

ANNÉE



**Composition de :** ..........

appliqué $\vec{B_b}$.
Ce champ $\vec{B_b}$, créé par 2 bobines en configuration Helmholtz, pourra être considéré comme uniforme tout comme $\vec{B_T}$.




- Pour la suite, on considèrera que $\vec{B}_{tot} = B_{tot}\,\vec{e_x}$.
- Le TMC appliqué à l'aimant donne :

$J$ = moment d'inertie de l'aimant $= \frac{1}{12} m_a l^2$

$$J\ddot{\theta}\vec{e_z} = \vec{m} \wedge \vec{B}_{tot} - C\theta\vec{e_z}$$
$$J\ddot{\theta} = m B_{tot} \sin\theta - C\theta$$

Dans l'approximation des petits angles, on obtient :

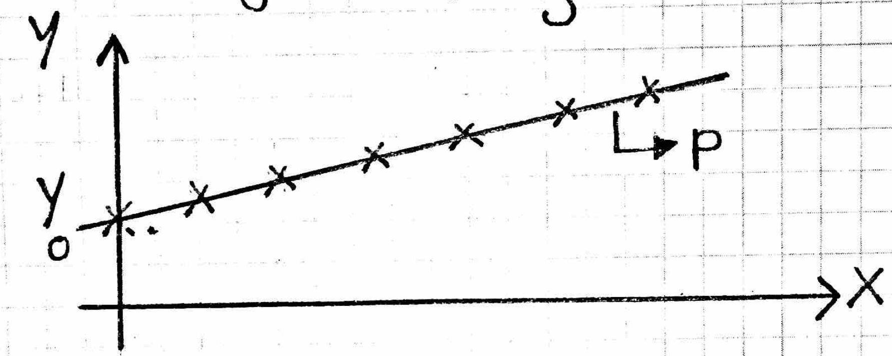
$$\boxed{\ddot{\theta} + \underbrace{\left(\frac{mB_{tot}+C}{J}\right)}_{\omega_0^2}\theta = 0}$$

- on mesure $\omega_0$ pour différentes

valeurs de Bb (et donc de Btot)

- on trace $Y = \omega_0^2$ en fonction de $X = B_{tot}$

$\Rightarrow$ on obtient une droite d'ordonnée à l'origine $Y_0 = \frac{C}{J}$ et de pente $p = \frac{m}{J}$

