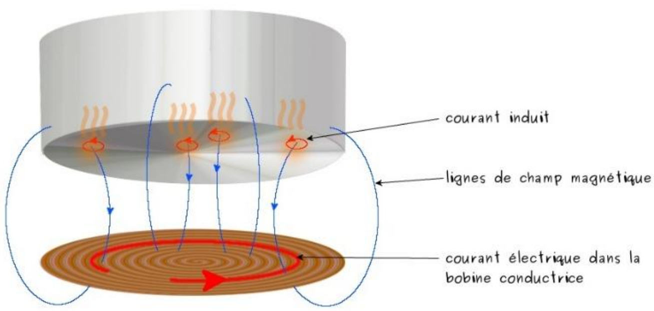
Chapitre 24
Induction électromagnétique
1ère partie

Chargeur sans fil



Plaque à induction

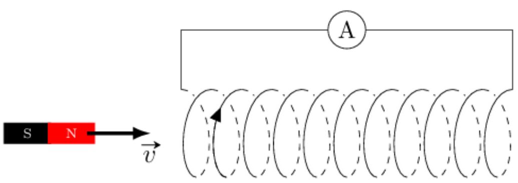
Train à sustentation magnétique

Le cours

Ce chapitre est une première approche du phénomène d'induction à la base de la conception d'un grand nombre de systèmes, comme les transformateurs électriques, la quasi-totalité des systèmes de production d'électricité, les plaques à induction ou encore certains systèmes de freinage.

I. Mise en évidence expérimentale du phénomène

Une bobine reliée à un ampèremètre et un aimant droit sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.

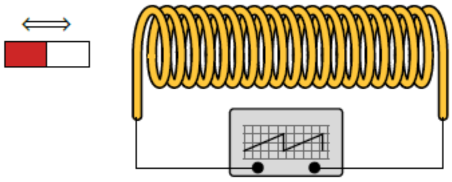


Observations :

- En l'absence de mouvement, aucun courant n'est observé.
- Lorsque la bobine et l'aimant sont en mouvement relatif, un courant électrique, dit **induit**, circule dans la bobine.
- Le sens du courant électrique dans la bobine change si le sens du déplacement est inversé ou si les pôles de l'aimant sont permutés.
- L'intensité I du courant dépend de la vitesse relative de la bobine et de l'aimant : elle est d'autant plus grande (en valeur absolue) que le mouvement est rapide.

Interprétation : On observe l'apparition d'un courant électrique lorsque la « quantité de champ magnétique » traversant la bobine varie. L'existence du courant n'est pas liée à la présence d'un champ magnétique, mais bien à sa variation au sein du circuit.

On peut reprendre cette expérience en mesurant cette fois la tension aux bornes de la bobines.



Cette fois-ci, on observe l'apparition d'une tension électrique aux bornes de la bobine, et cela lorsque bobine et aimant sont en mouvement relatifs.

Si un courant induit apparaît c'est que « quelque chose met les charges en mouvement ». Tout se passe comme si un générateur délivrant une tension était présent dans le circuit.

Le phénomène d'induction électromagnétique se manifeste par l'apparition d'une force électromotrice, grandeur homogène à une tension électrique, dans un circuit soumis à un champ magnétique malgré l'absence de générateur.

Ce phénomène peut notamment s'observer :

- **Dans un circuit fixe plongé dans un champ magnétique variable : induction de Neumann** (aimant mobile, bobine fixe)
- **Dans un circuit mobile plongé dans un champ stationnaire : induction de Lorentz** (aimant fixe, bobine mobile)

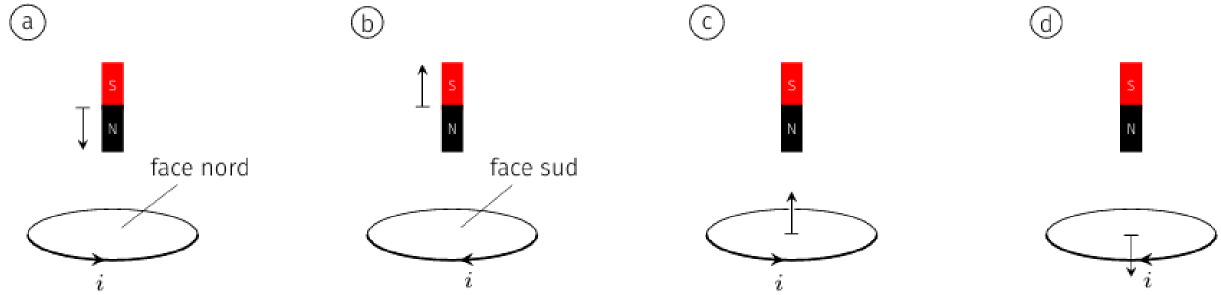
II. Lois de l'induction électromagnétique

1. Loi de Lenz ou loi de modération

Dans l'expérience précédente, on vient de voir que le courant et la tension changent de signe selon le sens de déplacement de l'aimant ou de la bobine. La loi de modération de Lenz va nous permettre de prédire le sens du courant induit ou de l'expliquer dans un circuit siège du phénomène d'induction.

Loi de Lenz : le phénomène d'induction s'oppose par ses effets à la cause qui lui donne naissance.

Dans les situations précédentes, on peut donc déterminer le sens positif du courant induit en considérant que celui-ci crée un champ magnétique tendant à modérer les variations du champ magnétique.



