

Chapitre 4

Magnétisme

Objectifs

1. Savoir les quantités magnétiques et les rapports entre ces quantités
2. Savoir qu'il y a plusieurs types de magnétisme
3. Savoir qu'est ce que l'induction magnétique
4. Savoir qu'est ce qu' un courant Foucault
5. Comprendre les principes de base de la fonctionnement des generateurs et moteurs électriques
6. Savoir qu'est ce qu' une bobine et savoir calculer la bobine remplaçante

4.1 Introduction

Le magnétisme est une propriété que certaines matières possèdent pour attirer ou repulser et qui sont clairement différent de forces de cohésion, d' adhesion, électrostatique et de gravitation.

Il est clair que nous avons à faire avec une force comme dans le cas des charges électriques. A ce temps la nous étions confrontés avec un champ électrique maintenant nous sommes confrontés avec un champ magnétique. Dans le cas de mêmes pôles il y a une force répulsive dans le cas de pôles différents il y a une force attractive, exactement comme dans le cas d'un champ électrique. La différence est que dans le cas de charges électrique on peut bien indiquer les charges mais dans le cas des pôles magnétiques on va toujours retrouver les deux pôles ensemble, parce que des pôles magnétique individuels n'existent pas. On a toujours un pôle sud et un pole nord.

4.2 La force magnétique

Comme dans le cas d'un champ électrique on a mis le fonctionnement de la force dans une formule. Cette formule est très ressemblante aux formule de la force électrostatique.

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$$

m_i : force du pôle magnétique

μ : permeabilité magnétique

r : distance mutuelle

La perméabilité magnétique est égale au produit de la permeabilité du vide μ_0 et la perméabilité μ_r . La perméabilité est une constante de matière et donc dépend du choix de matériau, la perméabilité du vide est une constante égale à $4\pi 10^{-7}$ H/m.

L'unité de force d'un pôle magnétique est Weber (Wb).

Le Weber est la force d'un pôle magnétique, qui dans le vide et sur un autre pôle magnétique, mis sur un mètre de distance, exerce une force de $10^7/16\pi^2$ newton.

4.2.1 Champ magnétique

Nous avons vu qu'il y a un champ de force entre des pôles magnétiques. Ce champ est appelé le champ magnétique. On fait ce champ clair avec des lignes de flux qui coulent toujours du nord au sud.

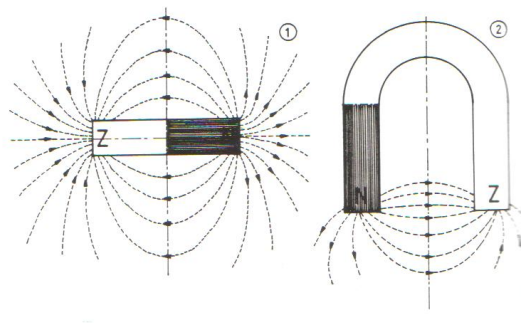


FIGURE 4.1 – lignes de flux magnétique

4.2.2 Force du champ magnétique

La force qu'un pôle magnétique ressent n'est pas de la même grandeur partout et donc dépend du lieu et par suite de la distance.

La force du champ magnétique dans un point d'un champ est la force exercé sur un pôle magnétique de magnitude élémentaire mis dans ce point.

Si nous considérons un champ magnétique avec un seul pôle avec grandeur m , la force de son champ est donc

$$H = \frac{m}{4\pi\mu r^2}$$

H est représenté en A/m et est une grandeur vectorielle .

4.2.3 Induction magnétique

L'induction magnétique est la phénomène que des matériaux magnétiques magnétisent sur influence de champs magnétiques externes.

Cet induction est représenté par $B = \mu H$ avec unité Tesla (T) ou Weber par mètre carré(Wb/m²).

4.2.4 Flux magnétique

Nous considérons une surface perpendiculaire sur les lignes de flux d'un champ magnétique uniforme avec force de champ M. Le flux magnétique est le nombre de lignes à travers cette surface. $\Phi = B.A$ avec unité weber.

