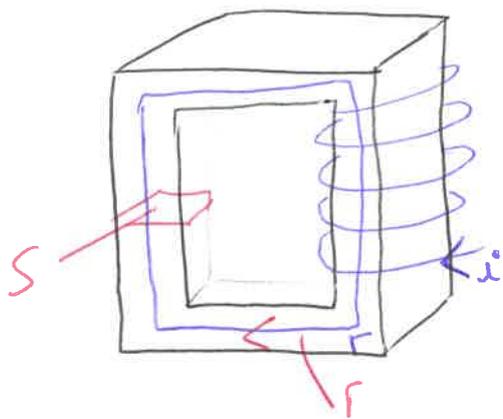


T025 - exercice I



penser à orienter  $\Gamma$

a) Le noyau est saturé pour  $H \gg 1000 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$   
 et il est linéaire pour  $0 \leq H \leq 1000 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$   
 et /

alors  $B = \mu_0 \mu_r H$ .

$$\text{donc } \mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{1,2}{4\pi \times 10^{-7} \times 1000} = \boxed{955} \quad /$$

b)  $H = \frac{B}{\mu_0} - M$

$$\text{donc } M = \frac{B}{\mu_0} - H = \frac{1,2}{4\pi \times 10^{-7}} - 1000 = 954 \times 10^3 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$$

Une fois que tous les moments magnétiques sont alignés,  
 $M = \text{cste} = M_{\text{sat}}$  /

or  $B = \mu_0 (H + M)$  donc  $M \gg H$  /

d'où  $B \approx \text{cste}$  / lorsque  $H > 1000 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$

c)  $\oint_{\Gamma \text{ fermé orienté}} (\vec{H}) = I_{\text{enlacés libre}} / \Gamma$  : théorème d'Ampère.

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = H\ell = \underbrace{Ni}_{\text{contour d'Ampère}} \quad \text{donc } i = \frac{H\ell}{N} = 0,8 \text{ A} = \frac{1000 \times 900}{100}$$

d)  $\Phi(\vec{B}) = Li = \iint_S \vec{NB} \cdot d\vec{S} = \mu_0 \mu_r HS = \frac{\mu_0 \mu_r S i N^2}{l}$   
 donc  $L = \frac{\mu_0 \mu_r S N^2}{l}$  *nombre de spires de la bobine*

$L = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 955 \times 2 \times 10^{-4} \times 100^2}{8 \times 10^{-2}}$

$L = 3 \times 10^{-4} \text{ H} = 30 \text{ mH}$

e)  $\mu_m = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu_r} = \frac{1,2^2}{2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 955} = 600 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} = \mu_m$

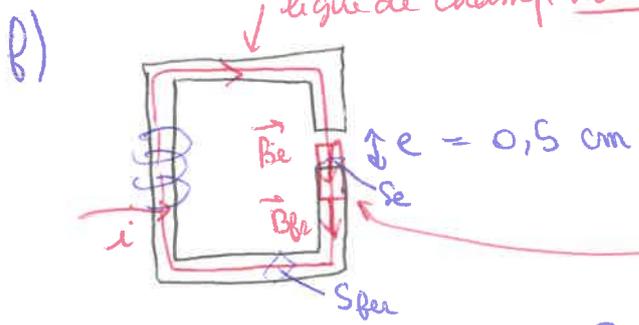
↑  
énergie magnétique volumique

*car  $\mu_m$  uniforme dans le tore*

$E_m = \iiint_V \mu_m d\tau = \mu_m \times l \times S = 600 \times 8 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-4}$

↑  
énergie magnétique

$E_m = 9,6 \times 10^{-3} \text{ J}$



*dans un tube de champ à droite*

$B_{fer} S_{fer} = B_{\text{gap}} S_{\text{gap}}$

or  $S_{fer} = S_e$

donc  $B_{fer} = B_e$

\* D'après le théorème d'Ampère :  $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = Ni$

