Chapitre 0

Le phénomène d'Auto-induction

(Suite et fin de la magnétostatique)

Plan :

I. Objectifs

- Décrire les causes et les conséquences du phénomène physique auto-induction.
- Donner les lois physiques qui permettent de calculer les grandeurs créées lors de l'auto-induction, telles que la force électromotrice auto-induite: e et le courant induit : i.
- Donner quelques exemples d'application où l'on utilise l'auto-induction.

II. Phénomène d'Auto-induction

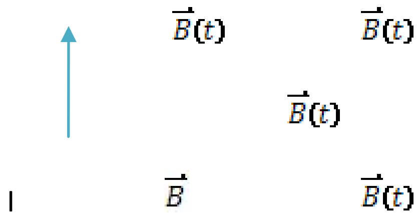
Ce phénomène apparait lorsque le flux magnétique varie en fonction du temps : Φ(t).
Il se manifeste par l'apparition d'une tension notée « e » : f.é.m. auto-induite, et d'un courant induit i.

$$\Phi(t) \Rightarrow création \begin{cases} f.e.m : "e" \\ courantinduit : "i" \end{cases}$$

Cause *conséquence*

Exemples :

1. un fil et une spire



Lorsque le courant passant dans le fil est variable en fonction du temps, la spire sera traversée par un flux magnétique variable : Φ(t), il se crée donc au sein de la spire une f.é.m. et un courant induit.

2. Un solénoïde

Avec I(t) traversant le solénoïde, un courant induit supplémentaire se crée et s'ajoute au courant I.

Comment peut-on avoir une variation dans le temps du flux magnétique : Φ (t) ?

$$\text{par def: } \Phi(\vec{B}) = \iint \vec{B}.\vec{ds}_S$$

$$\Phi(\vec{B}) = \iint B ds \cos\alpha$$

Où $\alpha = (\overrightarrow{B}, \overrightarrow{ds})$

On a Φ(t) ssi

$$\begin{cases} \mathbf{B(t)}\text{(avoir I(t) qui créer B(t))} \\ \mathbf{S(t)}\text{(par translation du système dans le champs } \overrightarrow{B}) \\ \boldsymbol{\alpha}\mathbf{(t)}\text{ (par rotation du système dans le champ } \overrightarrow{B}) \end{cases}$$

III) Loi de Faraday

C'est la loi fondamentale de l'induction. Elle permet le calcul de la f.e.m « e » (et donc de i par la loi d'Ohm) d'une part en fonction du flux magnétique traversant le système, et d'autre part en fonction du champ électromoteur.

1. 1ière écriture de la loi de faraday :

   On a 2 expressions selon la durée de la variation.
   en effet :

   $$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\text{(variation lente du flux} \geq \text{quelque ms)}$$

   $$e = -\frac{d\Phi}{dt}\text{(Variation rapide} \leq \text{quelques μs)}$$

   Mathématiquement :

   $$\begin{cases} \dfrac{d\Phi}{\mathbf{dt}} = \mathbf{\Phi'(t)} = \text{ dérivée de }\mathbf{\Phi}\text{ à } t \\ \dfrac{\mathbf{\Delta\Phi}}{\mathbf{\Delta t}} = \dfrac{\mathbf{\Phi_f - \Phi_i}}{t_j - t_i} \end{cases}$$

   Où $t_f - t_i$ = (temps final-temps initial) = durée de la variation du flux.

2. 2ième écriture de la loi de Faraday (loi de Faraday localisée).

   Cette loi fait apparaitre une grandeur (qui se crée à l'échelle microscopique du circuit) et qui est le champ électromoteur $\overrightarrow{E_m}$

   En effet :

   $e = C(\overrightarrow{E_m})$: circulation de $\overrightarrow{E_m}$

   $e = \oint \overrightarrow{E_m}.\overrightarrow{dl}_{circuit}$ loi de faraday localisée

   remarque : $\overrightarrow{E_m}$ se crée localement sur chaque e- du circuit (conducteur) et fait donc déplacer ces e- : c'est le courant induit i.

