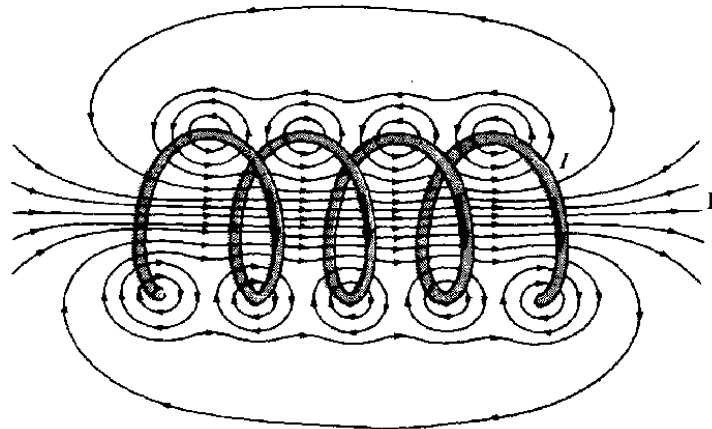
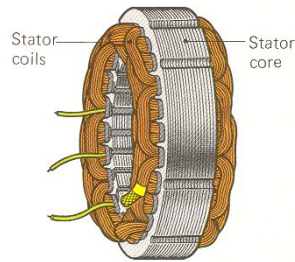


Physique appliquée

BTS 1 Electrotechnique



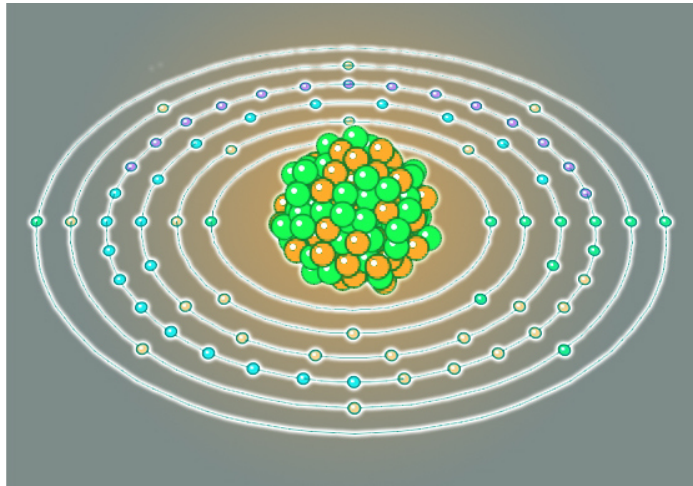
Electromagnétisme

1.	Champ d'excitation magnétique	3
1.1.	Interprétation de l'aimantation.	3
1.2.	Champ d'excitation magnétique autour d'un fil.....	4
1.3.	Champ d'excitation magnétique au centre d'une spire.....	6
2.1	Champs d'excitation magnétique d'une bobine.	7
1.5.	Champs d'induction B	8
1.6.	Différents type de matériaux dans un champ d'excitation magnétique H :	9
1.7.	Le théorème d'Ampère :	11
1.8.	Circuit magnétique avec entrefer :	12
1.9.	Exercice sur le principe de la pince ampère métrique à effet Hall :	16
2.	Comportement de la bobine en régime variable sinusoïdal.....	18
2.1	La loi de Lenz	18
2.2	Auto induction et modèle d'une bobine	19
2.3	Exercice sur le modèle de la bobine à noyaux de fer	20

1. Champ d'excitation magnétique

1.1. Interprétation de l'aimantation.

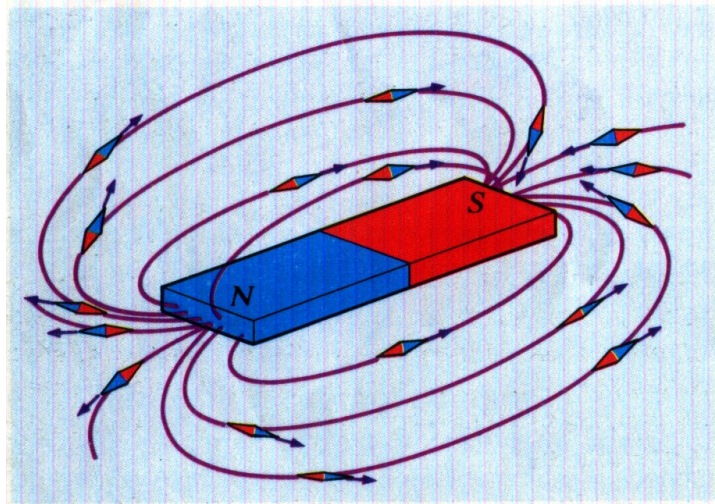
Orbitale électronique



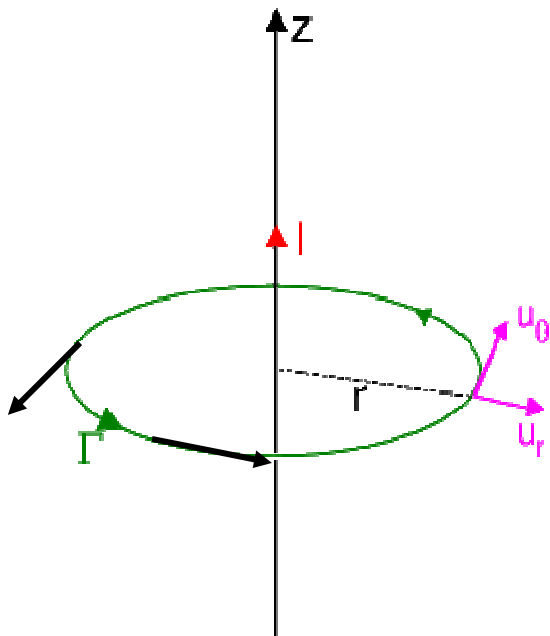
L'électron gravitant autour d'un noyau est une source d'excitation magnétique.