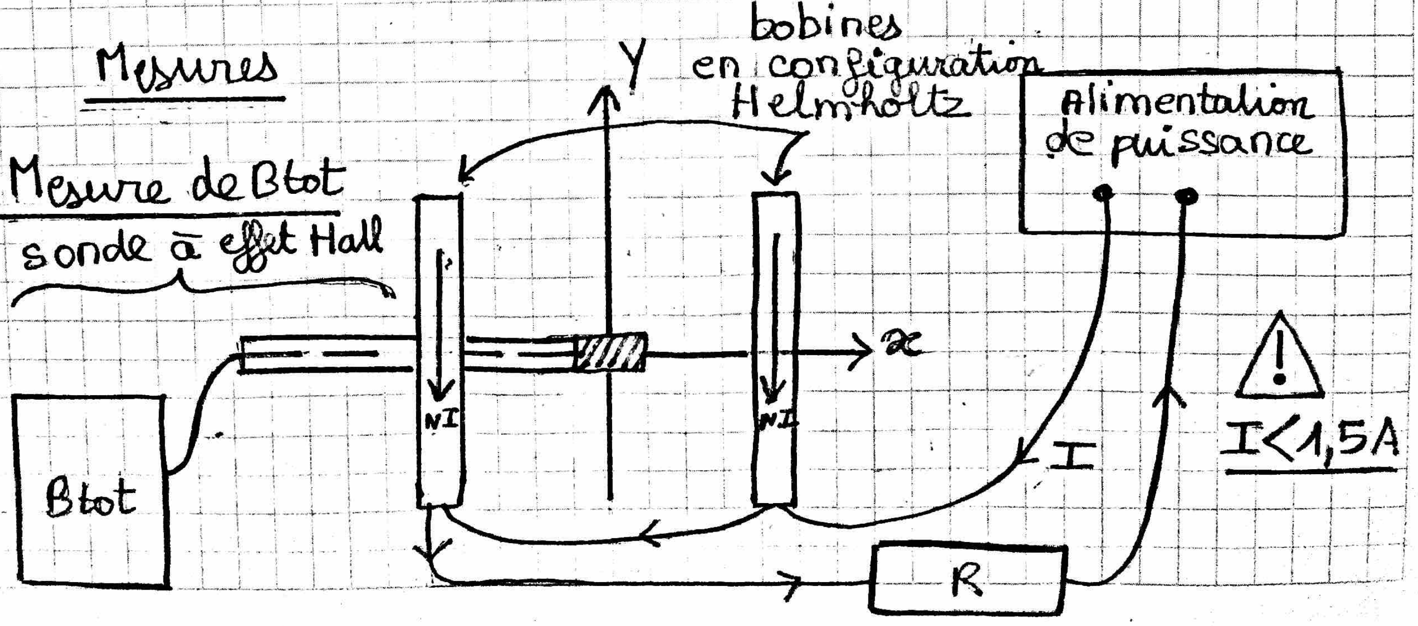



- on détermine $(Y_0, u_{Y_0})$ et $(p, u_p)$ et on en déduit :

$$\begin{cases} m = Jp \\ \dfrac{u_m}{m} = \sqrt{\left(\dfrac{u_J}{J}\right)^2 + \left(\dfrac{u_p}{p}\right)^2} \end{cases}$$

Mesures

Mesure de Btot



## Mesure de $\omega_0$

- On mesure N oscillations pendant un temps $\Delta t$ on en dèduit

$$\begin{cases} \omega_0 = \dfrac{2\pi N}{\Delta t} \\ \dfrac{u_{\omega_0}}{\omega_0} = \sqrt{\left(\dfrac{U_N}{N}\right)^2 + \left(\dfrac{u_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2} \end{cases}$$

- Plus Bb augmente (et donc Btot augmente) plus $\omega_0$ augmente. Si $\omega_0$ est trop impotante il peut s'arerer utile d'utiliser une canera pour visualiser les mvts de l'ainant

## Mesure de J

- $J = \frac{1}{12} m_a l^2$
- Pour la mesure de $m_a$, voir la 1ère mèthode
- Pour la mesure de l, on utilise une règle : $l = l_2 - l_1$

$$u_l = \sqrt{u_{l_2}^2 + u_{l_1}^2} = \sqrt{2u_{l_1}^2}$$

$$\left(\text{où } u_{l_1}^2 = \underbrace{u_{l_1}^{c\,2}}_{\frac{g}{6}} + \underbrace{u_{l_1}^{e\,2}}_{\frac{1}{\sqrt{6}}\cdot\frac{g}{2}}\right)$$

odg

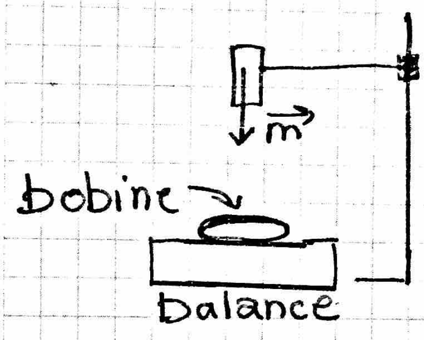
$\boxed{l \sim 6\,cm}$

$\boxed{J \sim 1{,}5 \cdot 10^{-5}\,kg/m^2}$

D'où
$$\boxed{\frac{u_J}{J} = \sqrt{\left(\frac{U_{ma}}{m_a}\right)^2 + \left(\frac{2\,ue}{\ell}\right)^2}}$$

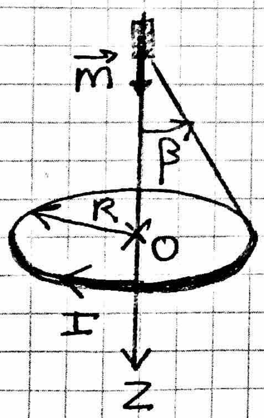
## 4ème méthode

**Principe**




× On mesure la variation de masse d'une bobine parcourue par un courant I soumise à l'action exercée par un aimant

× Pour déterminer la force exercée par l'aimant sur la bobine, on exprime la force exercée par la bobine sur l'aimant :




$$\vec{F}_{b\to m} = (\vec{m}\cdot \vec{grad})\vec{B}_{b\to m}$$

avec $\vec{B}_{b\to m} = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3\theta\, \vec{e_z}$

$$\Rightarrow \vec{F}_{b\to m} = m \frac{\partial B}{\partial z} \vec{e_z}$$

$$\boxed{\vec{F}_{b\to m} = -\frac{3\mu_0 m N I R^2 Z}{(R^2+Z^2)^{5/2}} \vec{u_z}}$$

ANNÉE

**Composition de** ..........

NUMÉRO DE PLACE

13 M.

NE RIEN PORTER SUR CETTE FEUILLE AVANT D'AVOIR REMPLI COMPLETEMENT L'EN-TÊTE CI-DESSUS.

