Chapitre II

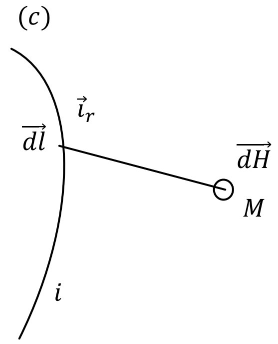
Lois fondamentales de l'électrotechnique nécessaires pour l'étude de machines électriques.

Machines tournantes (Définition) : ce sont des convertisseurs électromécaniques rotatifs qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique et inversement. On a 2 catégories :

a) Machines à courant continu (MCC)
b) Machines à courant alternatif - Synchrones.
 - Asynchrones.

Le fonctionnement des machines électriques est basé sur trois lois fondamentales :

- La loi de Biot et Savart ou théorème d'Ampère.
- L'expression de la force de Laplace ou de Lorentz.
- Loi de l'induction de Faraday ou de Lenz.



II.1 Loi de Biot et Savart :

Considérons un circuit (c) parcouru par un courant i

⇨ Création d'un champ magnétique autour de ce circuit.

$$\overrightarrow{dh} = \frac{i}{4\pi} \cdot \frac{\overrightarrow{dl} \wedge \overrightarrow{ir}}{r^2}$$

$$dh = \frac{i}{4\pi} \cdot \frac{dl}{r^2} \cdot \sin\alpha$$

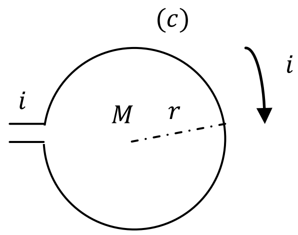
Rmq : le sens du champ magnétique est donné par 'observateur d'Ampère.

L'unité de champ magnétique (At/m).

Exemple (TD): Champ crée par une spire circulaire

Soit une spire (c) de rayon r parcouru par un courant i.

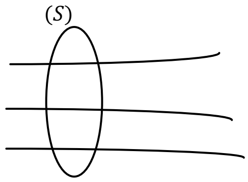
Trouver l'expression e la direction du champ magnétique H au centre M.



Théorème d'Ampère :

Considérons le cas où les conducteurs sont parcourus par des courants traversant une surface S

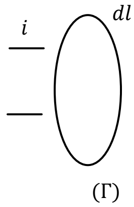
$$\oint_{(c)} \vec{h} \cdot \vec{dl} = \iint_{(s)} \vec{J} \cdot \vec{ds} + \frac{d}{dt} \iint_{(s)} \vec{D} \cdot \vec{ds}$$



$$\oint_{(c)} \vec{h} \cdot \vec{dl} = \sum_{k=1}^{n} I_k$$

Exemple 1 : Cas d'un circuit comprenant un bobinage

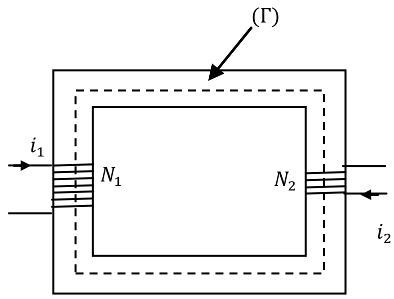
- Soit un circuit de spires parcouru par un courant i.



Ce circuit crée un champ magnétique $\vec{H}$ le long d'une ligne d'induction (Γ) fermé.

$\oint_{(c)} \vec{h} \cdot \vec{dl} = n \cdot i$; $F = n \cdot i$: s'appelle force magnétomotrice F.m.m (A, At).

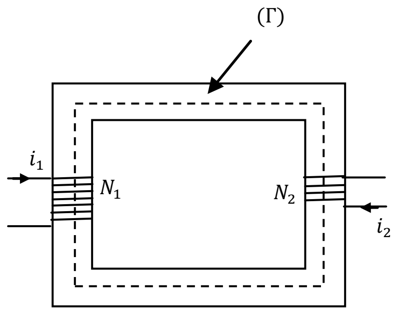
Exemple 2 : cas d'un transformateur. Circuit homogène.



D'une façon générale :

$$\oint_{(c)} \vec{h} \cdot \vec{dl} = \sum_{k=1}^{n} n_k \cdot I_k$$

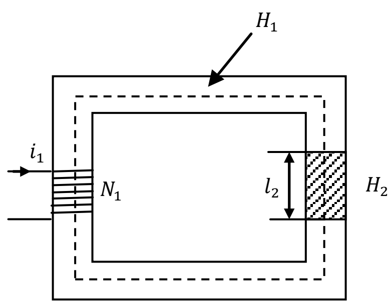
$$\oint_{(\Gamma)} \vec{h} \cdot \vec{dl} = n_1 \cdot n_2 \Rightarrow H \cdot l_m = n_1 \cdot i_1 + n_2 \cdot i_2$$



$$H \cdot l_m = n_1 \cdot i_1 - n_2 \cdot i_2$$

Circuit non homogène (deux matériaux différents)

$$H \cdot l_m = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2$$



Relation B-H : courbe de magnétisation dans un milieu saturable :

Le vecteur induction magnétique ou densité de flux magnétique

$B = \frac{\Phi}{S} \Rightarrow \Phi = B \cdot S$ B : (Tesla ,T ou Wb/m^2)