L'effet cumulé de milliard de milliard d'électrons en mouvement donne un champ d'excitation magnétique noté \vec{H} en un point de l'espace.

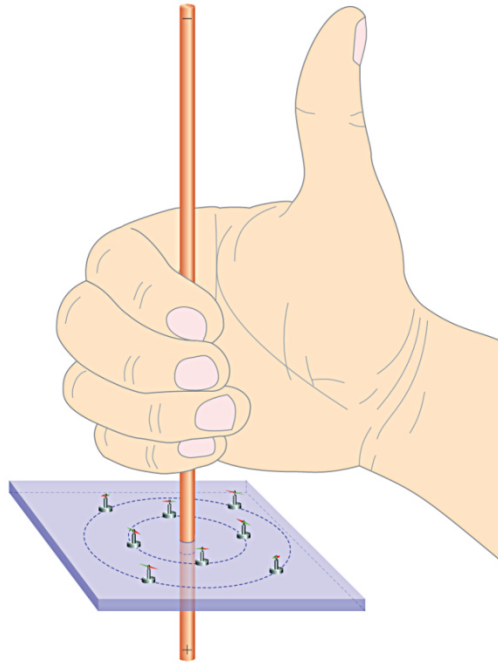
Un aimant est un matériau qui a gardé la mémoire de l'aimantation car les orbitales sont positionnées de manière à additionner leur moments magnétique et donne un pôle nord et sud aux extrémités du solide.



1.2. Champ d'excitation magnétique autour d'un fil



Règle de la main droite :



On note la relation donnant l'expression de la norme du vecteur H

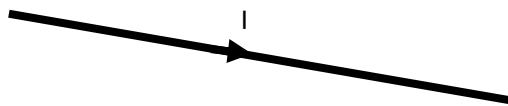
$$H = \frac{i}{2\pi r}$$

H : Champ d'excitation magnétique en Ampère par mètre ($A \cdot m^{-1}$)

I : Courant en Ampère (A)

r : Rayon de la ligne de champ d'excitation magnétique par rapport au fil rectiligne en mètre (m).

Exercice 1 :

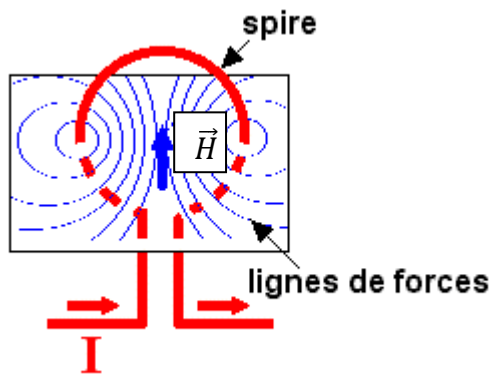


Indiquer le sens du vecteur \vec{H} autour du fil parcouru par un courant I .

Exercice 2 :

Calculer la valeur de H autour du fil à une distance de 2mm puis 10mm et 50mm et le courant dans le fil est de 10A.

1.3. Champ d'excitation magnétique au centre d'une spire



Sens de H et règle du tire bouchon de Maxwell.

Expression de H :

$$H = \frac{i}{2r}$$

H : Champ d'excitation magnétique en Ampère par mètre ($A \cdot m^{-1}$)

I : Courant en Ampère (A)

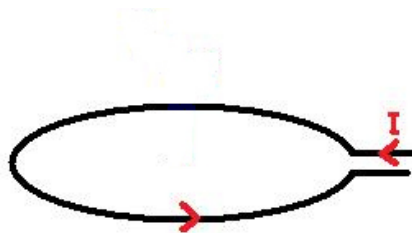
r : Rayon de la ligne de la spire en mètre (m).

Exercice 3 :

Calculer la valeur de l'excitation magnétique au centre d'une spire de diamètre 20mm parcouru par un courant de 3A

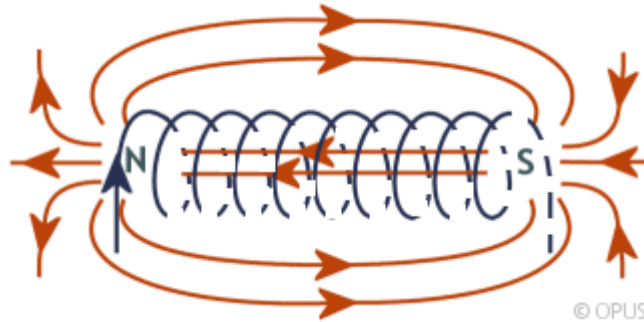
Exercice 4 :

Indiquer le sens du vecteur \vec{H} et également les polarités N et S de la spire ci-dessous :



Calculer H si la spire est de rayon 5 cm et que le courant est de 700mA.