$H_{fer} l + H_e e = Ni$

donc  $i = \left( l \frac{B_{fer}}{\mu_0 \mu_r} + \frac{B_e}{\mu_0} e \right) \frac{1}{N} = \left( \frac{l}{\mu_r} + e \right) \frac{B_{fer}}{N \mu_0}$

$$i = \left( \frac{8 \times 10^{-2}}{955} + 0,5 \times 10^{-2} \right) \frac{1,2}{100 \times 4\pi \times 10^{-7}}$$

Suite ex I - TD25

a' saturation  $B_{\text{fer}} = 1,2 \text{ T}$

$$i = 48,5 \text{ A}$$

$B$

nombre de spires  
de la bobine

pour  $B_{\text{fer}} < 1,2 \text{ T}$

$$* \phi_s(\vec{B}) = Li = \iint_s \vec{N} \vec{B} \cdot d\vec{S} = \frac{\mu_0 \mu_r S i N^2}{l + \mu_r e}$$

$$B_{\text{fer}} = \frac{N \mu_0 i}{l + e}$$

$$\text{donc } L' = \frac{\mu_0 \mu_r S N^2}{l \left(1 + \frac{\mu_r e}{l}\right)} = \frac{3 \times 10^{-4} \text{ H}}{0,49 \text{ mH}}$$

$$= \frac{\mu_0 \mu_r S i N^2}{l \left(1 + \frac{\mu_r e}{l}\right)} = \frac{L}{1 + \frac{\mu_r e}{l}} i$$

$$\frac{955 \times 0,5}{8} = 59,7$$

$$* \mu_m \text{ fer} = \frac{B_{\text{fer}}^2}{2\mu_0 \mu_r} = 600 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$* \mu_m \text{ entrefer} = \frac{B_e^2}{2\mu_0 \mu_r} = \frac{1,2^2}{2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1} = 5,7 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$$

$\mu_m \text{ entrefer} \gg \mu_m \text{ fer}$

$$* E_m \text{ fer} = \mu_m \text{ fer} \times l \times S$$

$$= 600 \times 8 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-4}$$

$$= 9,6 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$$* E_m \text{ entrefer} = \mu_m \text{ entrefer} \times e \times S$$

$$= 5,7 \times 10^5 \times 0,5 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-4}$$

$$= 0,57 \text{ J}$$

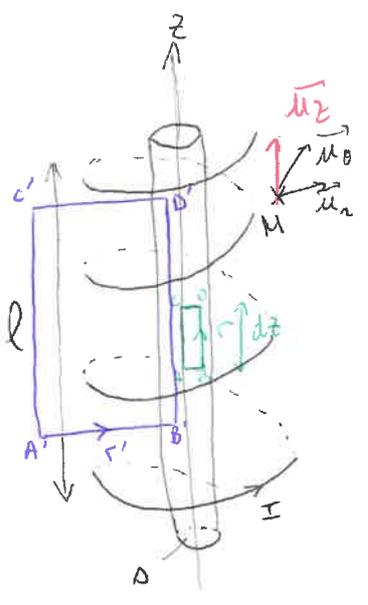
$E_m \text{ entrefer} \gg E_m \text{ fer}$

g) L'énergie emmagasinée est plus élevée quand il y a un entrefer tout comme le courant qui conduit à saturation.

L'essentiel de l'énergie est localisée dans l'entrefer.

TD 2 S: exercice II

(groupe 7)



avec S la section du solénoïde.

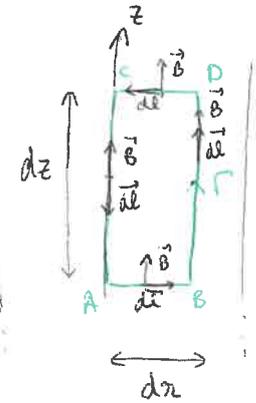
$$\Pi_{S \text{ courant}} = \Pi(H, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta) \text{ or } \vec{B}(H) \perp \Pi_{S \text{ courant}}$$

$$\text{donc } \vec{B}(H) = B(H) \vec{u}_z$$

et les courants sont invariants par translation et rotation selon z et  $\theta$  donc B est indépendant de z et  $\theta$  :  $\vec{B}(H) = B(r) \vec{u}_z$ .