✍ AP 1

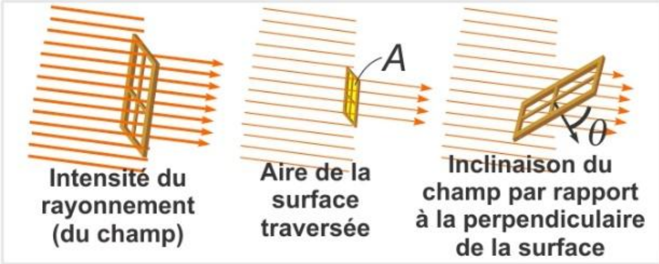
2. Induction et flux magnétique

Pour quantifier le phénomène, il faut introduire une nouvelle grandeur : le **flux du champ magnétique au travers d'une surface**. Dans les expériences précédentes, c'est la variation de ce flux qui est en fait à l'origine du phénomène d'induction.

Le flux d'une grandeur vectorielle à travers une surface permet de quantifier l'importance du « nombre de lignes de champ » qui traverse une surface. La notion du flux d'un champ vectoriel sera étendue à de nombreux autres champs l'année prochaine.

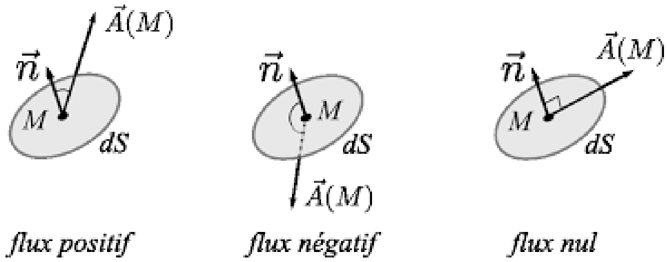
On peut comparer les lignes de champ émises par un aimant au rayonnement émis par le Soleil, et on pourrait vouloir mesurer ou quantifier le rayonnement qui traverse effectivement la surface de la fenêtre. On pourrait alors parler de « flux lumineux ». Le flux magnétique traversant une surface donnée est influencé par les mêmes facteurs qu'un flux lumineux traversant une fenêtre :

- *L'intensité du champ magnétique (analogue à l'intensité du rayonnement)*
- *La superficie de la surface traversée*
- *L'orientation de la surface par rapport à l'orientation du champ magnétique.*



Le flux est plus important au travers de la surface de gauche (plus grande surface et inclinaison optimale)

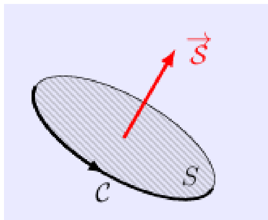
On calcule **le flux au travers d'une surface orientée** afin de tenir compte du sens selon lequel les lignes de champ traversent la surface.



Signe du flux d'un vecteur $\vec{A}$

Considérons une surface S s'appuyant sur un **contour fermé orienté plan** C.
Pour le flux magnétique, ce contour correspond généralement à la courbe fermée modélisant le circuit étudié.

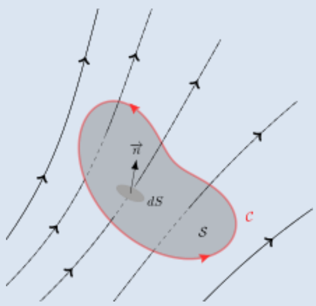
- On commence par orienter le contour C (on lui donne un sens) sur lequel s'appuie la surface S.
- On définit ensuite le vecteur surface $\vec{S}$ perpendiculaire à la surface, de sens donné par la règle de la main droite à partir de l'orientation du contour C *(les doigts de la main droite suivent le parcours, orienté de la base des doigts à l'extrémité, le pouce donne alors le sens du vecteur surface)* et de norme égale à la surface S.



Le flux magnétique Φ à travers une surface S orientée, plongée dans un champ magnétique est défini par :

$$\boldsymbol{\Phi = \iint_S \vec{B}(M).d\vec{S}\,(M)}$$

Unité : le weber Wb



Cas d'une surface plane et d'un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme sur toute la surface : $\Phi = \vec{B}.\vec{S}$

✍ ***AP 2 et 3***

3. Loi de Faraday

Loi de Faraday

La force électromotrice e induite dans un circuit fermé, orienté et traversé par un flux magnétique Φ est donnée par : $e(t) = -\frac{d\phi}{dt}$.

Elle s'exprime en V.

D'après la loi de Faraday, ce sont les variations de flux de champ magnétique qui sont à l'origine des courants induits. Si le flux du champ magnétique varie, on va observer l'apparition d'une **f.e.m induite**, et, si le circuit est fermé, l'apparition d'un **courant induit**, qui lui-même créera un **champ magnétique induit** s'opposant aux causes qui lui ont donné naissance.

Pour faire varier le flux, on peut faire varier au cours du temps la surface du circuit, le champ magnétique ou encore l'orientation relative de $\vec{B}$ et $\vec{S}$.

On distinguera les phénomènes mettant en jeu des circuits indéformables et fixes dans des champs magnétiques variables : on parle d'induction de Neumann et ceux mettant en jeu des circuits mobiles/déformables dans des champs magnétiques uniformes.

Le signe $-$ qui apparaît dans la loi de Faraday montre qu'il y a opposition entre la f.é.m. induite et la variation de flux, ceci est la traduction de la loi de Lenz : **les effets s'opposent aux causes.**

<u>Remarques</u>

- Lorsqu'un courant induit apparait dans un circuit, il devient source d'un champ magnétique dit induit. La loi de Faraday met en jeu le flux du champ magnétique total, c'est-à dire comprenant le champ magnétique induit. Le phénomène est donc complexe car les conséquences rétroagissent sur les causes. Cependant, dans la plupart des problèmes, nous considérerons que le champ magnétique induit est négligeable devant les autres sources de champ magnétique.

