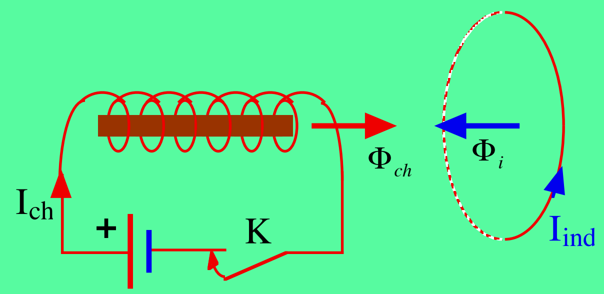
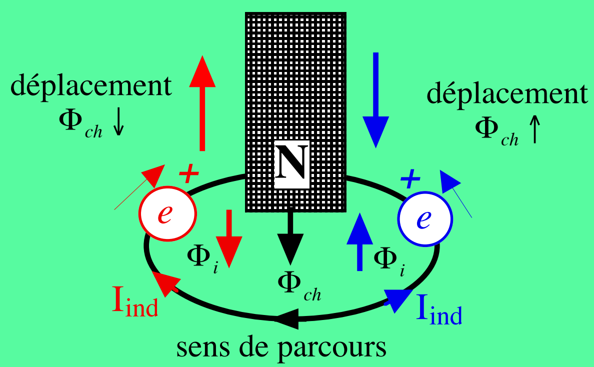
Phénomènes d'induction électromagnétique

Loi de FARADAY *: Toute variation de flux à travers un circuit électrique donne naissance à une f.e.m. dite "induite" qui sera d'autant plus importante que la variation de flux sera plus rapide.*

Loi de LENZ *: Le courant induit s'oppose par ses effets, à la cause qui lui a donné naissance.*



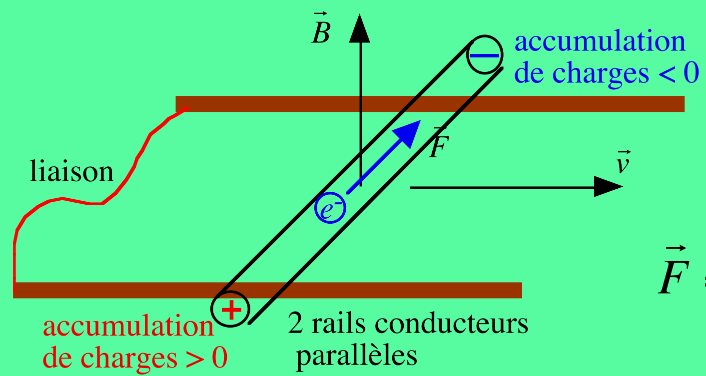
A la fermeture de K, $\Phi_{ch}\uparrow$
donc Φ_i s'oppose à lui.



La f.e.m. induite dans un circuit linéaire fermé s'écrit : $\boxed{e = -\dfrac{d\Phi_c}{dt}}$ *où* $\boldsymbol{\Phi_c}$*, flux à travers ce circuit, est compté positif s'il entre par une face SUD.*

Phénomènes d'induction électromagnétique

Cas particulier du déplacement d'un conducteur dans un champ stationnaire



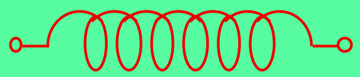
$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = (-e)\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Quelle que soit la forme du conducteur, celle de son déplacement et la répartition du champ, on montre que la f.e.m. induite s'écrit : $|e| = \frac{d\Phi_c}{dt} = B.\frac{dS}{dt} = B.l\frac{dx}{dt} = B.lv$ *avec* Φ_c *flux coupé par le conducteur. Le signe de e pouvant être donné par :* $\vec{E} = l\vec{v} \wedge \vec{B}$

Phénomènes d'induction électromagnétique
Auto-induction

Le flux $\boldsymbol{\Phi_c}$ *à travers un circuit linéaire fermé parcouru par un courant I s'écrit par définition :*
$\Phi_c = L\,I$ *. Ce coefficient* ***L*** *est appelé* " ***Inductance*** *(propre)*" ou "*coefficient d'auto-induction*".
Il est strictement positif et s'exprime en ***Henry (H).***

Symbole :