2.1 Champs d'excitation magnétique d'une bobine.



On peut noter que la valeur de H est défini par la relation :

$$H = \frac{n \cdot i}{L}$$

H : Champ d'excitation magnétique en Ampère par mètre ($A \cdot m^{-1}$)

I : Courant en Ampère (A)

L : Longueur de la bobine en mètre (m).

Exercice 5 :

Calculer le module du champs d'excitation magnétique \vec{H} pour une bobine de longueur $L=30\text{cm}$ et parcouru par un courant de 3A et comportant 50 spires.

Exercice 6 :

Combien de spires doit t'on bobiner un solénoïde de longueur $L=50\text{cm}$ pour un champs d'excitation magnétique \vec{H} de $300 A \cdot m^{-1}$ alors qu'un courant de 1A circule dans le fil.

1.5. Champs d'induction \vec{B}

Le champ magnétique \vec{B} crée par un courant électrique est dépendant du milieu.

Par contre le champ d'excitation magnétique \vec{H} ne dépend que du courant et de la distance entre le point considéré et le conducteur véhiculant le courant.

La relation entre le champ d'induction magnétique et le champ d'excitation magnétique est :

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

Avec :

- B : induction magnétique en Tesla (T).
- μ_0 : perméabilité magnétique du vide ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$).
- μ_r : perméabilité magnétique relative du milieu.
- H excitation magnétique du milieu en Ampère par mètre ($A \cdot m^{-1}$).

Exercice 7 :

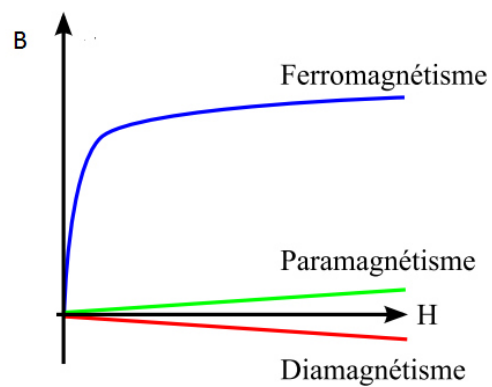
- a) Calculer le module du champs d'excitation magnétique \vec{H} puis l'induction \vec{B} au centre d'une bobine de longueur $L=30\text{cm}$ dans de l'air et parcouru par un courant de 5A et comportant 120 spires.

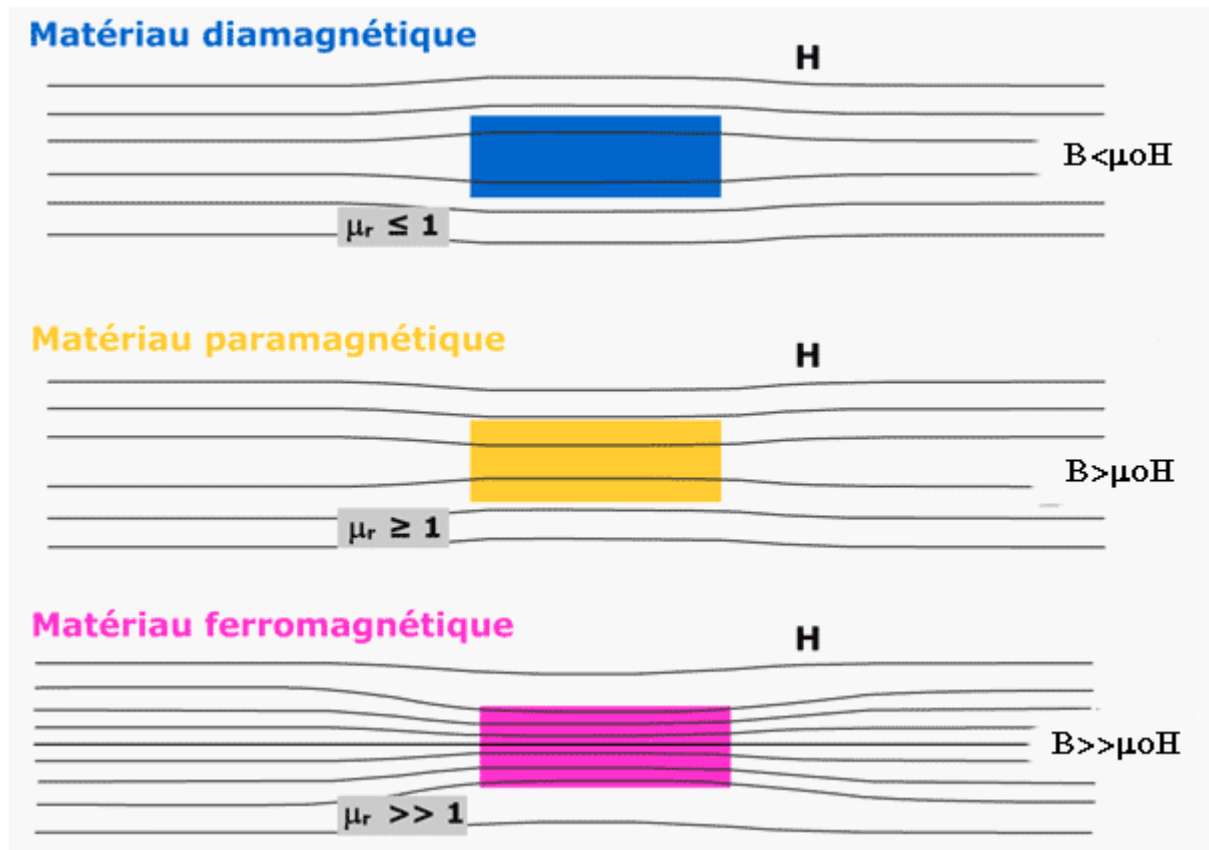
La perméabilité magnétique relative de l'air est $\mu_r = 1$.

