

# Lois de l'induction et induction de NEUMANN

## Sommaire

<b>I Induction et auto-induction</b> . . . . .	<b>2</b>
I/A Flux du champ magnétique . . . . .	2
I/B Lois de FARADAY et de LENZ . . . . .	3
I/C Auto-induction . . . . .	4
<b>II Induction mutuelle</b> . . . . .	<b>5</b>
II/A Principe de l'inductance mutuelle . . . . .	5
II/B Circuits électriques couplés par inductance mutuelle . . . . .	6
II/C Applications . . . . .	7

## Capacités exigibles

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.</li> <li><input type="checkbox"/> Utiliser la loi de FARADAY en précisant les conventions d'algébrisation.</li> <li><input type="checkbox"/> Utiliser la loi de LENZ pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.</li> <li><input type="checkbox"/> Différencier le flux propre des flux extérieurs.</li> <li><input type="checkbox"/> Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Évaluer et citer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur.</li> <li><input type="checkbox"/> Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale ».</li> <li><input type="checkbox"/> Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.</li> <li><input type="checkbox"/> Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.</li> </ul> |
|---|---|

## L'essentiel

### Lois

- I3.1 : de FARADAY . . . . . 3
- I3.2 : de modération de LENZ . . . . . 3

### Propriétés

- I3.1 : Loi des tensions et des courants . . . . . 8

### Démonstrations

- I3.1 : Loi des tensions et des courants . . . . . 8

### Implications

- I3.1 : Tension auto-induite . . . . . 4

### Exemples

- I3.1 : Loi de modération de LENZ . . . . . 3

### Applications

- I3.1 : Calculs simples de flux . . . . . 2
- I3.2 : LENZ et FARADAY circuit carré . . . . . 3
- I3.3 : Inductance propre d'une bobine . . . . . 4
- I3.4 : Forces électromotrices induites . . . . . 5
- I3.5 : Bobines imbriquées . . . . . 5

### Points importants

- I3.1 : Auto-inductance d'un circuit . . . . . 4
- I3.2 : Inductance mutuelle . . . . . 5
- I3.3 : Bilan énergétique . . . . . 7

### Erreurs communes

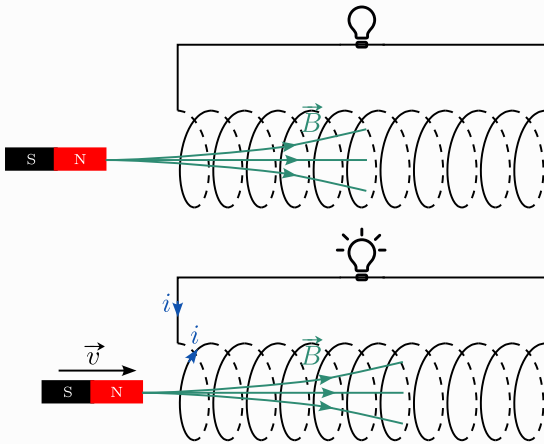
- I3.1 : Flux propre . . . . . 4
- I3.2 : Transformateur . . . . . 8

# I Induction et auto-induction

## I/A Flux du champ magnétique

Soit un solénoïde (bobine longue) non alimenté, relié à une ampoule montrant le courant qui le traverse. On étudie sa réaction à un champ magnétique dans deux situations (cf. [cette animation](#)) :

### Expérience I3.1 : Bobine dans des champs magnétiques



#### Champ magnétique constant

Les lignes de champ d'un aimant vont de son Nord vers son Sud. Un champ magnétique règne donc dans le solénoïde. On n'observe cependant aucune tension dans le solénoïde.

#### Champ magnétique variable

On déplace l'aimant à proximité de la bobine. On constate qu'une **tension apparaît** dans la bobine, malgré l'absence de générateur.

#### Observation I3.1 : Bobine et champs magnétiques

En étudiant la tension induite, on observe qu'elle dépend du déplacement de l'aimant :

- ◇ Sans mouvement relatif, pas de courant
- ◇ Si on approche l'aimant ou le circuit,  $i > 0$
- ◇ Si on éloigne l'aimant ou le circuit,  $i < 0$
- ◇ Aimant retourné  $\Rightarrow$  courant opposé
- ◇ Mouvement rapide  $\Rightarrow$  courant généré élevé
- ◇ Plus de spires  $\Rightarrow$  plus de tension

#### Définition I3.1 : Induction électromagnétique

Le phénomène d'induction électromagnétique est l'apparition d'une **tension** électrique (et donc à un **courant** si le circuit est fermé) dans un circuit soumis à un champ magnétique dans deux cas de figure :

- 1) Circuit figé dans un champ magnétique **variable** : induction de NEUMANN ;
- 2) Circuit **déformé** dans un champ magnétique constant : induction de LORENTZ (voir chapitre suivant).

#### ♥ Définition I3.2 : Flux magnétique

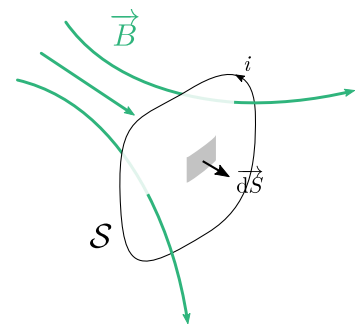
On définit le **flux du champ magnétique**  $\vec{B}$  à travers un **circuit** comme l'intégrale de  $\vec{B}$  sur la surface **orientée** entourée par le circuit :

$$\phi_S(\vec{B}) = \iint_{M \in S} d\phi(M) = \iint_{M \in S} \vec{B}(M) \cdot d\vec{S}(M)$$

et si le champ  $\vec{B}$  est **uniforme** et que le circuit est **une spire**, alors on a

$$\phi_S(\vec{B}) = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad \text{ainsi} \quad \phi_{N \text{ spires}}(\vec{B}) = N\phi_S(\vec{B}) = N\vec{B} \cdot \vec{S}$$

On oriente  $\vec{S}$  dans le **même sens** que l'intensité  $i$  étudiée.