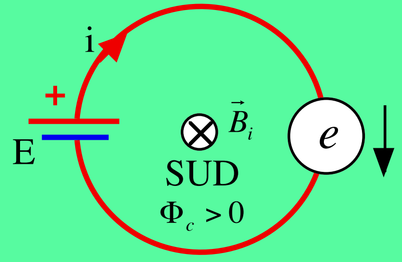


La f.e.m. d'auto-induction sera donc :

$$\boxed{e = -\frac{d\Phi_c}{dt} = -L\frac{di}{dt}}$$

Si R est la résistance du circuit, la loi des mailles donne :

$$E = Ri - e = Ri + L\frac{di}{dt}$$



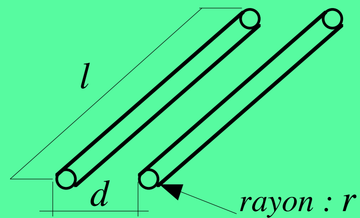
Phénomènes d'induction électromagnétique
Auto-induction

Quelques exemples de calcul d'inductance

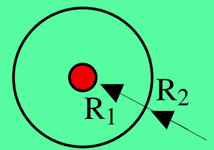
Bobine longue : $L = \mu_0 \dfrac{N^2 S}{l}$

Bobine autour d'un circuit magnétique de réluctance $\mathcal{R}$: $L \approx \dfrac{N^2}{\mathcal{R}}$

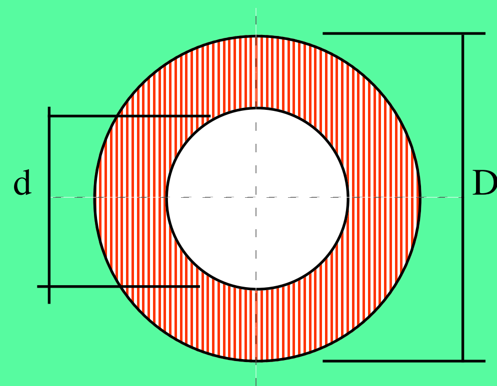
2 conducteurs parallèles : $L = \dfrac{\mu_0 l}{\pi}\left[LN\left(\dfrac{d}{r}\right) + 0{,}5\right]$



Conducteur coaxial de longueur l : $L = \dfrac{\mu_0 l}{2\pi} LN\left(\dfrac{R_2}{R_1}\right)$



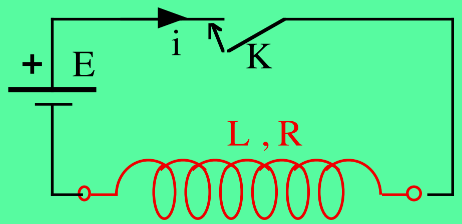
Bobine torique : $L = \dfrac{\mu_0 N^2}{4}\left(\sqrt{D} - \sqrt{d}\right)^2$



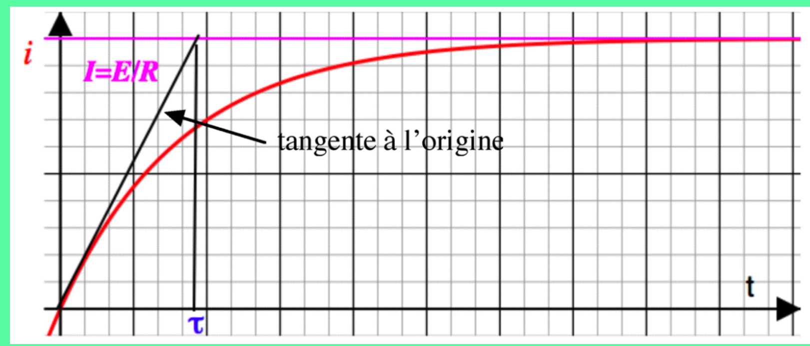
Phénomènes d’induction électromagnétique
Auto-induction

Evolution transitoire du courant dans une inductance

Etablissement du courant :