De plus  $\vec{B}$  et  $\vec{H}$  sont colinéaire donc  $\vec{H}(H) = H(r) \vec{u}_z$

1) Théorème d'Ampère:  $\mathcal{C}_r(\vec{H}) = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_{\text{lires enlacés}} = 0$  (pour un contour d'Ampère dans le barreau.)



$$\Rightarrow \mathcal{C}_r(\vec{H}) = \int_A^B \vec{H} \cdot d\vec{l} + \int_B^D \vec{H} \cdot d\vec{l} + \int_D^C \vec{H} \cdot d\vec{l} + \int_C^A \vec{H} \cdot d\vec{l} = 0$$

$\vec{H} \perp d\vec{l} = 0$  (for the top and bottom segments)

$$\int_0^D H \vec{u}_z \cdot d\vec{u}_z + \int_C^A H \vec{u}_z \cdot (-d\vec{l}) \vec{u}_z = 0$$

$$\Rightarrow H(r+dr) dz - H(r) dz = 0 \Rightarrow \boxed{H(r+dr) = H(r)}$$

Donc H est uniforme dans le barreau. B

2) Théorème d'Ampère:  $\mathcal{C}_r(\vec{H}) = i_{\text{lires enlacés}} = NI$  (r' = contour bleu dans le 1<sup>er</sup> schéma)

$$\Rightarrow \mathcal{C}_r(\vec{H}) = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_{A'}^{B'} \vec{H} \cdot d\vec{l} + \int_{B'}^{O'} \vec{H} \cdot d\vec{l} + \int_{O'}^{C'} \vec{H} \cdot d\vec{l} + \int_{C'}^{A'} \vec{H} \cdot d\vec{l}$$

$\vec{H} \perp d\vec{l} = 0$  (for the top and bottom segments)

$$\Rightarrow Hl = NI \Rightarrow \boxed{H = \frac{N}{l} I}$$

$$\vec{H} = \frac{N}{l} I \vec{u}_z$$

3) Le matériau est doux donc  $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu_0 \mu_r \frac{N}{l} I \vec{u}_z = \mu_0 \mu_r n I \vec{u}_z$

$$\Rightarrow \boxed{B = \mu_0 \mu_r \frac{N}{l} I}$$

mais  $\vec{B}$  en dehors du barreau =  $\frac{\mu_0 NI}{l} \vec{u}_z = \mu_0 n I \vec{u}_z$

on pose  $n = \frac{N}{l}$

$$4) \Phi_s(\vec{B}) = \iint \vec{B} \cdot d\vec{s} = LI \rightarrow NBS = LI$$

car  $B$  est une forme dans le noyau.

$$\Rightarrow L = B \frac{SN}{I} = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 I}{l} \frac{SN}{I}$$

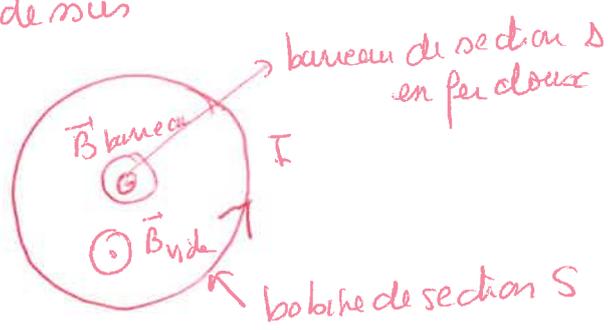
et non!

$$\Rightarrow L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{l}$$

$$d = \frac{L}{l}$$

⚠  $\vec{B}$  n'est pas uniforme sur une section du solénoïde!

Vue de dessus



$$\Phi(\vec{B}) = N \left( \Phi_{\text{barreau}}(\vec{B}) + \Phi_{S-s}(\vec{B}) \right)$$

$$= N \left( B_{\text{barreau}} s + B_{\text{vide}} (S-s) \right)$$

$$= N \mu_0 n I \left( s \mu_r + (S-s) \right)$$

$$= \mu_0 n^2 l I \left( s \mu_r + S-s \right)$$

$$= \mu_0 n^2 l I \left( S + s(\mu_r - 1) \right) = LI$$

$$L = \mu_0 n^2 l \left( S + s(\mu_r - 1) \right)$$

$$\text{et } d = \frac{L}{l} = \mu_0 n^2 \left( S + s(\mu_r - 1) \right)$$

soi  $\mu_r$  grand  $\mu_r - 1 \approx \mu_r$ .