| Notes Partielles | | | | | Minoration | Total |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | | | | | |

ANNÉE

*Les candidats ne doivent signer aucune de leurs compositions en dehors de l'en-tête détachable*

**Composition de :** ..........

D'après le principe des actions réciproques on obtient : $\vec{F}_{m\to b} = \frac{3\mu_0 m N I R^2 Z}{(R^2+Z^2)^{5/2}} \vec{u_z}$

× Le BAM exercées sur la bobine donne :

- Le poids : $\vec{P} = m_b g \vec{u_z}$
- La réaction du support $\vec{R}$
- La force $\vec{F}_{m\to b}$

× A l'équilibre on a donc :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F}_{m\to b} = 0$$

× La masse $m_b^*$ affichée par la balance correspond à la masse apparente : $\|\vec{R}\| = m^* g$.

D'où :

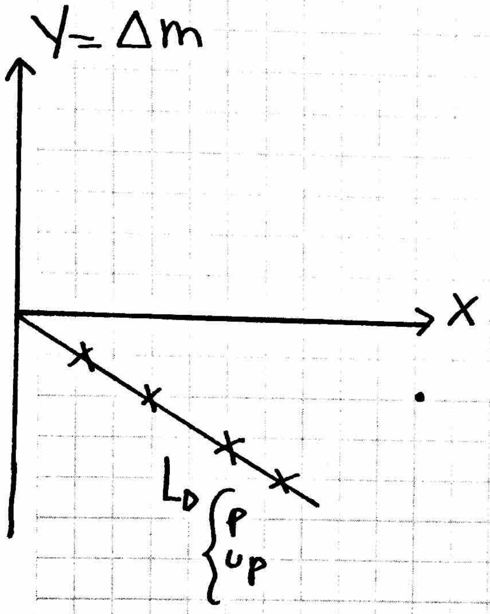
$$m_b g - m_b^* g + F_{m\to b} = 0$$

$$\Rightarrow m = \frac{(m_b - m_b^*) g \times (R^2+Z^2)^{5/2}}{3\mu_0 N I R^2 Z}$$

## Mesures

* Pour différentes valeurs de $I$ on mesure $\Delta m = m_D^* - m_D$.
* D'après :

$$\Delta m = -\frac{3\mu_0 N I R^2 Z m}{(R^2+Z^2)^{5/2}}$$




on obtient une droite en traçant $Y = \Delta m$ en fonction de $X = I$

• La pente de la droite étant

$$p = -\frac{3\mu_0 N R^2 Z m}{(R^2+Z^2)^{5/2}}$$

on en déduit $m$

$$\boxed{m = \frac{p\,(R^2+Z^2)^{5/2}}{-3\mu_0 N R^2 Z}}$$

$$\frac{dm}{m} = \frac{dp}{p} + \frac{d(R^2+Z^2)^{5/2}}{(R^2+Z^2)^{5/2}} - \frac{2\,dR}{R} - \frac{dZ}{Z}$$

$$= \frac{dp}{p} + \frac{5}{2}\,\frac{(2R\,dR + 2Z\,dZ)}{R^2+Z^2} - \frac{2\,dR}{R} - \frac{dZ}{Z}$$

$$\frac{dm}{m} = \frac{dp}{p} + \left(\frac{5R}{R^2+z^2} - \frac{2}{R}\right) dR + \left(\frac{5z}{R^2+z^2} - \frac{1}{z}\right) dz$$

$$\frac{dm}{m} = \frac{dp}{p} + \left(\frac{3R^2-2z^2}{R^2+z^2}\right)\frac{dR}{R} + \left(\frac{4z^2-R^2}{R^2+z^2}\right)\frac{dz}{z}$$

$$\frac{u_m}{m} = \sqrt{\left(\frac{u_p}{p}\right)^2 + \left(\frac{3R^2-2z^2}{R^2+z^2}\right)^2\left(\frac{u_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{4z^2-R^2}{R^2+z^2}\right)\left(\frac{u_z}{z}\right)^2}$$

× on mesure R et z à l'aide d'une règle

- $\begin{cases} R = l_2 - l_1 \\ u_R = \sqrt{u_{l_2}^2 + u_{l_1}^2} = \sqrt{2u_{l_1}^2} \end{cases}$

  où $u_{L_1}^2 = \underbrace{u_{L_1}^{c\,2}}_{\frac{q}{6}} + \underbrace{u_{L_1}^{e\,2}}_{\frac{1}{\sqrt{6}}\cdot\frac{q}{2}}$ (q = résolution)

- idem pour z.