- Pour utiliser la loi de Faraday, tous les paramètres doivent être à variation continue : il faut donc pouvoir calculer « proprement » le flux dans le circuit.

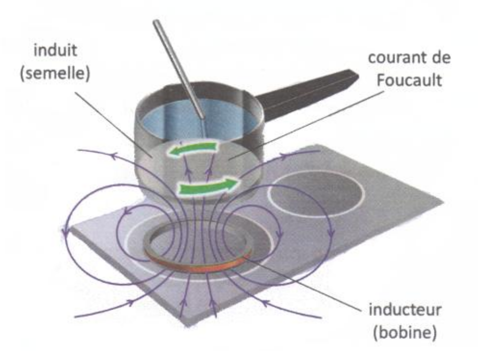
- Il existe des situations où la loi de Faraday ne permet pas de calculer la force électromotrice induite, on s'en remet alors à une formule plus générale, hors programme. En effet, ces exceptions s'expliquent par le fait que la loi de Faraday n'est pas la « vraie » équation fondamentale. Il s'agit en l'occurrence de l'équation de Maxwell-Faraday, l'une des quatre équations de Maxwell, lois fondamentales de l'électromagnétisme. La loi de Faraday se démontre à partir de l'équation de Maxwell-Faraday mais la démonstration nécessite une hypothèse de circuit fixe dans le référentiel d'étude. Ces exceptions, hors programme, concernent en fait des circuits de constitution variable.

On admet que la loi de Faraday reste valable pour les circuits de constitution constante mais également dans des systèmes type rails de Laplace (cf. TD.24).

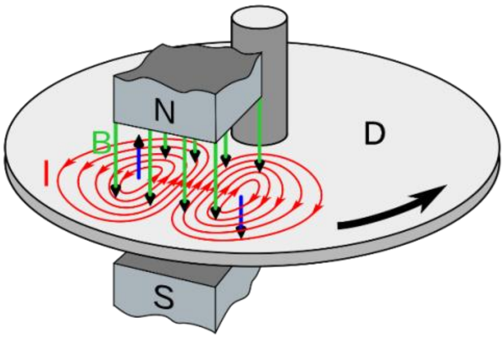
Application : *Les courants de Foucault*

Dans un conducteur massif non filiforme, ces courants induits sont appelés ***courants de Foucault.***

- *Dans un conducteur fixe avec champ variable, on peut utiliser ces courants pour chauffer le conducteur : chauffage par induction.*



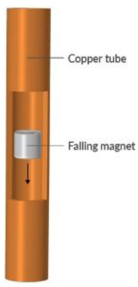
- *Dans un conducteur mobile avec champs stationnaires, on peut utiliser ces courants pour freiner le conducteur : freinage électromagnétique des camions et trains. . .*

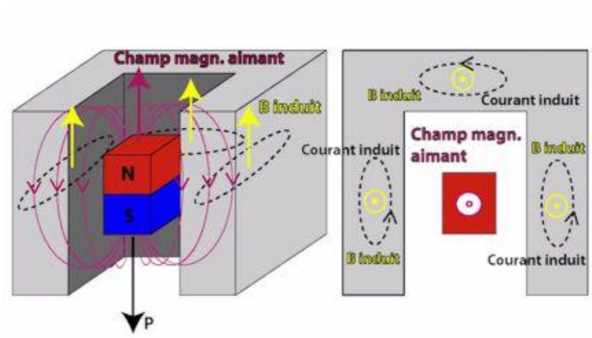


Frein à courants de Foucault sur un train japonais.

[Plus lente sera la chute | Physique à Main Levée]

Deux morceaux de métal, en apparence identiques, présentent un comportement différent lorsqu'on les fait glisser dans une cornière d'aluminium ou de cuivre. Celui qui tombe lentement est un aimant, mais ce n'est pas une force magnétique qui le freine car l'aluminium, comme le cuivre, n'est pas magnétique, ce sont les courants de Foucault qui sont à l'origine de ce freinage.





4. Modélisation électrique

Les variations de flux magnétique Φ au travers d'un circuit fermé se modélisent électriquement par l'ajout d'un générateur fictif dans le circuit, dont la force électromotrice induite est donnée par la loi de Faraday.

Il faut pour cela calculer le flux au travers de la surface s'appuyant sur le contour. Cela impose donc une orientation (arbitraire) du contour sur lequel s'appuie le circuit.

METHODE POUR CALCULER UNE FEM INDUITE ET UN COURANT INDUIT

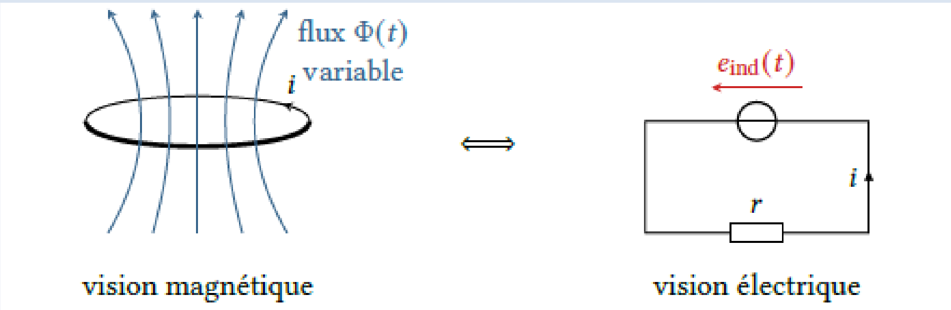
1. **Orienter arbitrairement le contour** du circuit siège d'un phénomène d'induction (flécher cette orientation sur un schéma et faire apparaître le vecteur surface)

2. **Calculer le flux du champ magnétique au travers la surface ainsi orientée.**

3. **Calculer la f.é.m avec la loi de Faraday $e(t) = -\frac{d\phi}{dt}$.**

4. **Faire le schéma électrique équivalent** faisant apparaître :
   - une source de tension $e(t)$, orientée comme le contour
   - le courant induit $i(t)$ (grandeur algébrique, choix du sens arbitraire)
   - la résistance électrique R du circuit.