Groupe 1

TD25, exercice III :

1.  $B_m$  : champ magnétique rémanent /

$H_m$  : excitation coercitive /

2. Tracés le schéma équivalent :



D'après la loi des mailles :

$$x_i \begin{cases} u = R_i i + e \\ u i = R_i i^2 + e i \end{cases}$$

↑  
puissance instantanée  
délivrée par le  
générateur

↑  
puissance  
dissipée par  
effet Joule dans  
les enroulements

↑  
puissance d'  
absorbée par  
le force électromotrice  
noyau de fer /

3. La puissance instantanée consommée par le noyau correspond à  $p = -e(t) i(t)$  /

\* D'après la loi de Faraday :

$B$   
uniforme sur  $S$ .

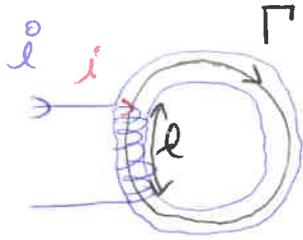
$$e(t) = -\frac{d}{dt} \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = -\frac{d}{dt} (n_1 B S) = -n_1 S \frac{dB}{dt} /$$

\* D'après le théorème d'Ampère dans le fer :

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_{\text{filaments enlacés par } \Gamma}$$

$$\Leftrightarrow Hl = n_1 i$$

$$\Leftrightarrow i = \frac{Hl}{n_1}$$



$$\text{Ainsi, } \langle p \rangle = \left\langle n_1 S \frac{dB}{dt} H l \frac{1}{n_1} \right\rangle$$

$$= Sl \left\langle H \frac{dB}{dt} \right\rangle$$

$$P_{\text{moy}} = Sl \cdot \frac{1}{T} \int_{B(t=0)}^{B(t=T)} H dB$$

$$= S \cdot l \times \text{fréquence} \times \text{aire du cycle à hystérésis}$$

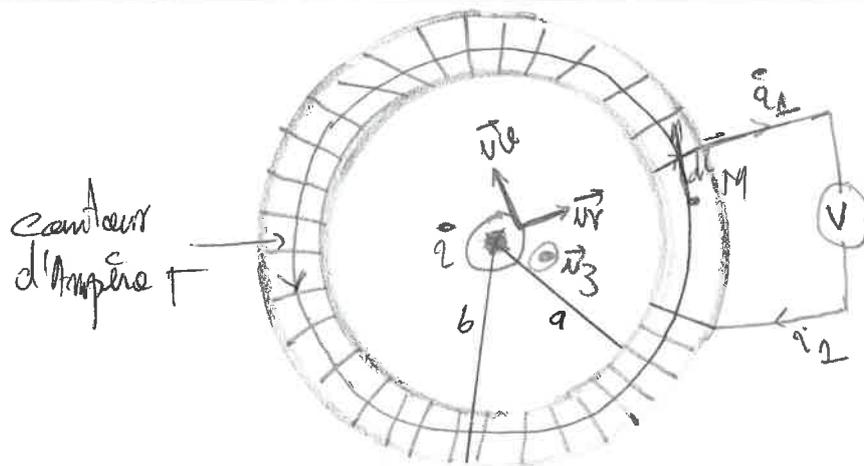
↳ La puissance qui n'apparaît est la puissance absorbée par les courants de Foucault.