4.2.5 Electromagnétisme

Chaque courant produit un champ magnétique et chaque champ magnétique changeant produira une tension.L'électromagnétisme concerne ces phénomènes. Ça veut dire que si un courant produit un champ magnétique il y a un rapport entre les deux et ce rapport est reflété par $F_m = w.I$. F_m est la force magnétomotrice et w est le nombre de spires du bobine dans laquelle circule le courant. La force du champ H qui suit de cette force magnétomotrice est représenté par $H = \frac{dF_m}{dl}$.

résistance magnétique

Entre la cause (F_m) du champ magnétique et la conséquence (flux) il y a un rapport.Ce rapport est la résistance magnétique ou réluctance R_m et est reflété par le loi d' Hopkinson.

$$R_m = \frac{F_m}{\Phi}$$

Forme des lignes de champ autour d'un conducteur parcouru par le courant

Les lignes de champ autour d'un conducteur parcouru par le courant sont des cercles concentrique. La direction de rotation est trouvée en prenant le conducteur dans la main droite et le pouce dans la direction du courant. Les

doigts qui tiennent le conducteur nous donnent la direction de rotation du champ magnétique.



FIGURE 4.2 – lignes du champ magnétique

4.2.6 Conduite magnétique

L'étude de conduite magnétique est sujet de recherche profonde en physique quantique et nous amènera trop loin. Le point essentiel est que le mouvement rotatif et giratoire (spin nucléaire) est responsable pour cette conduite. Ce qui est important pour nous est qu'il y a plusieurs sortes de conduites magnétiques, dépendante du matériau. Nous pouvons discerner trois types de matériaux magnétiques

- *Matériaux diamagnétiques*, sont ceux qui sont aimantés dans l'autre sens du champ magnétique externe et pour lequel μ_r est un peu plus petit que 1.
- *Matériaux paramagnétiques*, sont ceux qui sont aimantés dans le même sens du champ magnétique externe et pour lequel μ_r est un peu plus grand que 1.
- *Matériaux ferromagnétiques*, sont ceux qui sont aimantés dans le même sens du champ magnétique externe et pour lequel μ_r est plus grand que 1 et pour lequel la magnétisation n'est pas linéaire.

En plus les matériaux ferromagnétique se divisent en plusieurs classes

- *Matériaux durs à aimantir* : Ils sont difficile à aimanter et à désaimanter et sont appliqués pour produire des aimants permanents.
- *Matériaux faciles à aimantir* : Ils sont relativement facile à aimanter et sont appliqués pour produire des bobines ou des machines électriques.

Aimantation

L'aimantation est figuré dans le courbe d'aimantation qui donne l'induction B en fonction du champ H. On appelle cette courbe aussi la caractéristique BH.

Nous allons étudier la courbe pour les matériaux ferromagnétique. Quand nous augmentons ou diminuons la force du champ magnétique et nous satu-

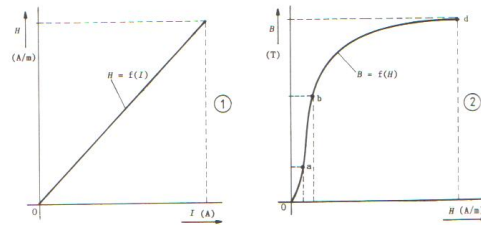


FIGURE 4.3 – caractéristique d’aimantation pour (gauche) matériaux para-et diamagnétique et (droite) matériaux ferromagnétique

rons le matériau nous recevons la caractéristique si dessous. On appelle ce caractéristique la boucle d’hystérésis.

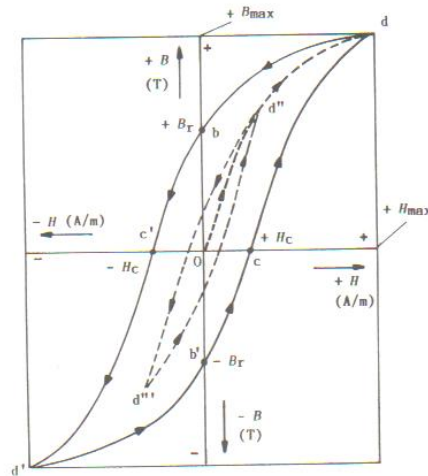


FIGURE 4.4 – boucle d’hystérésis

Nous menons le matériau jusqu’à point d et nous retournons par renverser le courant. Nous pouvons constater que la courbe ne retourne pas par le voie originale mais suit un courbe différente. Nous augmentons le courant dans le même sens jusqu’au moment que nous arrivons au point d' et renversons encore une fois le sens du courant nous pouvons voir le même phénomène que la route suivi de l’aimantation a changé. Donc il apparaît une courbe fermée qu’on appelle la boucle d’hystérésis. La surface est en rapport avec les pertes d’hystérésis. Ce sont les pertes qui sont due au réchauffement du matériau quand celui-ci parcourt une aimantation ou déaimantation complète