5. **Relier $R, e(t)$ et $i(t)$ par une loi des mailles** pour déterminer i.

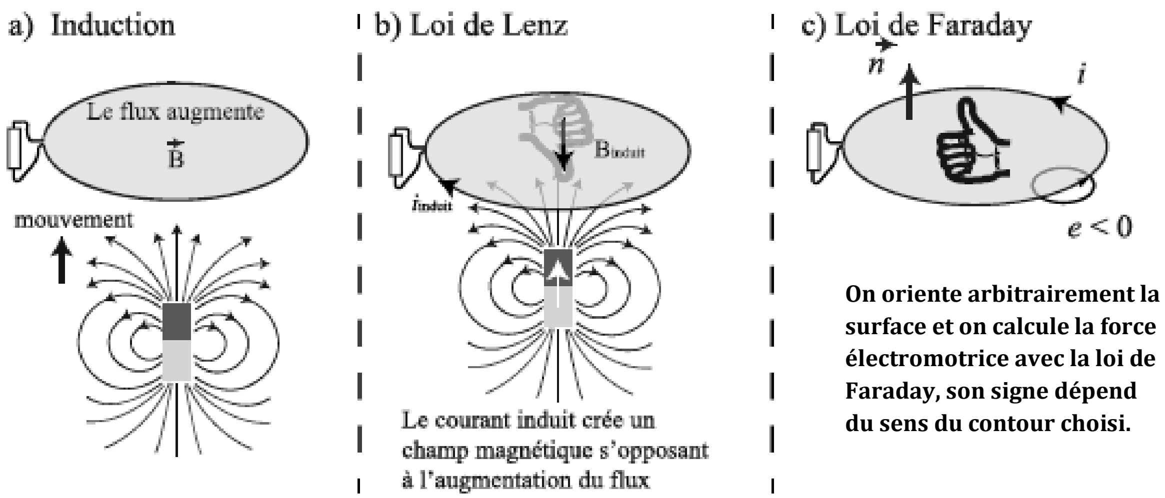


$e(t) = R\, i(t)$ *si on choisit i dans le sens du contour*

Le respect des conventions d'orientation est crucial pour la bonne mise en équation d'un problème d'induction. Ainsi, la première étape dans tout exercice consiste à orienter le contour.

Cette orientation impose :
- **Le sens du vecteur surface, et donc le signe du flux.**
- **Le sens de la f.é.m induite calculée avec la loi de Faraday**

Dans l'exemple ci-dessous, le flux du champ magnétique crée par l'aimant augmente lorsque ce dernier se rapproche du circuit (a). La loi de Lenz stipule alors qu'un courant induit est responsable d'un champ magnétique induit qui s'oppose à l'augmentation du flux du champ magnétique (b). Si on oriente la surface du circuit selon le champ magnétique imposé (c), la f.é.m induite e calculée avec la loi de Faraday dans le sens donné par la règle de la « main droite » est négative. Ce signe est conforme avec la loi de Lenz indiquant un courant induit positif d'orientation opposée au courant i orienté comme e.



AP 4

III. Auto-induction

1. Description du phénomène

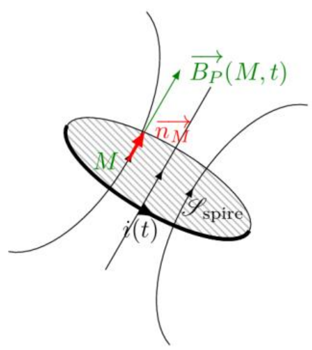
Un courant qui circule dans un circuit crée un champ magnétique. Si ce courant varie, le champ magnétique varie également. Ainsi, on est en présence d'un circuit plongeant dans un champ magnétique variable dont il est lui-même à l'origine. Le flux de ce champ variable peut donc être à l'origine de phénomènes inductifs : on parle d'**auto-induction**.

Ce phénomène existe dans tous les circuits, mais ne joue un rôle important que dans les bobines où les nombreuses spires enroulées permettent d'amplifier son effet (voir AP 5). Ils sont négligeables dans la plupart des autres cas.

2. Flux propre

Pour étudier les phénomènes inductifs dans un circuit, on distingue le champ propre, c'est-à-dire le champ magnétique créé par le circuit lui-même, du champ extérieur, créé par les autres sources à proximité (autre circuit, aimant, etc.)

Le flux propre Φ_p est le flux du champ propre $\overrightarrow{B_p}$ au travers du circuit lui-même. Le champ propre étant proportionnel au courant $i(t)$ dans le circuit, le flux propre est également proportionnel à $i(t)$.
L'orientation de $i(t)$ définit ici l'orientation du contour. La surface du flux est alors orientée par le sens du courant.



Le flux propre à travers un circuit orienté est tel que :

$$\boldsymbol{\Phi_p = L\, i(t)}$$

où L est une constante positive qui ne dépend que des caractéristiques du circuit, appelée inductance propre. Son unité est le Henry (H).