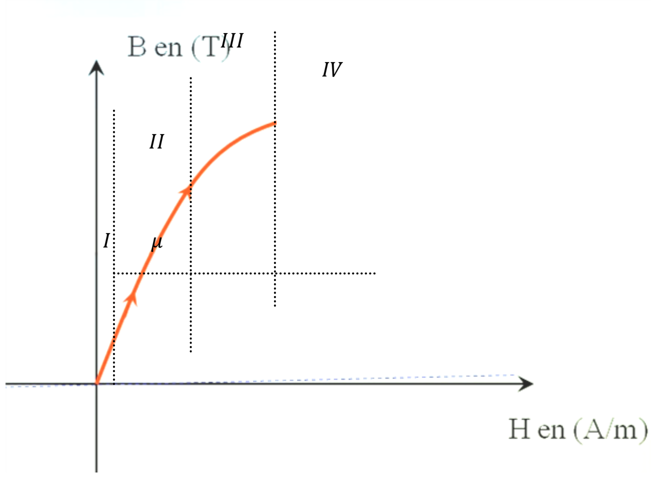
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H}$$

μ_0 : perméabilité du vide, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m $= C^{te}$

μ_r : perméabilité relative.

La perméabilité des matériaux férromagnétiques est très élevée et très variable. L'état magnétique de ces matériaux est définit par une courbe représente B en fonction de H : courbe de magnétisation.

Cette caractéristique peut être devisée en quatre zones :



Zone I : coude inférieure.

Zone II : partie linéaire $= C^{te}$; μ : tangente de la droite.

$$B = \mu \cdot H \Rightarrow \mu = \frac{B}{H} \text{ donc } \quad B \uparrow \Rightarrow H \uparrow$$

Zone III : coude de saturation.

Zone IV : zone de saturation $H \uparrow \Rightarrow B = C^{te}$

Rmq : si on considère le rémanent :

$B = \mu \cdot H + B_r$ avec B_r : induction rémanente.

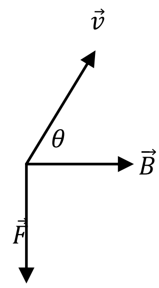
Force exercée par une induction sur un courant – Expression de Lorentz :

Enoncé : la conversion d'énergie électromécanique dans une machine repose sur une loi simple, exprimant qu'une induction $\vec{B}$ exerce une force sur toute charge animée de vitesse. Comme le courant électrique est une circulation de charges électriques (électrons) et qu'une induction magnétique résulte de la circulation de courants.

Expression de Lorentz :

La force $\vec{F}$ de Lorentz qui s'exerce sur une charge électrique q

animée d'une vitesse $\vec{v}$ soumise à une induction magnétique $\vec{B}$ est :



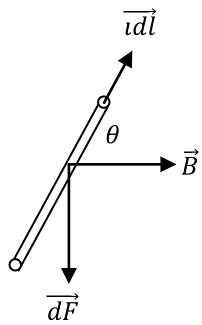
$\vec{F} = q(\vec{v} \wedge \vec{B}) \Rightarrow F = qvB\sin\theta$

Expression de Laplace :

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = i\,dt$$

$\overrightarrow{dF} = i\,\overrightarrow{dl} \wedge \vec{B}$ (Expression de Laplace)

Exemple : cas d'un fil parcouru par un courant i



dF=idl·B·sinθ

si $\vec{B} \perp \overrightarrow{dl} \Rightarrow \sin\theta = 1$

$dF = idl\,B \Rightarrow F = Bli$

Rmq : si on a la présence en plus de $\vec{B}$ un champ électrique $\vec{E}$

$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$

Flux magnétique :

$\vec{B}$: vecteur induction ou densité de flux

$$\Phi = \iint_{(s)} \vec{B}\,\overrightarrow{dS} \Rightarrow \Phi = \vec{B}\,\vec{S} = B\,S\cos\theta$$

Si B est perpendiculaire au plan du circuit $\theta = 0$ et $\Phi = B\,S$ $\quad \Phi(Wb)$

Tension induite dans un circuit, induction électromagnétique

Chaque fois qu'il existe un mouvement relatif entre un champ magnétique et un conducteur, une tension est induite entre les extrémités u conducteur. La grandeur de cette f.em est proportionnelle à la vitesse de variation de couplage inductif

Couplage inductif : association d'un champ magnétique et un conducteur

Loi de Faraday de l'induction et de Lenz :

$$e = \frac{d\lambda}{dt}\ ;\ \lambda : \text{couplage inductif}$$

Dans les circuits bobinés : $\lambda = N\Phi$

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

Si : $\Phi = Cte \Rightarrow e = 0$

En réalité : $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$ $(Loi\ de\ Lenz)$

Loi de Lenz : Le sens de la f.e.m induite est tel qu'elle tend à s'opposer à la cause qui la produite.

F.e.m d'auto-induction

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

$Ni = Hl \Rightarrow H = \frac{Ni}{l}$

$B = \mu H, \Phi = BS$

$$e = \frac{N^2\mu S}{l}\frac{di}{dt} = \frac{N^2}{l/\mu S}\frac{di}{dt} = \frac{N^2}{\Re}\frac{di}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$e = L \cdot \frac{di}{dt}$: F.e.m d'auto-induction.

Avec :L : Coefficient d'auto-induction ou inductance et $\Re = \frac{l}{\mu S}$: la réluctance magnétique.