⇒ on les réduit en utilisant un noyau constitué de tôle feuilletée. B

groupe = 3

TD 25

Exo = IV



1) Par définition, un voltmètre idéal possède de une résistance interne infinie. par conséquent aucun courant ne peut circuler dans ce circuit donc  $i_1 = 0$  ✓

2) Le théorème d'Ampère

$$\oint_{\Gamma \text{ fermé orienté}} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{enlace}}$$

or  $\vec{H}$  est colinéaire à  $\vec{B}$  et que  $(M, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta) = \Pi$  forme un plan de symétrie de la distribution de courant  $\rightarrow$  perpendiculaire au fil  $\infty$ .  
donc  $\vec{B} \perp \Pi \Rightarrow \vec{B}$  est perpendiculaire par  $\vec{u}_\theta$  ✓  
 $\Rightarrow \vec{H}$  est perpendiculaire par  $\vec{u}_\theta$  ✓

$\vec{H}$  ainsi est uniforme car le compteur d'ampère est circulaire

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{enlace}}$$

$$H \times 2\pi r = I_{\text{enlace}} \quad \checkmark$$

or  $I_{\text{enlace}} = i(t)$  puis que  $i_1 = 0 \Rightarrow$  les spires du tore ne contribuent pas

$$\text{donc } H \times 2\pi r = i(t) \quad \checkmark$$

$$H = \frac{i(t)}{2\pi r} \quad \checkmark$$

$$3) \oint (\vec{B}) = \iint (\vec{B} \cdot d\vec{S}) = \iint \mu_r \mu_0 \vec{H} \cdot d\vec{S}$$

~~surface~~ à travers 1 spire du tou.

$$\oint (\vec{B}) = \mu_0 \mu_r \iint \frac{i(t)}{2\pi r} \vec{u}_\theta \cdot d\vec{r} dz \vec{u}_\theta$$

$$= \frac{\mu_0 \mu_r i}{2\pi} \int_0^c dz \int_a^b \frac{dr}{r}$$

$$= \frac{\mu_0 \mu_r i c}{2\pi} (\ln b - \ln a)$$

$$\oint (\vec{B}) = \frac{\mu_0 \mu_r c i(t)}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

On peut supposer le champ uniforme si le tore est fin et étalé  
si le rayon intérieur est proche du rayon extérieur

$$(b-a) \gg a$$

dans ce cas,  $H \approx \frac{i(t)}{2\pi R_{moyen}}$

avec  $R_{moyen} = \frac{a+b}{2}$

et  $\oint (\vec{B}) = \frac{\mu_0 \mu_r i(t)}{2\pi R_{moyen}} (b-a) c$

4) On applique la loi de Faraday pour les  $N$  spires :

$$e(t) = U(t) = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\oint (\vec{B}) = \frac{\mu_0 \mu_r c i(t)}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \text{ avec } i = I \cos(\omega t)$$

$$\oint (\vec{B}) = \left[ \frac{\mu_0 \mu_r c}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \right] I \cos(\omega t)$$

$$\frac{d\Phi(t)}{dt} = - \frac{\mu_0 \mu_r c}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) I \omega \sin(\omega t)$$

$$U(t) = N \frac{\mu_0 \mu_r c \omega}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) I \sin(\omega t)$$

On pose  $U_{max} = \frac{\mu_0 \mu_r c \omega}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) I$

$$U(t) = U_{max} \sin(\omega t)$$

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \Leftrightarrow U_{eff}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = N \frac{\mu_0 \mu_r c \omega}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \frac{I}{\sqrt{2}}$$

$$\text{or } I_{\text{eff}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

$$\text{donc } U_{\text{eff}} = \frac{N \mu_0 \mu_r c \omega}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) I_{\text{eff}}$$

5)

$$U_{\text{eff}} = 1000 \times \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \times 2500 \times 0,01 \times 314 \ln\left(\frac{2,5}{1,5}\right) \times 387}{2\pi} \quad 2\pi \times 50$$