- b) Si on place dans le centre de la bobine un noyau d'acier (perméabilité $\mu_r = 1000$), calculer la nouvelle valeur de l'induction magnétique.

Matériau	Composition	Perméabilité relative μ_r	Utilisation
Fer Armco	Fer pur	10'000	relais, électroaimant
Acier Hypersyl	Si à 3 %	40'000 à 50'000	inductances transformateurs
Mumétal Permalloy C	Ni à 80 %	70'000 à 130'000	blindages magnétiques relais rapides
Acier au cobalt Permendur V	Co à 35 - 50 %	3'500	tôles pour petites machines tournantes

1.6. Différents type de matériaux dans un champ d'excitation magnétique H :





Les matériaux qui sont très légèrement repoussés par un champ magnétique sont classés dans la catégorie **diamagnétique**.

Par exemple :

Silicium ,Cuivre,Zinc ...

Les matériaux qui sont attirés par un champ d'excitation magnétique ne conservent pas d'aimantation rémanente après la suppression de l'excitation magnétique extérieure. On place ces matériaux dans la catégorie **paramagnétique**.

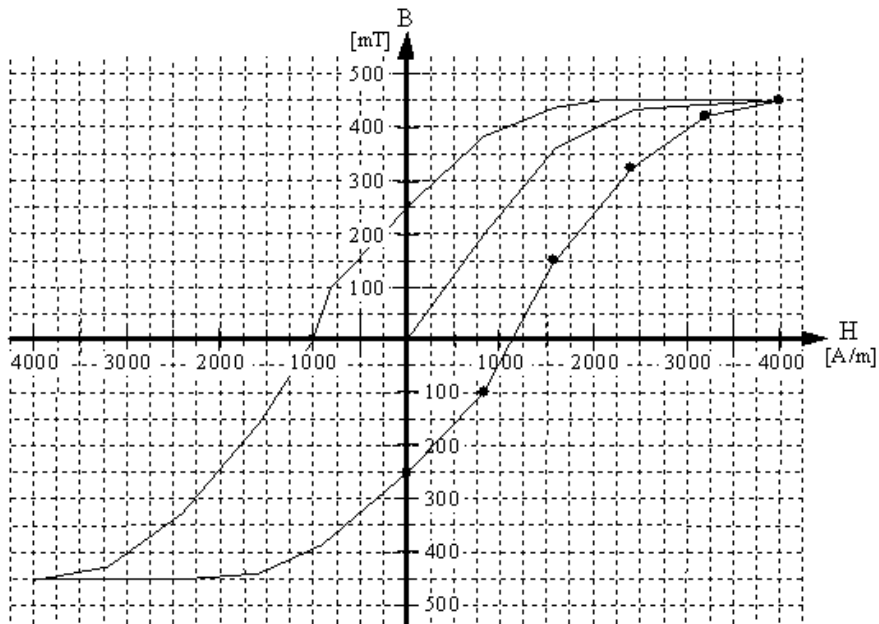
Par exemple :

Sodium,Aluminium,Manganèse

Les matériaux qui sont attirés fortement par un champ d'excitation magnétique conservent une aimantation rémanente pouvant être importante (cas des aimants artificiels) après la suppression de l'excitation magnétique extérieure ; On place ces matériaux dans la catégorie **ferromagnétique**.

Cobalt,Fer,Nickel...

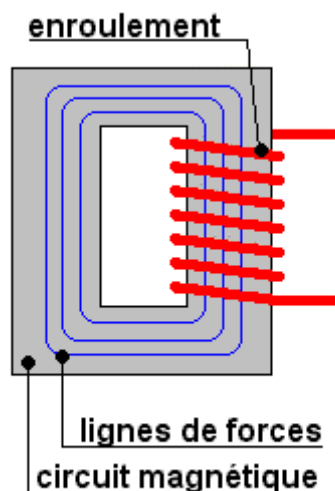
Courbe d'aimantation d'un matériau ferromagnétique :



1.7. Le théorème d'Ampère :

Dans les applications en électrotechnique, on utilise des bobines à noyaux de fer permettant de canaliser les lignes de champs magnétiques.

Comme les lignes de champ se referme obligatoirement, les noyaux prennent la forme de circuit fermés de manière à canaliser le maximum de ces lignes et de limiter la magnétisation de l'air à cause des champs de fuites.



Application du théorème d'ampère sur les circuits magnétiques :

Enoncé : La somme des intensités embrasées par une ligne de champs d'excitation magnétique fermée est égale à la circulation du champ d'excitation magnétique \vec{H} le long de cette ligne.

Pour trouver la norme de H : $H.l = N.i$

Comme

$$B = \mu.H = \mu_0.\mu_r.H$$

Le théorème d'Ampère peut s'exprimer par la relation :

$$B.l = \mu_0.\mu_r.N.i$$

Avec :

- l : la longueur de la ligne de champ moyenne en mètre (m)
- N : le nombre de spires de la bobine inductrice.