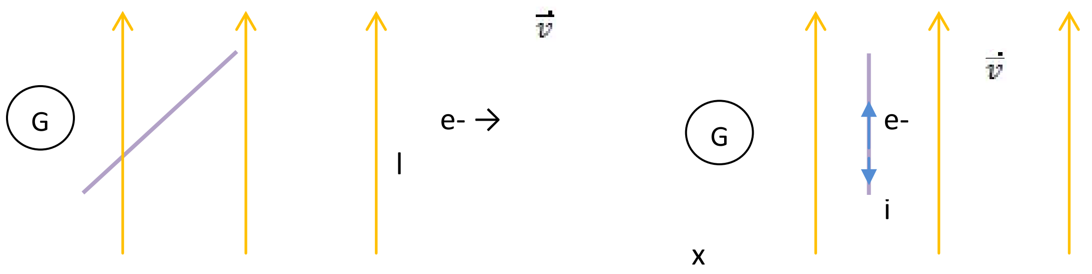
   On montre que :

$\vec{E}_m = \vec{v} \wedge \vec{B}$ et donc $e = \oint_{circuit} (\vec{v} \wedge \vec{B}).\vec{dl}$

$\vec{dl}$: Élément de longueur du circuit (orienté dans le sens arbitraire + pour un circuit fermé)

$\vec{v}$: vitesse de translation ou de rotation du circuit.

Mise en évidence du champs électromoteur $\vec{E_m}$



Un conducteur de longueur L se déplace avec une vitesse $\vec{v}$ constante sur des rails //.

L'ensemble est placé dans un champ $\vec{B}_{uniforme}$.

L'électron libre du conducteur animé d'une vitesse $\vec{v}$ et placé dans un champ magnétique $\vec{B}$, sera donc soumis a : $\vec{F}_m = q.\vec{v} \wedge \vec{B}$ (vue en magnétostatique, sup)

Cette force fait déplacer l'électron le long de la barre, ce qui provoque la création du courant induit. Cette force a le même effet qu'une force magnétique. On pose donc :

$$\vec{F}_e = \vec{F}_m$$

$$q.\vec{v} \wedge \vec{B} = q\vec{E}$$

D'où : $\vec{E}_m = \vec{v} \wedge \vec{B}$

Il se crée donc un champ électrique $\vec{E}_m$ suite au déplacement du conducteur, il y a par conséquent une tension e tel que :

$e = C(\vec{E_m}) =$ circulation de $\vec{E_m}$. (Loi électrostatique $\equiv \vec{E} = -\overrightarrow{grad}(V)$)

$e = \oint_{circuit} \vec{E}_m.\vec{dl} = \oint_{circuit} \vec{v} \wedge \vec{B}$