AP 5

Tout circuit parcouru par un courant variable est le siège d'un phénomène d'auto-induction et on devrait ajouter une fem auto-induite dans tous les circuits. Dans le cas d'un circuit ne comportant pas d'enroulement, le phénomène d'auto-induction est bien souvent négligeable. *(Ce phénomène a d'ailleurs été négligé dans l'application 4).* L'inductance d'une bobine sera donc de l'ordre de quelques mH. Si on veut des inductances plus importantes, il faudra insérer un noyau de fer dans la bobine.

Dans le cas d'un circuit contenant un bobinage, il faudra tenir compte du phénomène d'auto-induction.

3. Circuit électrique équivalent

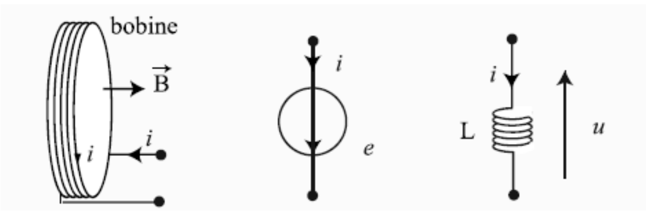
La loi de Faraday appliquée à un cas d'auto-induction donne pour un circuit indéformable ($L = Cte$) **:**

$$\boldsymbol{e_p = -\frac{d\Phi_p}{dt} = -L\frac{di}{dt}}$$

Le flux total étant $\boldsymbol{\phi = \phi_p + \phi_{ext} = L\, i(t) + \phi_{ext}}$, la loi de Faraday donne $\boldsymbol{e = e_p + e_{ext} = -L\frac{di}{dt} + \phi_{ext}}$.

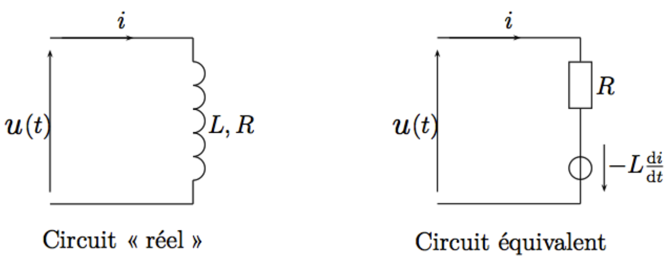
<u>Remarque</u> :

- La définition de l'inductance propre associée à la loi de Faraday permet de retrouver la relation courant-tension aux bornes d'une bobine en convention récepteur : $u = -L\frac{di}{dt}$.



- On a observé dans un circuit RL, le retard à l'établissement du courant, ce qui est conforme à la loi de Lenz, le courant induit s'oppose à la cause qui lui a donné naissance.

<u>**Etude d'une bobine en l'absence de champ extérieur :**</u>

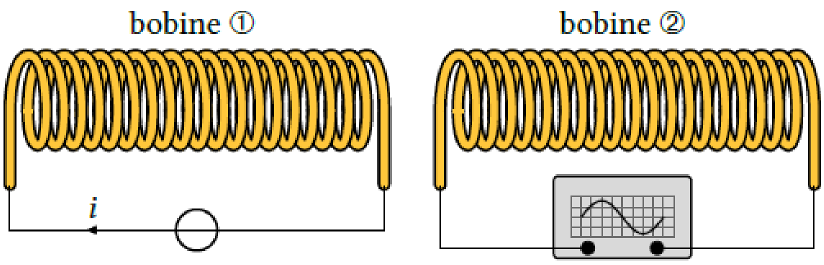


Faisons le bilan de puissance : $P_{reçue} = u(t)\, i(t) = Ri^2 + Li\frac{di}{dt} = Ri^2 + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li^2\right)$

L'énergie magnétique contenue dans un circuit siège d'un phénomène d'auto-induction est stockée dans la bobine et vaut $E_m = \frac{1}{2}Li^2$.

IV. Inductance mutuelle

Considérons deux bobines immobiles disposées en vis-à-vis. La bobine ① à droite (bobine primaire) est reliée à une source de tension sinusoïdale. La bobine ② à gauche (bobine secondaire) est reliée à un oscilloscope.



Observations :

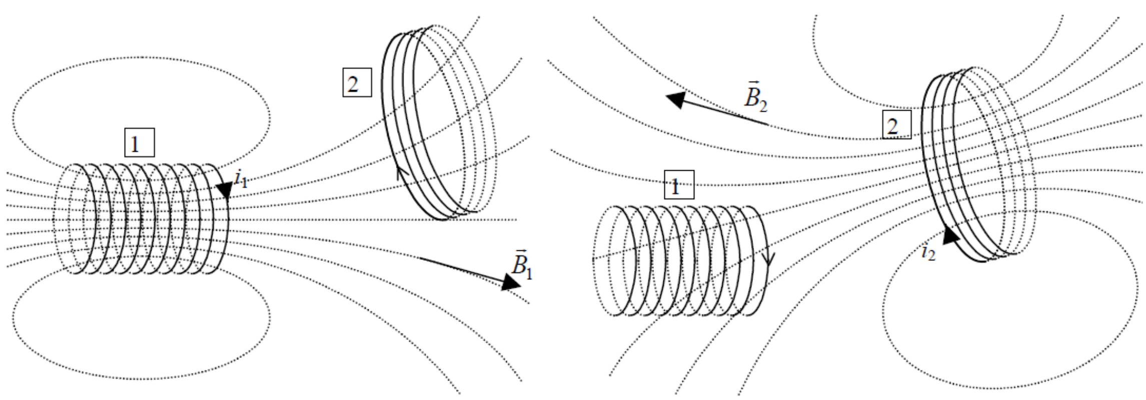
- On observe l'apparition d'une tension aux bornes de la bobine ②, oscillant à la même fréquence que celle imposée à la bobine ①.
- L'amplitude observée est d'autant plus grande que les bobines sont proches.