Exercice 8 :

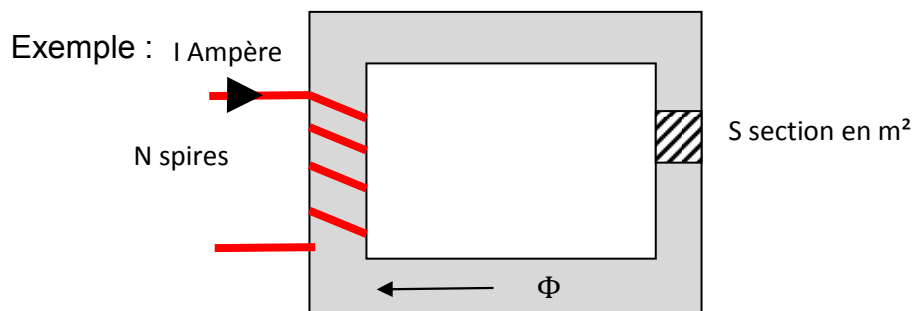
- Si on prend un circuit magnétique en acier ($\mu_r = 3500$) de longueur moyenne 10 cm et de forme carré, calculer la valeur de l'induction si on enroule une bobine de 10 spires parcourue par un courant de 2A.
- Quelle devra être la valeur du courant à faire circuler dans la bobine pour obtenir une induction de 0,4T sur un circuit de longueur moyenne de 20 cm par 30 cm en utilisant toujours de l'acier. On augmentera le nombre de spires à 1000.

1.8. Circuit magnétique avec entrefer :

Dans le cas des électroaimants, il est nécessaire d'avoir des circuits magnétique ouvert afin de les magnétiser par l'action d'une bobine.

Forcément, il y aura un entrefer.

Pour simplifier l'étude, on peut faire une analogie entre les circuits électriques et magnétiques. On va d'abord étudier l'équivalence avec un circuit sans entrefer ;



Notion de flux :

Il est évident que pour obtenir une même induction magnétique dans un milieu ferromagnétique, cela dépend de la surface traversée par l'ensemble des lignes de champ.

On note la valeur du flux par le produit scalaire suivant :

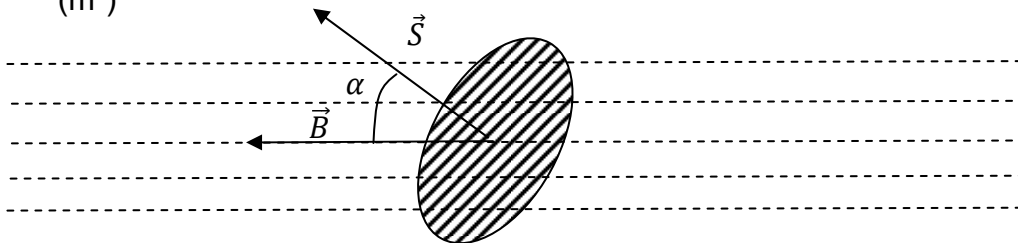
$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

Soit

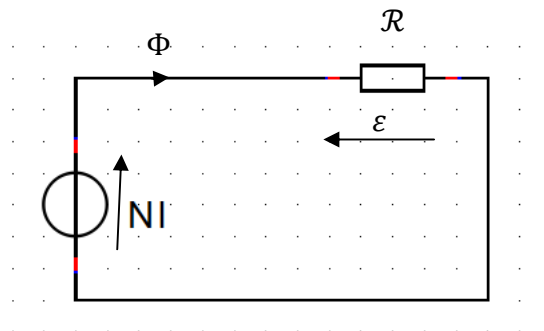
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\alpha)$$

Avec :

- Φ : Flux magnétique exprimé en Weber (Wb).
- B : induction magnétique en Tesla (T).
- S : Surface traversée par les lignes de champs magnétiques en mètre carré (m²)



Le circuit magnétique pourra être représenté par le circuit équivalent suivant :



Avec :

NI : Ce sont les Ampère-tour fournis par la bobine inductrice.

Φ : Le flux magnétique circulant dans le circuit magnétique (Wb)

\mathcal{R} : la réluctance du circuit magnétique

ε : Force magnétomotrice retenue par la réluctance \mathcal{R}

Notion de réluctance :

La réluctance est la caractéristique du matériau à consommer un certain nombre d'Ampère-tour afin d'y faire circuler un flux magnétique donné.

La relation donnant la réluctance est :

$$\mathcal{R} = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{L}{S}$$

Avec :

- \mathcal{R} : Réluctance du circuit en Ampère tour par Weber ($\text{At} \cdot \text{Wb}^{-1}$).
- $\mu_0 \cdot \mu_r$: perméabilité magnétique du milieu.
- L : Longueur de la ligne de champ moyenne le long du circuit magnétique considéré en mètre (m).
- S : Surface du circuit magnétique traversé par les ligne de champ magnétique en mètre carré (m^2).