IV. Applications sur le phénomène d'Auto-induction.

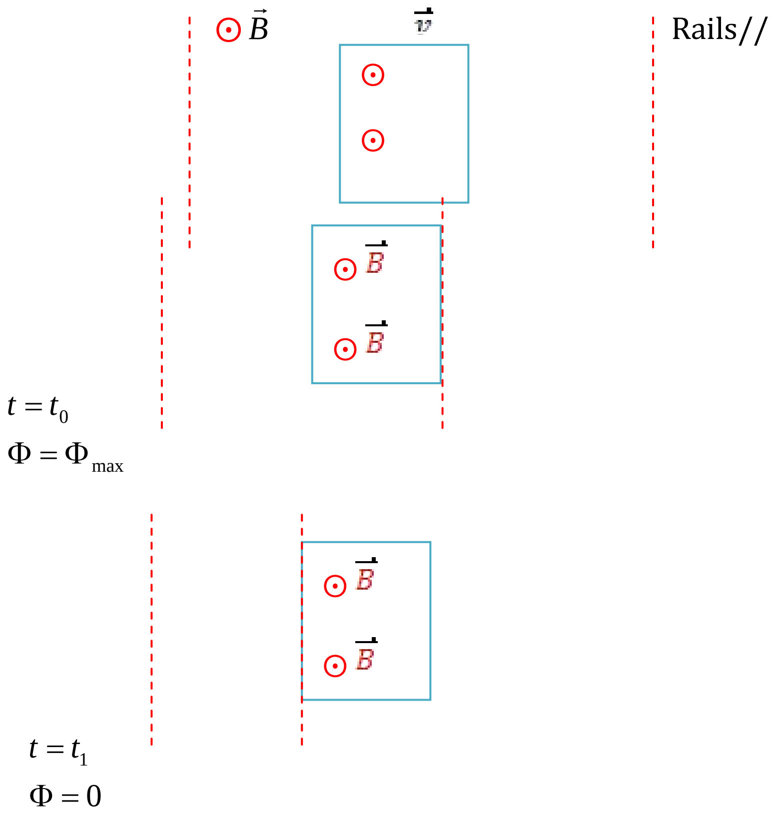
1. Alternateur (voir TD). avec α (t) ou α varie en fonction du temps (exo 3 série 1).
2. la Pince Ampère-métrique (voir exo 4 série 1).

3. <u>Mesure le champ magnétique</u> $\vec{B}$

3 a. <u>Principe de l'expérience</u>.

Déplacer un circuit ($\equiv$cadre de côté) dans une région où règne un champ $\vec{B}$ inconnu

La mesure de la quantité d'électricité Q traversant le cadre permet de remonter la valeur de B.



A $t = t_0$, le cadre est traversé par un maximum de lignes de $\vec{B}$

$$\Phi = \iint \vec{B}.\vec{ds} = BS = Ba^2$$

A $t = t_1$; aucune ligne de $\vec{B}$ ne traverse le cadre : $\Rightarrow$ flux nul $(\Phi_{t_1} = 0)$

Entre les deux instants t0 et t1 il y a eu variation de flux magnétique, il y a un phénomène d'auto-induction.

3 b. <u>Calcul de la f.e.m auto-induite</u>

Il s'agit d'une variation lente du flux, la loi de Faraday s'écrit donc :

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\left(\frac{\Phi_1 - \Phi_0}{t_1 - t_0}\right)$$

$$e = -\frac{(0 - Ba^2)}{t_1 - t_0} = \frac{Ba^2}{t_1 - t_0} > 0$$

3 c. <u>Calcul du courant induit</u>

On applique la loi d'Ohm

e = $ri = \frac{Ba^2}{t_1 - t_0}$

D'où :

$$\underbrace{i(t_1 - t_0)}_{Q} = \frac{Ba^2}{r}$$

La quantité d'électricité Q est mesurée par un galvanomètre balistique (mesure des Coulombs).

3 e. Signe de i :

Lorsque le cadre rentre dans le champ magnétique le flux augmente, la variation du flux étant positive la f.é.m. sera négative et le courant aussi. I est dans le sens opposé au sens arbitraire (+).

Lorsque le cadre sort du champ magnétique le flux diminue, la variation du flux étant négative, la f.é.m. sera donc positive et le courant aussi, i est dans le sens arbitraire (+).

Autrement dit : $\Phi \nearrow \Rightarrow i<0$ et $\Phi \searrow \Rightarrow i>0$

Conclusion : (A retenir)

* Il y a auto-induction lorsque le circuit est traversé par un flux magnétique variable en fonction du temps.

* Loi de Faraday, calcul de la f.é.m. « e » :

$$\begin{cases} e = -\dfrac{d\Phi}{dt} \\ e = \oint_{circuit} \vec{E}_m.d\vec{l} = \oint_{circuit} (\vec{v} \wedge \vec{B}).d\vec{l} \end{cases}$$

* Calcul du courant induit : (Loi d'Ohm)

$i = \dfrac{e}{R}$ Où R est la résistance totale du circuit.