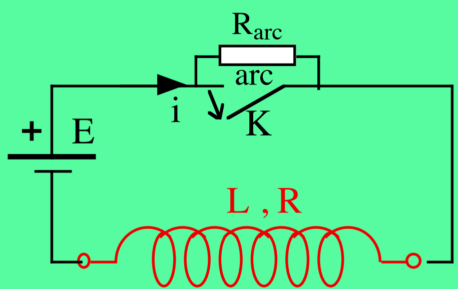


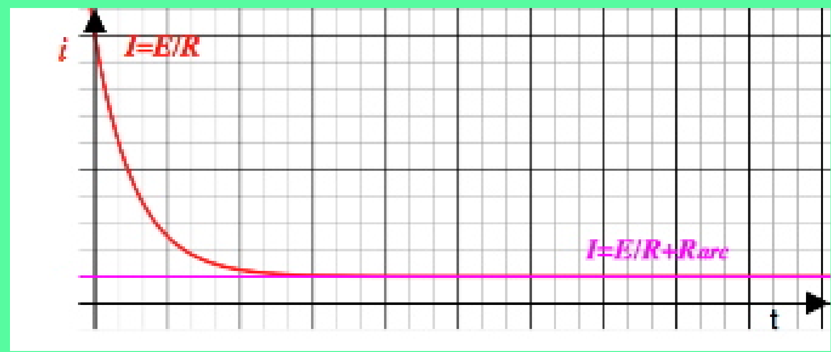
$$i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$$



Rupture du courant :

$$i(t) = \frac{E}{R + R_{arc}}\left(1 + \frac{R_{arc}}{R}\exp\left(-\frac{t}{\tau'}\right)\right) \; avec \; \tau' = \frac{L}{R + R_{arc}} << \tau$$





Phénomènes d'induction électromagnétique
Induction mutuelle

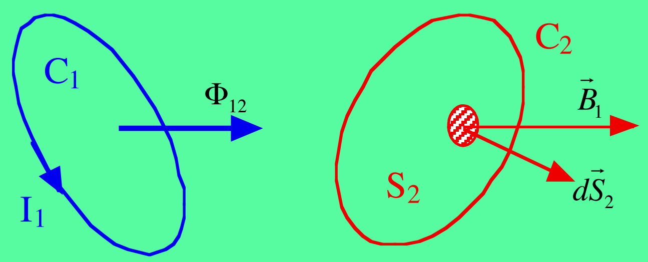
Le flux $\boldsymbol{\Phi_{12}}$ *créé par* C_1 *à travers* C_2 *s'écrit par définition :* $\Phi_{12} = M_{12} I_1$

Inversement, le flux créé par C_2 *à travers* C_1 *s'écrit :* $\Phi_{21} = M_{21} I_2$.

On montre que : $\boldsymbol{M_{12} = M_{21} = M}$.

Ce coefficient $\boxed{M = \dfrac{\Phi_{12}}{I_1} = \dfrac{\Phi_{21}}{I_2}}$ *est appelé* ***"coefficient d'induction mutuelle"***.

Il est algébrique et s'exprime en ***Henry (H).***



Les f.e.m. d'induction mutuelle s'écriront donc :

$$e_1 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M\frac{di_2}{dt}$$

$$e_2 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M\frac{di_1}{dt}$$

Phénomènes d'induction électromagnétique
Couplage de deux circuits

Deux circuits sont couplés magnétiquement si une part non négligeable du flux qui traverse l'un traverse l'autre. Les f.e.m. induites s'écrivent alors :

$$e_1 = -L_1\frac{di_1}{dt} - M\frac{di_2}{dt}$$
$$e_2 = -M\frac{di_1}{dt} - L_2\frac{di_2}{dt}$$

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \end{pmatrix} = -\begin{pmatrix} L_1 & M \\ M & L_2 \end{pmatrix} . \frac{d}{dt}\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix}$$

Si le couplage est parfait : $M = L_1\frac{N_2}{N_1} = L_2\frac{N_1}{N_2}$ D'où $M^2 = L_1 L_2$

Si le couplage est imparfait : $M^2 < L_1 L_2$

On définit alors le coefficient de couplage :

$$k = \frac{|M|}{\sqrt{L_1 L_2}} \qquad 0 \le k < 1$$

et coefficient de dispersion de Blondel :

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} = 1 - k^2$$

Energie emmagasinée dans un matériau magnétique

Expression générale : *Lorsqu'une inductance L est parcourue par un courant I, une énergie magnétique est stockée dans le matériau environnant. Elle s'écrit :*