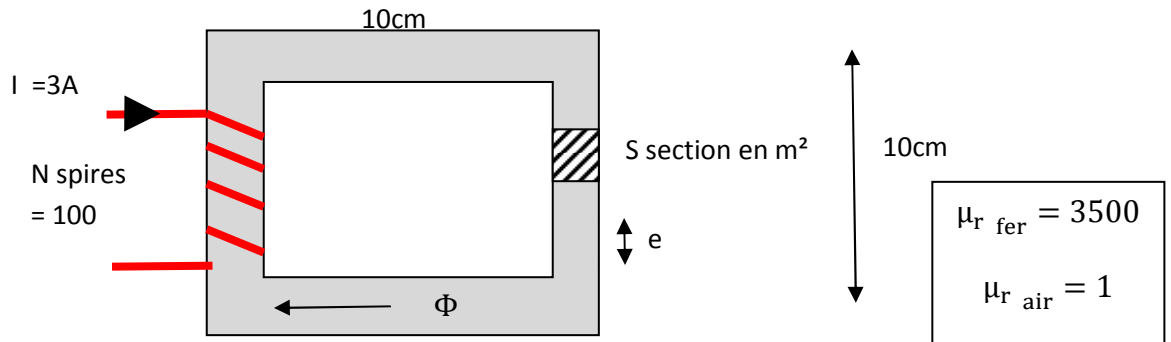
Exercice 9 :

Utilisation des lois de l'électricité sur le circuit équivalent :

- a) Ecrire la loi des mailles
- b) Appliquer la loi d'Ohms sur la réluctance.
- c) Mettre en relation les Ampère-tour et le champ d'induction B.
- d) Vérifier la correspondance avec la relation obtenue avec le théorème d'Ampère.
- e) Ecrire l'expression correspondant à la loi d'Hopkinson.

Exercice 10 :

Application du circuit équivalent pour un circuit comportant un entrefer.

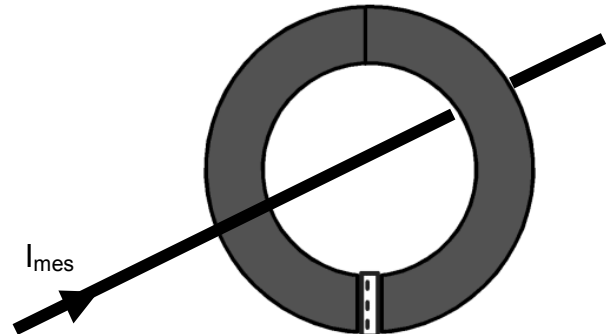


- Dessiner le circuit équivalent sachant que l'entrefer offre une réluctance \mathcal{R}_e .
- Appliquer la loi d'Ohms sur chaque réluctance et exprimer les forces magnétomotrices ε_1 et ε_e .
- Appliquer la loi des mailles
- Exprimer l'induction B en fonction des ampères-tours mis en jeu par la bobine inductrice.
- Application numérique pour un entrefer valant 1mm.
- Calculer la valeur du courant si l'entrefer disparaît pour obtenir la même induction
- Interpréter alors l'appel de courant à la mise sous tension des contacteurs

1.9. Exercice sur le principe de la pince ampère métrique à effet Hall

Hall :

Pour mesurer des courants alternatif ou continu, on doit absolument prendre des pinces à effet Hall :



Les notions de forces électriques et de Lorentz doivent être abordées avant d'expliquer le principe de fonctionnement de cette pince.

<http://www.youtube.com/watch?v=dHBviHKfTBk>

La force magnétique

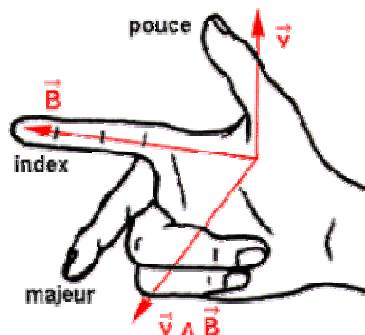
Une particule chargée, en mouvement dans un champ magnétique, est soumise à la force de LORENTZ.

La relation donnant le module de la force de Lorentz est :

$$F = q \cdot V \cdot B \cdot \sin(\alpha)$$

Avec :

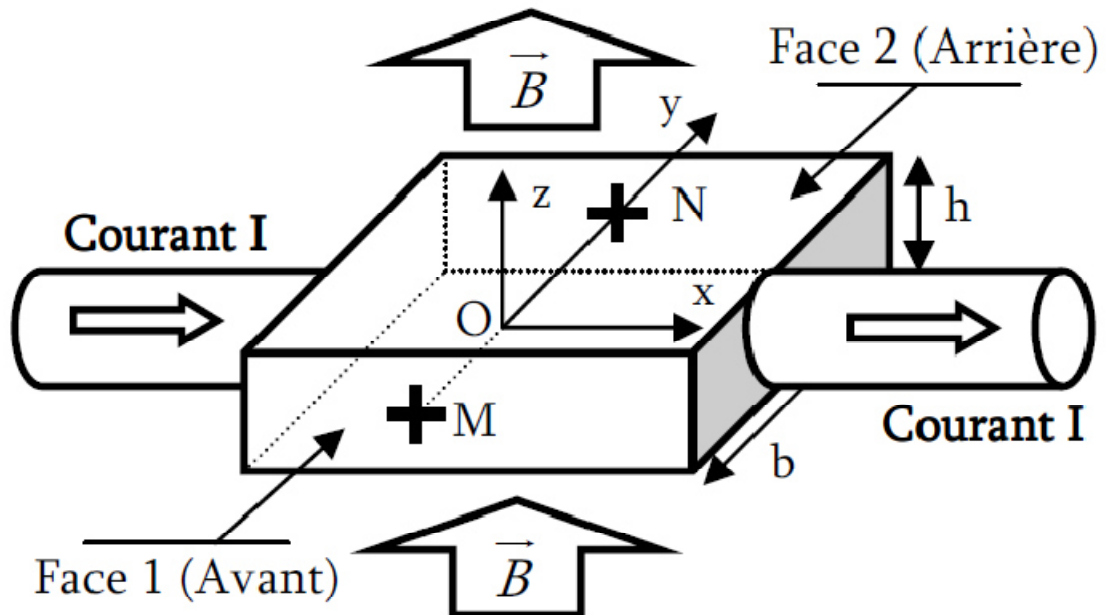
- F : Force de Lorentz en Newton (N)
- Q : Charge de la particule en mouvement en Coulomb (C).
- V : Vitesse de la particule en mouvement.
- α : Angle entre les vecteurs \vec{B} et \vec{V} .