Ce qui est remarquable est qu’il y a toujours une induction même si le

champ est égale à zero. Ceci est appelé l'induction remanente. Cette induction est importante quand on veut démarrer des machines électriques.

Analogue il reste un champ quand l'induction est zero. Ce champ est appelé le champ coercitif.

4.3 Induction électromagnétique

Il est remarqué déjà qu'un changement de champ rendra une tension. Cette tension est appelée tension d'induction et a été découverte par Faraday en 1831.

4.3.1 Phénomène d'induction

Nous avons une spire et amenons une magnéte au spire. Le changement de flux par l'approche de l'aimant produira une tension dans ce spire. **Cette tension induite sera dirigée d'une telle façon que le changement est annihilé, donc le flux dans cette spire essayera de maintenir sa valeur originelle.**

Deuxième règle du tire-bouchon de Maxwell : *Le tire-bouchon est dirigé dans le sens du flux et quand le flux est augmenté on visse le tire-bouchon en dehors de la spire, quand le flux diminue, on visse le tire-bouchon dans le spire. LA SPIRE REAGIT COMME SOURCE.*

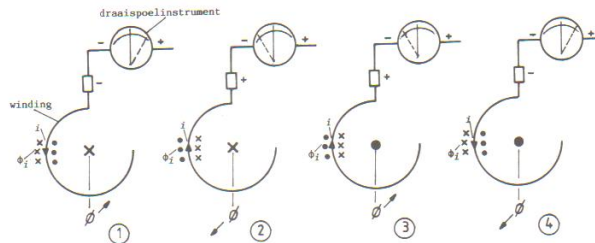


FIGURE 4.5 – tension induite

La grandeur de cette tension est calculée avec le loi de Lenz.

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

- N : nombres de spires
- $d\Phi$: changement du champ magnetique
- dt : changement du temps

4.3.2 Phénomène d'inductance

Un courant qui circule à travers une bobine qui n'a aucune interaction magnétique, produira un champ magnétique, donc flux, lui même quand le

courant change. Maintenant il faut tenir compte avec l'état de cette bobine. On tiendra compte avec l'état pendant les calculs de la tension induite.

$$e = -L \frac{di}{dt}$$

Donc maintenant ce n'est pas le changement du champ mais le changement du courant qui est l'origine de la tension induite. Le coefficient d'inductance est calculé si dessous

$$\begin{aligned} e &= -N \frac{d\Phi}{dt} \\ &= -N \frac{d(SB)}{dt} \\ &= -N \frac{d(S\mu H)}{dt} \\ &= -N \frac{d(S\mu NI/l)}{dt} \\ &= (-N^2 S\mu/l) \frac{di}{dt} \end{aligned}$$

Donc le coefficient est réflété par

$$L = \frac{N^2 S\mu}{l}$$

- N : nombres de spires
- μ : permeabilité magnétique
- S : section de la bobine
- l : longueur de la bobine

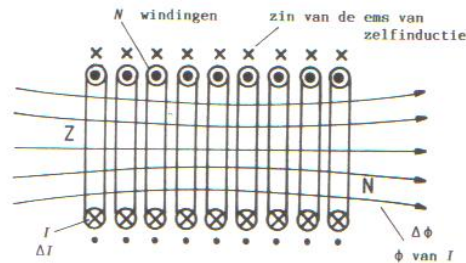


FIGURE 4.6 – inductance dans une spire

4.4 Courants de Foucault

Courants de Foucault sont des courants qui se forment dans des matériaux conducteurs dans lesquels se manifestent des changements de flux

Ces courants réchaufferont le matériau et doivent être évités. On retrouve ce problème dans la construction des transformateurs qui sont des produits lamellaire.