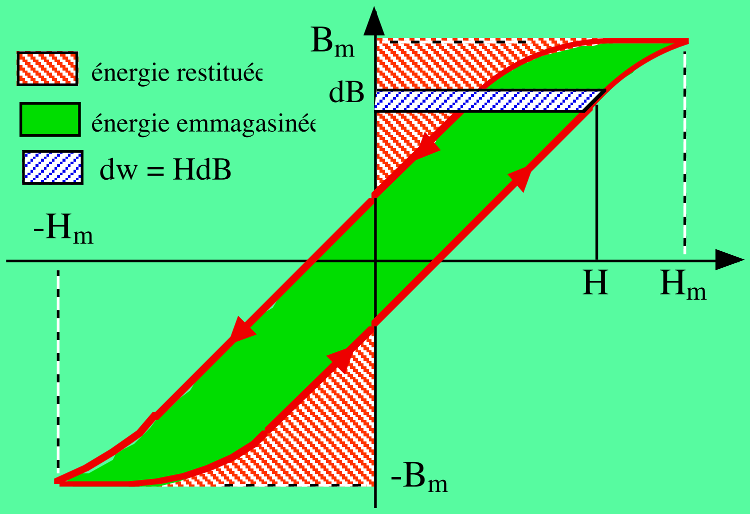
$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

Soit par unité de volume :

$$w = \int_0^H B.dH = \frac{1}{2}\mu H^2 = \frac{1}{2} BH = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu} \quad avec\ B = \mu H$$

Energie perdue par hystérésis :

La surface du cycle représente l'énergie emmagasinée par unité de volume du matériau.



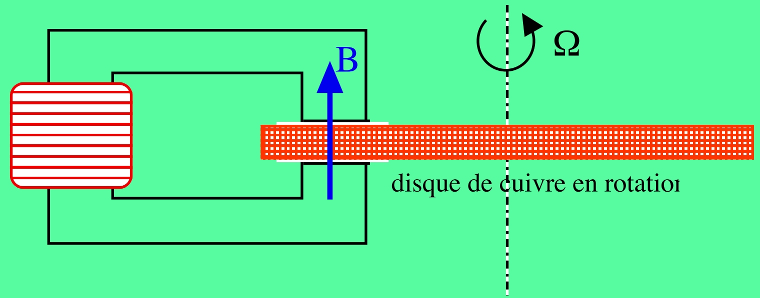
Courants de Foucault

Cause : *Toute masse d'un matériau conducteur de l'électricité, soumis à un **flux magnétique variable** avec le temps, est le siège de **courants induits** appelés « courants de Foucault ». Ceux-ci produisent des pertes par **effet Joule** qui chauffent le matériau.*
Ces pertes sont proportionnelles aux carrés de la fréquence et de l'amplitude de l'induction, mais inversement proportionnelles à la résistivité du matériau.

Utilité des courants de Foucault

Effet de freinage :

Même si l'induction est constante, chaque zone du disque voit le flux la traversant varier quand elle passe sous les pôles.

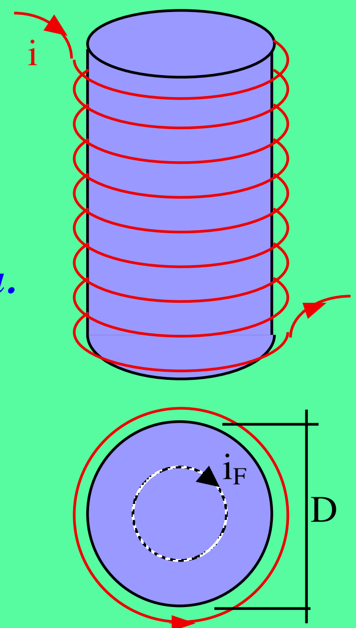


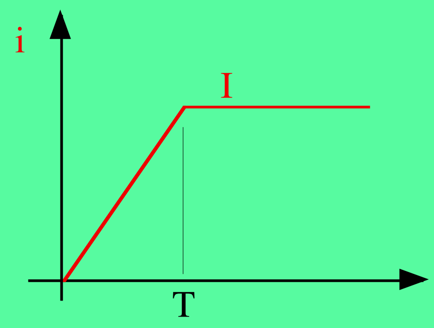
Courants de Foucault

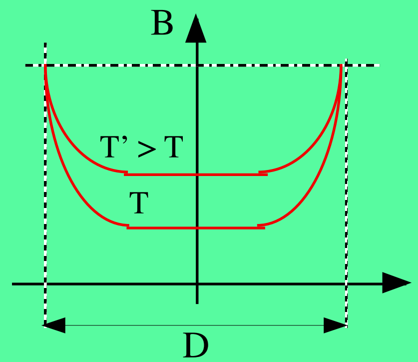
Utilité des courants de Foucault

Effet de peau magnétique :

Pour des fréquences élevées, les courants de Foucault et l'induction restent localisés à la surface du noyau. Cela permet une chauffe localisée du matériau qui conduit aux procédés de trempe superficielle.







évolution de B dans le noyau