\vec{F} dans le cas d'un charge positive +q

Exercice 11 :

On utilise un semi conducteur en antimoniure d'indium InSb pour réaliser une pince de courant à effet Hall.



- Représenter sur le schéma suivant le sens de circulation des électrons du semi conducteur.
- A l'aide de la règle de la main droite, indiquer le sens de la force qui dévie les charges en mouvement. (Attention $q_{e^-} = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)
- Indiquer alors la polarité et le sens de la tension présente entre les points Met N.

Le champ magnétique B est généré par le courant I_{mes} mesuré par la pince à l'aide d'un tore en ferrite de diamètre 30 mm et de perméabilité relative de valeur 800.

- On considère le fil au centre du tore, calculer la valeur de B dans le tore de ferrite en fonction de I_{mes} .

On donne alors la relation de la tension mesurable entre M et N :

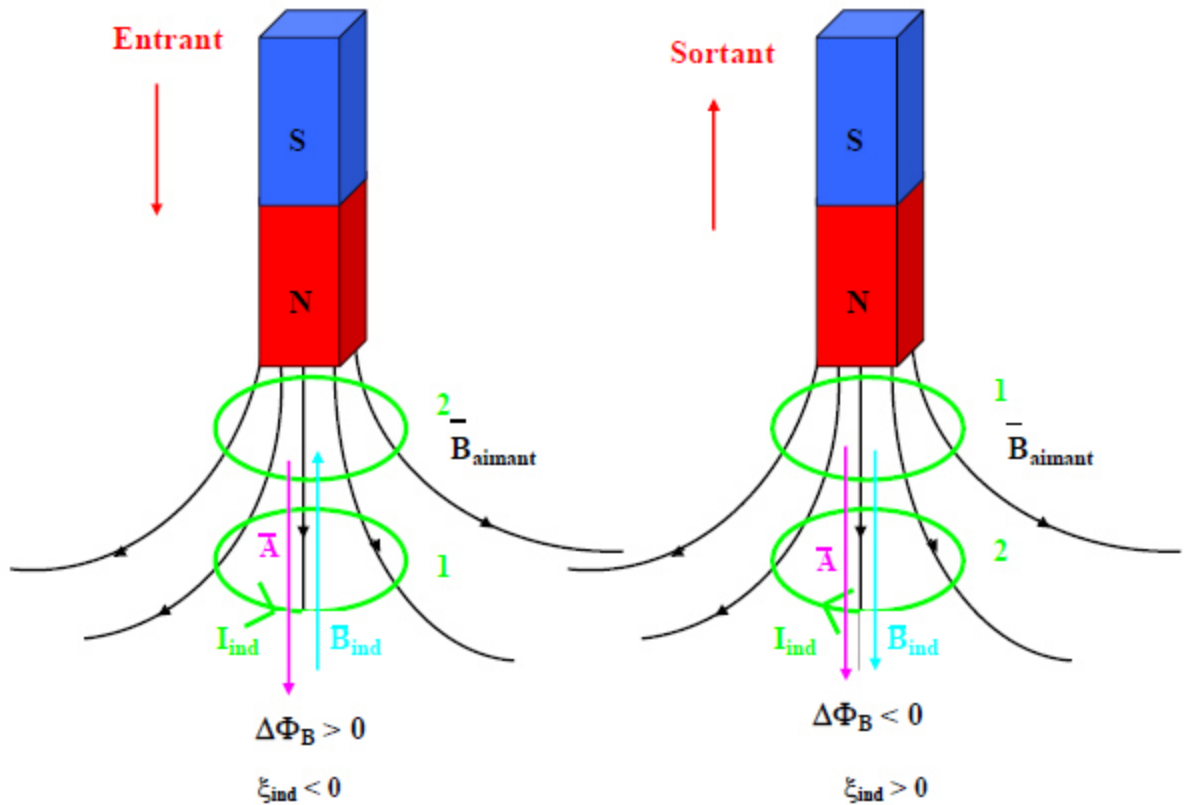
$$U_{MN} = \frac{C_H}{h} \cdot I \cdot B$$

- Calculer la valeur de U_{MN} en fonction de I_{mes} pour les valeurs suivantes : Constante de Hall $C_H = 375 \cdot 10^{-6} \text{ u SI}$; $I = 0.1 \text{ A}$ et $h = 0.3 \text{ mm}$
- Quel système doit-on utiliser dans la pince pour en faire un étalonnage de 10mV par Ampère.