$$\text{Donc } U_{\text{eff}} \approx 31V$$

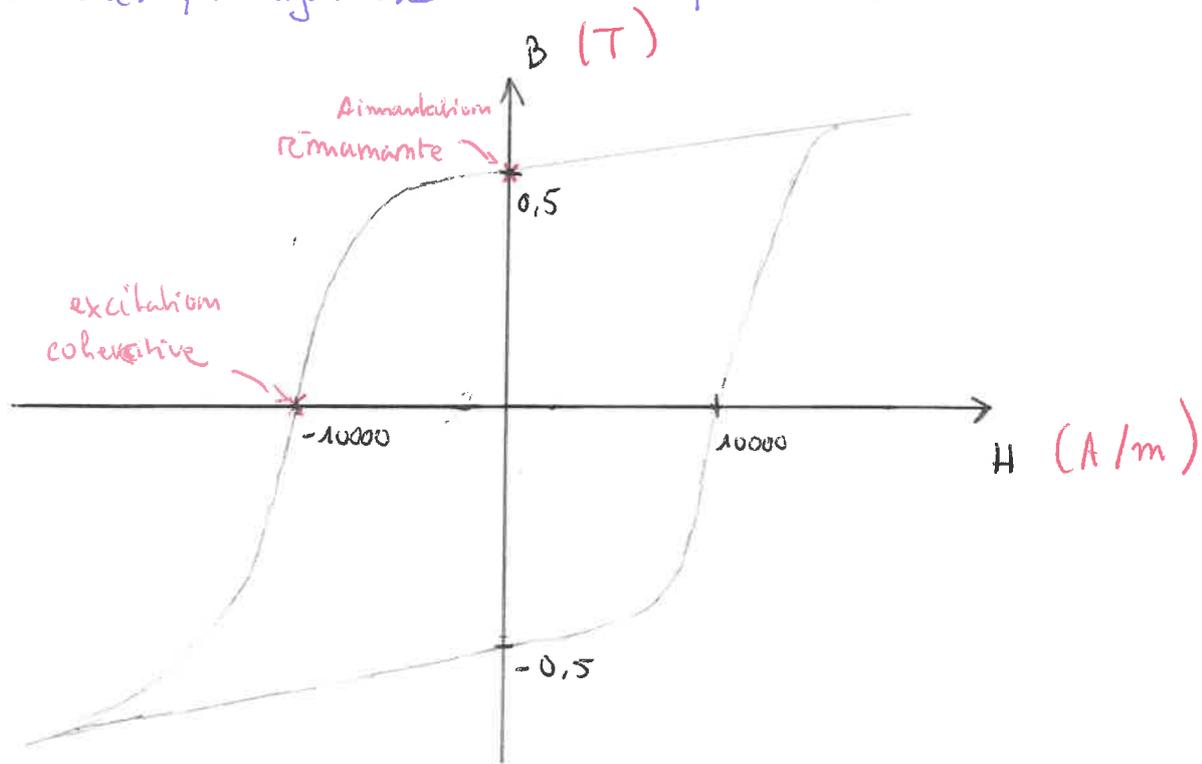
estimation de  $b = 2,5\text{cm}$   
 $a = 1,5\text{cm}$   
d'après la photo.

1. Pour un bon aimant permanent on veut un cycle d'hystérésis large pour avoir une grande aimantation rémanente ✓

Il est donc préférable d'utiliser un matériau dur. ✓

À l'inverse dans un transformateur, on cherche à limiter les pertes donc celles par hystérésis. On utilise plutôt des matériaux doux. ✓

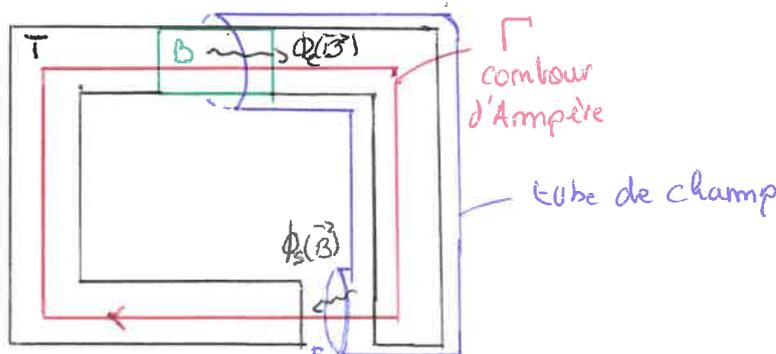
2.