Interprétation : Le courant dans la bobine ① crée un champ magnétique variable. Ce champ a un flux non nul au travers de la bobine ②, d'où un phénomène d'induction. On parle de couplage inductif.

1. Couplage inductif et inductance mutuelle

Soient deux circuits orientés (1) et (2) tels que :

- Quand le circuit (1) est parcouru par une intensité de courant $i_1(t)$, le circuit (2) embrasse au moins une partie du champ magnétique $\overrightarrow{B_1}$ crée par (1),
- Quand le circuit (2) est parcouru par une intensité de courant $i_2(t)$, le circuit (1) embrasse au moins une partie du champ magnétique $\overrightarrow{B_2}$ crée par (2).



Les champs $\overrightarrow{B_1}$ et $\overrightarrow{B_2}$ étant respectivement proportionnels aux courants $i_1(t)$, et $i_2(t)$, les **flux de mutuelle inductance** sont tels que :

- Le flux du champ magnétique $\overrightarrow{B_1}$ à travers le circuit (2) : $\boldsymbol{\Phi_{1\to2} = M_{12}\, i_1(t)}$
- Le flux du champ magnétique $\overrightarrow{B_2}$ à travers le circuit (1) : $\boldsymbol{\Phi_{2\to1} = M_{21}\, i_2(t)}$

Nous admettrons que les deux coefficients M_{12} et M_{21} sont égaux (théorème de Neumann) et désignerons par **inductance mutuelle** M leur valeur commune : $\boldsymbol{M_{12} = M_{21} = M}$.

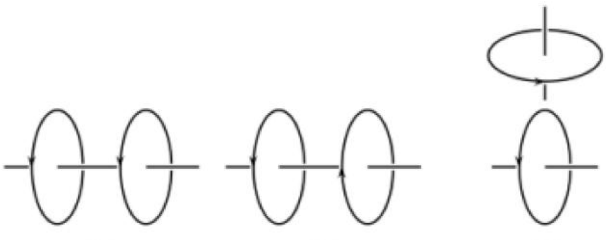
Le flux mutuel du champ magnétique créé par un circuit (1) à travers un circuit (2) orienté est tel que :

$$\boldsymbol{\phi_{1\to2} = M\, i_1(t)}$$

où M est une constante (positive ou négative) qui dépend de la géométrie des circuits et de leur position relative, appelée inductance mutuelle. Son unité est le Henry (H).

Remarques :

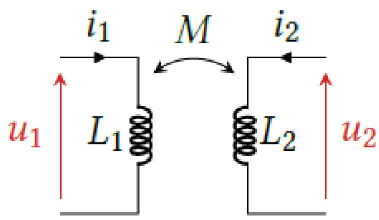
- Contrairement à l'inductance propre L toujours positive, l'inductance mutuelle M est une grandeur algébrique dont le signe dépend de l'orientation des deux circuits.
  Exemple : $M(a) > 0, M(b) < 0, M(c) = 0$



- **En général l'inductance mutuelle de deux circuits n'a de valeur notable que lorsqu'il s'agit de parties bobinées voisines. Le flux dans chaque bobine sera alors la somme du flux propre (auto-induction) et du flux de mutuelle inductance**.

2. Equations couplées

Considérerons deux bobines voisines d'inductance propre L_1 et L_2 et de résistances R_1 et R_2.



Equation électrique : expression du flux total dans chaque circuit

- Circuit 1 : $\phi_1 = \phi_{p1} + \phi_{2\to1} = Li_1 + Mi_2 \Longrightarrow u_1 = -e_1 + R_1 i_1 = \frac{d\phi_1}{dt} = L\frac{di_1}{dt} + M\frac{di_2}{dt}$
- Circuit 2 : $\phi_2 = \phi_{p2} + \phi_{1\to2} = Li_2 + Mi_1 \Longrightarrow u_2 = -e_2 + R_2 i_2 = \frac{d\phi_2}{dt} = L\frac{di_2}{dt} + M\frac{di_1}{dt}$

Bilan énergétique :

- Circuit 1 : $P_{1reçue} = u_1 i_1 = R_1 i_1^2 + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li_1^2\right) + Mi_1\frac{di_2}{dt}$

- Circuit 2 : $P_{2reçue} = u_2 i_2 = R_2 i_2^2 + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} L i_2^2\right) + M i_2 \frac{di_1}{dt}$

Au total : $P_{reçue} = R_1 i_1^2 + R_2 i_2^2 + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} L i_1^2 + \frac{1}{2} L i_2^2\right) + \frac{d}{dt}(M i_1 i_2)$

Energie magnétique de l'ensemble : $E_m = \frac{1}{2} L i_1^2 + \frac{1}{2} L i_2^2 + M\, i_1 i_2$

Ce dernier terme est lié au couplage magnétique.

3. Exemples de couplage

3.1 Bobines coaxiales

AP 6

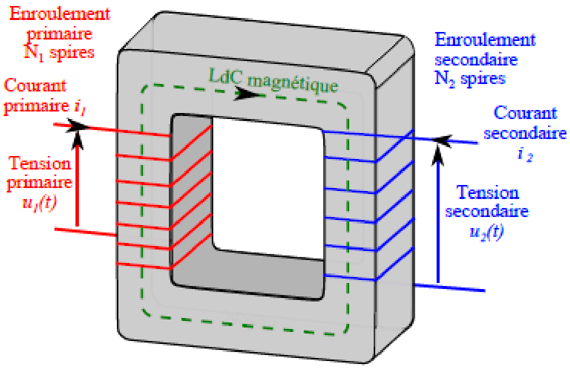
Deux circuits sont dits en **influence totale** lorsque toutes les lignes de champ créées par l'un passent au travers de l'autre.