Le phénomène se produit parce qu'on travaille dans un plein matériau. Plein matériau veut dire qu'on aura un circuit fermé. On a aussi un champ magnétique changeant donc il y aura des tensions induites. Parce qu'on a une tension dans un circuit fermé on a des courants dans ce circuit qui vont réchauffer le matériau.

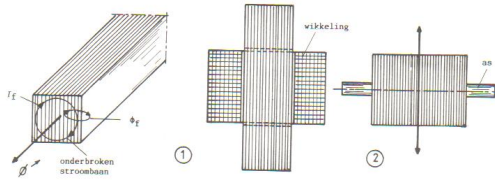


FIGURE 4.7 – courants Foucaults

4.5 Quelques applications de magnétisme

4.5.1 Générateur électrique

Si nous bougeons un conducteur dans un champ magnétique ou nous changeons le champs magnétique il y a toujours une tension induite. Suppose qu'on met un fil sur un rotor et ce rotor tourne dans un champ magnétique. Par le champ magnétique changeant il y aura une tension induite dans ce fil. **Ceci est le principe de base d'un générateur électrique.** On obtient le sens de la tension avec l'aide de la *régle du main droit*, la largeur par un petit calcul. Nous faisons le calcul pour une spire dans un champ constant. Nous bougeons la spire perpendiculaire sur ce champ.

$$E = -\frac{d(BS)}{dt} = -\frac{d(Blx)}{dt} = -Bl\frac{dx}{dt} = -Blv$$

paume	ligne de flux (B)
pouce	vitesse (v)
doigts	force électromotrice induite (E)

Attention : les trois composées se sont placées perpendiculairement.

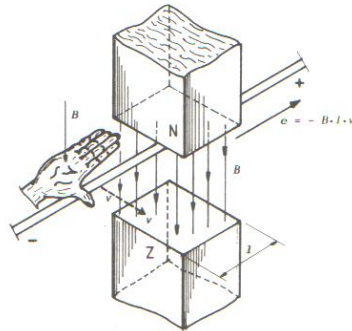


FIGURE 4.8 – règle du main droite

4.5.2 Moteur électrique

Quand un conducteur est parcouru par du courant, un champ magnétique sera produit. Si nous mettons un conducteur qui est parcouru par du courant dans un champ magnétique il y aura une force. Suppose que l'on met un conducteur qui est parcouru par du courant sur un rotor et ce rotor est mis dans un champ magnétique le rotor va tourner en conséquence de cette force. **Ceci est le fonctionnement de base d'un moteur électrique.**

Une force pareille est appelée la force de Lorenz et la grandeur est $F = Bli$. On obtient le sens par le *règle du main gauche*.

Aussi dans ce cas ci les composées se retrouvent perpendiculaires.

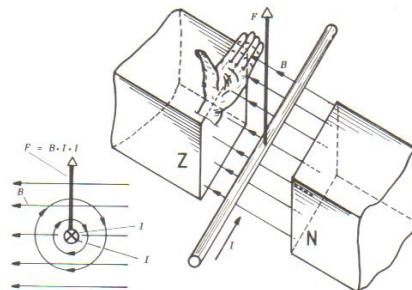


FIGURE 4.9 – règle du main gauche

paume	lignes de flux (B)
doigts	courant (i)
pouce	force(F)

4.6 Connection de bobines

4.6.1 Connection en série

Si nous mettons des bobines en série le courant dans chaque élément est exacte le même et le tension est divisé parmi les différentes éléments.

$$U = L \frac{di}{dt} = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt}$$

Donc

$$L \frac{di}{dt} = (L_1 + L_2)$$

De ceci suit que $L = L_1 + L_2$ ou en général

$$L_s = \sum_{k=1}^n L_k$$

4.6.2 Connection en parallèle

Dans le cas de un connectone en parallèle le courant est divisé et la tension sur chaque élément est la même.

$$\begin{aligned} U &= L \frac{di}{dt} \\ U_1 &= L_1 \frac{di_1}{dt} \\ U_2 &= L_2 \frac{di_2}{dt} \\ \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} &= \frac{di}{dt} \\ \frac{U_1}{L_1} + \frac{U_2}{L_2} &= \frac{U}{L} \end{aligned}$$

On sait que $U = U_1 = U_2$, on obtient donc

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

En général

$$\frac{1}{L_p} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k}$$