3. Dans un matériau doux,  $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu_r}$ , or  $\mu_r \rightarrow +\infty$

Donc  $\vec{H} = \vec{0}$  dans T. B

4.



D'après le th. d'Ampère dans les milieux ferromagnétique :

$$\oint_{\Gamma} (\vec{H}) = i_{libres} \text{ enlacés par } \Gamma = 0 \Rightarrow H_E l + H_B L + \cancel{H_F L_{fer}} = 0$$

D'après Maxwell - Thomson :  $\text{div } \vec{B} = 0$

Alors le flux de  $\vec{B}$  se conserve dans un tube de champ

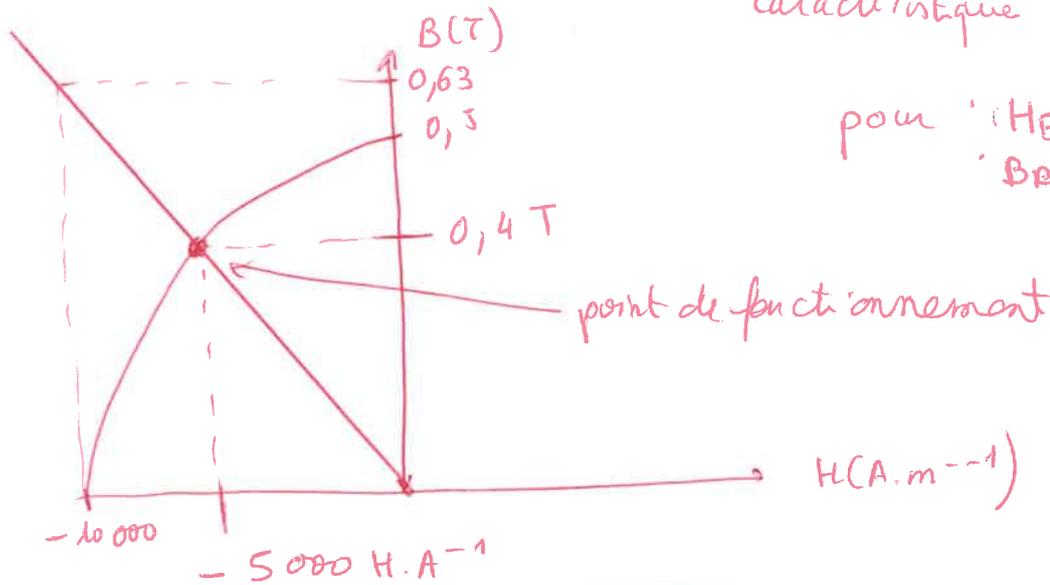
Ainsi  $\phi_e(\vec{B}) = \phi_s(\vec{B}) \Rightarrow B_B S = B_e S \Rightarrow B_B = B_e$

Alors  $\frac{B_B}{\mu_0} l = -H_B L \Rightarrow B_B = \frac{-H_B L \mu_0}{l}$  fonction linéaire de pente négative.

5. On veut  $B_e$ , comme  $B_e = B_B$  on a  $B_e = \frac{-H_B L \mu_0}{l}$

$\Rightarrow B_e = \frac{-25 \times 10^{-2} \times 4\pi \times 10^{-7}}{0,5 \times 10^{-2}} H_B = -6,3 \times 10^{-5} H_B$

→ dessinez cette droite sur la caractéristique  $B(H)_B$ .