On a toujours $|M| \leq \sqrt{L_1 L_2}$, le maximum étant atteint lorsque les circuits sont en influence totale.

3.2 Exemple d'un couplage parfait : Le transformateur idéal de tension

Un transformateur électrique est un quadripôle qui permet de modifier l'amplitude (ou la valeur efficace) de tensions et de courants alternatifs.

Il est constitué de deux enroulements de fils indépendants bobinés autour d'un tore de matériau ferromagnétique. Le matériau ferromagnétique est choisi pour sa capacité à canaliser les lignes de champ magnétique, de même qu'un tuyau canalise un liquide en écoulement.



- **L'enroulement de gauche**, constitué de N_1 spires est appelé **enroulement primaire**. Il est alimenté par une source tension $u_1(t)$ et parcouru par un courant $i_1(t)$.

- **L'enroulement de droite**, constitué de N_2 spires, est appelé **enroulement secondaire**. On note $u_2(t)$ la tension à ses bornes, il est parcouru par un courant $i_2(t)$. Il n'est pas directement alimenté et est connecté à une charge.

En canalisant les lignes de champ magnétique, le tore ferromagnétique assure le couplage magnétique entre les deux enroulements.

Principe de fonctionnement :

Le primaire, soumis à une tension variable $u_1(t)$ est parcouru par un courant variable. Ce courant crée un champ magnétique variable $\overrightarrow{B_1}(t)$dont les lignes de champ sont canalisées par le matériau ferromagnétique. Le flux de ce champ à travers le secondaire est variable. Une tension $u_2(t)$ peut alors être récupérée aux bornes du secondaire sans qu'il soit directement alimenté. Si le secondaire est fermé, un courant circule dedans et crée un champ magnétique $\overrightarrow{B_2}(t)$. Le matériau ferromagnétique canalise le champ magnétique total $\vec{B}(t) = \overrightarrow{B_1}(t) + \overrightarrow{B_2}(t)$.

Pour un transformateur idéal, on néglige tous les effets résistifs et on suppose que le couplage magnétique est parfait.

On note alors φ le flux commun, identique à travers toute section du tore. Du fait des enroulements, les flux magnétiques à travers les circuits primaire et secondaire sont respectivement : $\Phi_1 = N_1\varphi$ et $\Phi_2 = N_2\varphi$

$$e_1 = -N_1\frac{d\varphi}{dt} = -u_1 \qquad e_2 = -N_2\frac{d\varphi}{dt} = -u_2$$

Dans le cas d'un transformateur idéal : $\boldsymbol{\frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{N_2}{N_1} = m}$**,** m est appelé rapport de transformation.

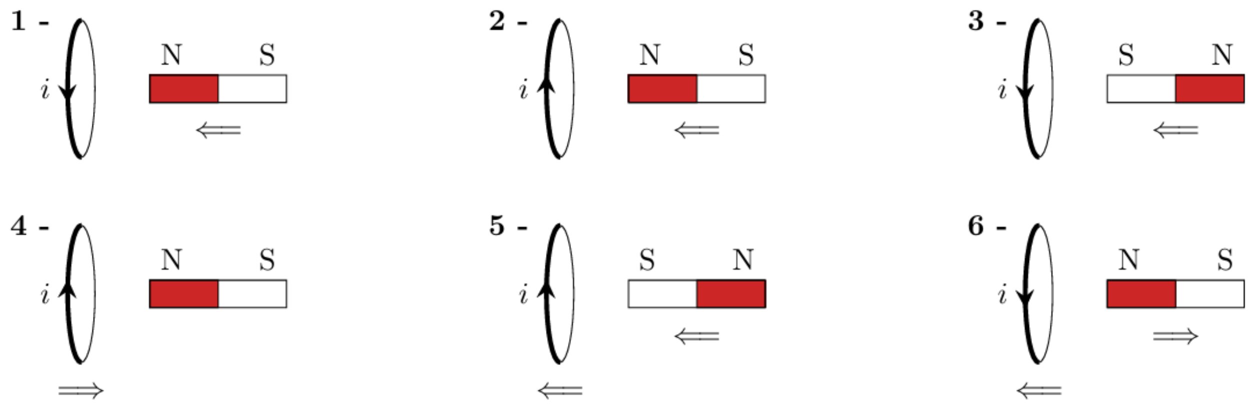
Applications : Réseau de distribution électrique, conversion de la tension du secteur en basse tension (12 ou 24 V) : chargeurs de téléphones ou d'appareillage électronique.

Remarque : Un transformateur ne fonctionne qu'en régime alternatif. Si on l'alimente par une tension continue, l'enroulement du primaire se comporte comme un court-circuit et on risque de détruire l'alimentation.

Applications

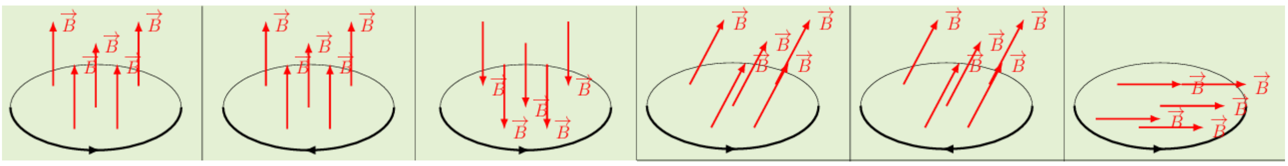
__Application 1__ : Sens du courant induit

Dans chacun des circuits ci-dessous, la spire circulaire et/ou l'aimant droit sont déplacés dans le sens indiqué par la double flèche. Indiquer le signe du courant i apparaissant dans la spire pendant le déplacement.