2. Comportement de la bobine en régime variable sinusoïdal

2.1 La loi de Lenz

<http://www.youtube.com/watch?v=SID1lgUnQR0>



Conventions :

- Sens de \vec{A} , qui définit le sens du flux : sens du champ extérieur (aimant)
- $\xi_{ind} > 0$: f.é.m. qui produit un courant donnant lieu à un champ induit de même sens que le champ extérieur

$$\xi_{ind} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

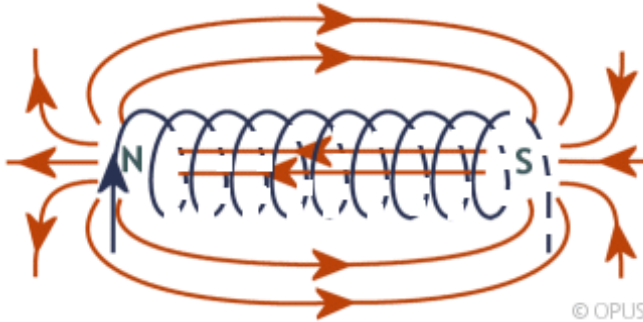
On se rend compte que la fem d'auto induction tend à s'opposer à la variation du champs magnétique extérieur.

2.2 Auto induction et modèle d'une bobine

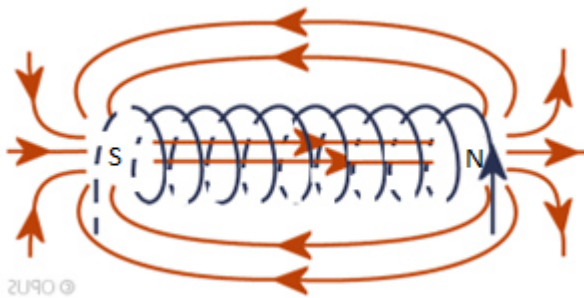
Cas de la bobine alimentée en régime sinusoïdal :

Le flux que le courant induit à l'extérieur de la bobine est sinusoïdal également

Pendant une demi période :

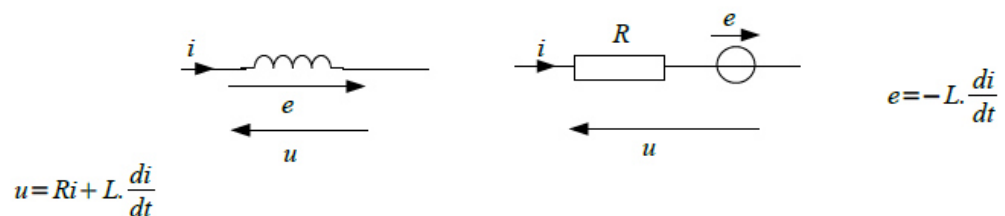


Pendant la demi période suivante :



La bobine est donc soumise à une variation de flux et donc il va y avoir une fem qui va s'opposer à la variation du flux en créant également une fem dite d'auto induction.

Le modèle équivalent sera :



Une bobine est considérée comme idéale quand $L \cdot \frac{di}{dt} \gg R \cdot i \Rightarrow u = u_L = L \cdot \frac{di}{dt}$

2.3 Exercices sur le modèle de la bobine à noyaux de fer

Exercice 12 :

On donne la caractéristique magnétique d'un matériau utilisé pour réaliser un circuit magnétique.

H(KA /m)	0.5	0.6	0.8	1.1	1.6	3.5	6.2	10	16
B(T)	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9

- a) Calculer la force magnétisante qui permet d'obtenir une induction de 1,4T dans un tore de 1,25m de longueur.
- b) Méthode pour déterminer ce que devient cette Fmm lorsqu'on introduit un entrefer de 2mm.
 - Dessiner le schéma du tore avec un entrefer.
 - Dessiner le modèle équivalent.
 - Appliquer la loi des mailles entre les fmm consommée par les réluctances.
 - Calcul de la fmm ϵ_{fer} .
 - Calcul de la fmm $\epsilon_{\text{entrefer}}$.
 - Calcul des NI total.

Exercice 13 :

Soit un circuit magnétique de forme rectangulaire dont les dimensions valent :

Colonnes hauteur = 20 cm de section carré de 45 cm².

Traverses hauteur = 30 cm de section carré de 45 cm².

H(A/m)	80	115	160	220	300	380	490	620	760	980
B(T)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1

L'enroulement primaire comporte 200 spires et alimenté par une tension sinusoïdale 220V-50Hz.

On donne la relation de Boucherot :

La tension efficace sinusoïdale aux bornes d'une bobine est mise en relation avec l'induction par la relation suivante : $U_{\text{eff}}=4,44.N.B_{\text{max}}.S.f$

Avec :

- U_{eff} : Tension efficace en volt (V)
 - N : Nombre de spires de la bobine.
 - B_{max} : Induction maximale obtenue dans le fer en Tesla (T).
 - S : section du circuit magnétique en mètre carré (m²)
 - f : Fréquence de la tension d'alimentation en Hertz (Hz)
- a) Calculer B_{max} .
 - b) Calculer B_{eff} .
 - c) Calculer la force magnétomotrice (fmm) retenue par la réductance du fer grace au théorème d'Ampère.
 - d) Calculer la force magnétomotrice (fmm) retenue par la réductance de l'entrefer.
 - e) Calculer la valeur des Ni total fourni par la bobine.
 - f) L'enroulement primaire doit pouvoir supporter un courant de 40A,évaluer la section des conducteurs en adoptant une densité de 5 A.mm⁻²