pour  $H_B = 10000 \text{ A.m}^{-1}$   
 $B_B = 0,63 \text{ T}$

$\Rightarrow B_e = 0,4 \text{ T}$

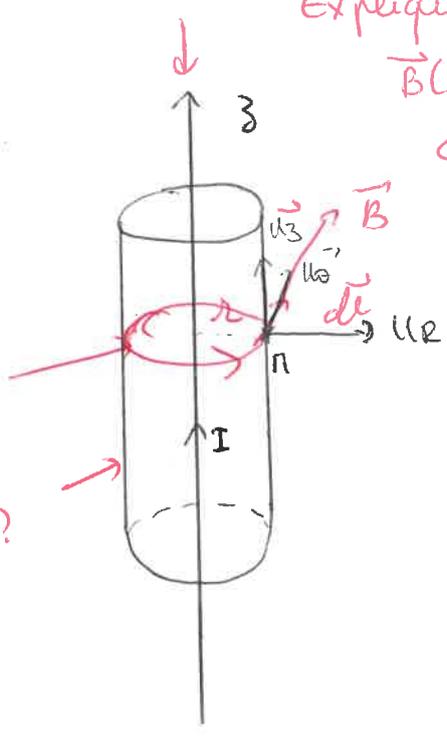
TD 26 Exercice 1 :

fil modélisant la poutre

Expliquer pourquoi vous déterminez  $\vec{B}(r)$

→ on cherche  $\vec{B}$  à une distance  $r$  du fil

Γ = contour d'Ampère  
C'est quoi?



o Nous sommes en coordonnées cylindriques, donc  $\vec{B}$  dépend de  $r, \theta, z$

Notons  $\Pi_1(r, u_r, u_\theta) =$

$\Pi_2(r, u_r, u_z) = \Pi_{\text{symétrie de courant}}$

$\Pi_3(r, u_\theta, u_z) =$

Or on voit  $\vec{B}(r)$  est  $\perp$  au  $\Pi_{\text{symétrie de courant}}$ . Alors  $\vec{B}(r) = B(r) u_\theta$

On voit qu'aussi que les courants sont invariants d'angles  $\theta$  (par rotation) et par translation de  $z$ .

Ainsi  $\vec{B}(r) = B(r, \theta) u_\theta$ .

Il est indispensable de préciser le contour fermé  $\Gamma$  et de le représenter.

D'après le théorème d'Ampère :  $\oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{enlacé}}$

Or  $\vec{B}$  est colinéaire à  $d\vec{\ell}$ . Ainsi  $B(r) 2\pi r = \mu_0 I_{\text{enlacé}}$

→  $B(r) = \frac{\mu_0 I_{\text{enlacé}}}{2\pi r}$   
→ distance au fil.

On voit sur le schéma de l'exo que le circuit du refuge est assimilé à un rectangle. Prenons le cas où on a  $L \approx 10$  mètres qui sera la distance entre les deux côtés du circuit.  $\hookrightarrow$  refais le schéma.

On aura les distances au fil qui seraient:

$$r = d \Rightarrow \text{côté proche}$$

$$r = d + L \Rightarrow \text{côté le plus long}$$

vous avez pu  $d = 10$  m dans la suite

D'après la définition du flux magnétique on a

$$\Phi(\vec{B}) = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \text{or } \vec{B} \text{ dépend que de } r.$$

$$\Phi(\vec{B}) = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \text{et } d\vec{S} = L dr \vec{u}_\theta$$

$$= \int_d^{d+L} \frac{\mu_0 I_{\text{entrées}}}{2\pi r} L dr = \int \frac{\mu_0 I_{\text{entrées}}}{2\pi} \int_d^{d+L} \frac{dr}{r}$$

$$= \frac{\mu_0 L I_{\text{entrées}}}{2\pi} \ln\left(\frac{d+L}{d}\right)$$

Or d'après la loi de Faraday:  $\text{c'est}$

$$e_{\text{induite}} = - \frac{d\Phi(\vec{B})}{dt} = - \frac{\mu_0 L}{2\pi} \ln\left(\frac{d+L}{d}\right) \frac{dI}{dt}$$

En regardant le schéma 1: on peut dire que  $\frac{dI}{dt} \approx \frac{I_{\text{max}}}{2 \times 10^{-6}}$

Application numérique:

$$e_{\text{induite max}} = - \frac{\mu_0 L}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{d+L}{d}\right) \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$= - \frac{5 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} = -2,5 \times 10^{10} \text{ A}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$= - \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \times 10}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{20}{10}\right) \cdot (2,5 \cdot 10^{10})$$

$$= 3,5 \times 10^4 \text{ V} = 35 \text{ kV}$$

Le résultat est donc énorme et peut déclencher des incendies. B