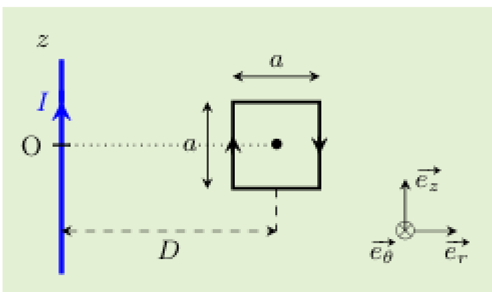
__Application 2__ : Calcul de flux magnétique de champs uniformes

Déterminer l'expression du flux du champ magnétique uniforme de norme B à travers la surface plane S, en fonction de B, de la surface S et éventuellement d'un angle à introduire.

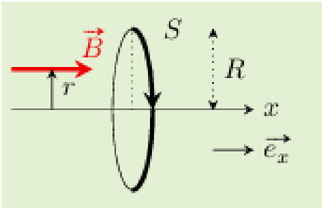


__Application 3__ : Calcul de flux magnétique de champs non uniformes

1) Considérons un fil rectiligne infiniment long suivant l'axe (Oz), parcouru par un courant d'intensité I circulant dans le sens des z croissants. Le champ magnétique créé par ce fil, en un point M à la distance r de l'axe (Oz), est : $\vec{B}(M) = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}\vec{e_\theta}$. On donne le vecteur surface élémentaire au niveau de la spire $dS = dr\, dz\, \vec{e_\theta}$. Exprimer le flux de ce champ à travers le cadre carré de côté a orienté comme indiqué sur la figure.



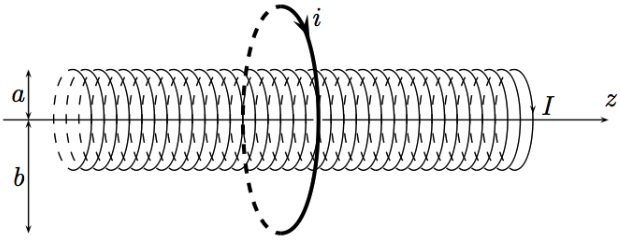
2) On considère un champ magnétique $\vec{B}(M) = B_0\left(1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)\vec{e_x}$, où M est repéré à l'aide des coordonnées cylindriques r, θ et x. On donne le vecteur surface élémentaire au niveau de la spire $dS = dr\, rd\theta\, \vec{e_x}$. Exprimer le flux de ce champ à travers la spire circulaire de rayon R orienté comme indiqué sur la figure.



<u>Application 4</u> : Calcul d'un courant induit dans une spire

Soit une spire circulaire de rayon b et de résistance R. Pour modifier le flux magnétique qui la traverse, plaçons sur son axe un solénoïde de n spires par unité de longueur, de rayon a, parcourut par $i(t) = I_0 \sin(\omega t)$ et considéré comme infini. On rappelle pour un solénoïde infini : $\overrightarrow{B_{ext}} = \vec{0}$ et $\|\overrightarrow{B_{int}}\| = \mu_0 n I$

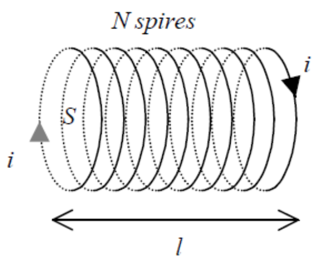
On veut exprimer le courant induit i dans la spire.



1) Expression du flux à travers la surface orientée (contour orienté comme i).
2) Calcul de la force électromotrice à l'aide de la loi de Faraday.
3) Calcul du courant induit à l'aide de la loi des mailles.

<u>Application 5</u> : Inductance d'une bobine longue

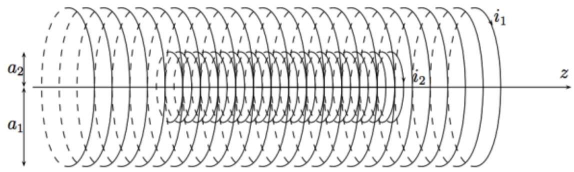
Calculer l'inductance propre d'une bobine longue (assimilée à un solénoïde infini). On note S la surface d'une spire.



Données : N =1000 spires ; $S = 2{,}8\times10^{-3}$m² ; ℓ=0,25m ; et $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ SI.

<u>Application 6</u> : **Bobines coaxiales**

Soient deux bobines coaxiales
de longueur l_i et rayon a_i possédant n_i spires par unité de longueur. On suppose de plus $l_i >> a_i$ (bobines longues assimilables à des solénoïdes infinis), avec $l_2 < l_1$ et $a_2 < a_1$.
Chaque solénoïde, inclus dans un circuit non représenté, est parcouru par le courant i_i.



1) Exprimer le flux de $\overrightarrow{B_1}$ au travers la bobine 2, en déduire le coefficient de mutuelle inductance.
2) Vérifier qu'en calculant de flux de $\overrightarrow{B_2}$ au travers la bobine 1, on retrouve bien le même coefficient.
3) Montrer que dans le cas de 2 bobines de même longueur et de même section, $M^2 = L_1 L_2$.