#### Application I3.1 : Calculs simples de flux

$$\phi_S(\vec{B}) = \vec{B} \cdot \vec{S} = +BS$$

$$\phi_S(\vec{B}) = \vec{B} \cdot \vec{S} = -BS$$

$$\phi_S(\vec{B}) = \vec{B} \cdot \vec{S} = 0$$

$$\phi_S(\vec{B}) = \vec{B} \cdot \vec{S} = -BS \cos(\theta)$$

**Définition I3.3 : Flux propre et flux extérieur**

Un circuit électrique est capable de créer un champ **propre**  $\vec{B}_p$  et être plongé dans un champ **extérieur**  $\vec{B}_{ext}$ . On distingue donc les deux flux :

**Flux propre**

$$\phi_p = \iint_S \vec{B}_p \cdot d\vec{S}$$

**Flux extérieur**

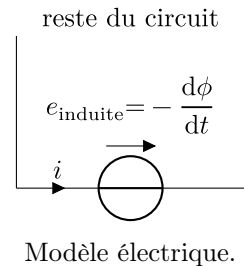
$$\phi_{ext} = \iint_S \vec{B}_{ext} \cdot d\vec{S}$$

**I/B Lois de FARADAY et de LENZ**

**♥ Loi I3.1 : de FARADAY**

Soit un circuit électrique **fermé** et **orienté** par une intensité soumise à l'action d'un champ magnétique  $\vec{B}$ . Toute **variation du flux**  $\phi(\vec{B})$  dans ce circuit y fait apparaître une **force électromotrice** (tension à vide) induite  $e$ , **orientée dans le même sens** que  $i$  (en convention générateur), telle que

$$e_{ind}(t) = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

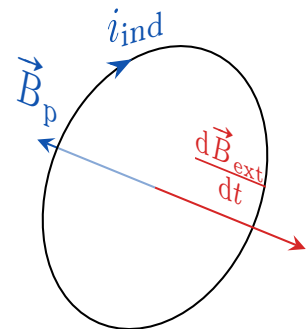


**♥ Loi I3.2 : de modération de LENZ**

Lorsque le flux à travers un circuit **fermé** varie, ceci a pour conséquence de faire apparaître une **intensité dans le circuit**, qui à son tour est à l'origine d'un **champ magnétique propre**, dont le flux  $\phi_p$  **s'oppose à la variation initiale**. On dit souvent :

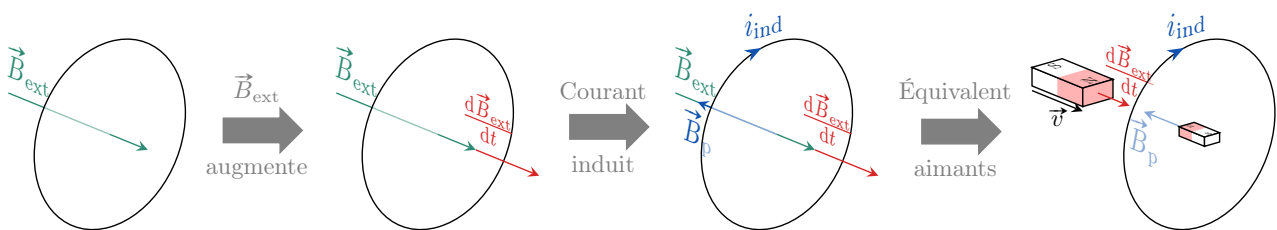
**L'induction modère, par ses conséquences, les causes qui lui ont donné naissance.**

- ◇ NEUMANN :  $i_{ind} \Rightarrow \vec{B}_{ind}$  s'oppose aux **variations** de  $\vec{B}_{ext}$  ;
- ◇ LORENTZ :  $i_{ind} \Rightarrow \vec{B}_{ind} \Rightarrow \vec{F}_{Lap}$  s'oppose à la **déformation**.



**Exemple I3.1 : Loi de modération de LENZ**

Prenons l'exemple d'une spire initialement sans courant plongée dans un champ magnétique  $\vec{B}_{ext}$  qui augmente.

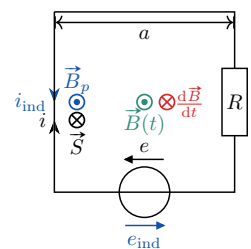


Dès que  $\vec{B}_{ext}$  arrête d'augmenter, le champ propre précédemment créé disparaît.

**Application I3.2 : LENZ et FARADAY circuit carré**

On considère un circuit carré de côté  $a$  et de résistance totale  $R$ , situé dans un plan orthogonal à un champ magnétique uniforme mais **variable**  $\vec{B}(t) = B_0 e^{-t/\tau} \vec{u}_z$  avec  $B_0$  et  $\tau$  strictement positifs.

Quelle est l'origine de l'induction ? Exprimer l'intensité  $i$  du courant représenté sur le schéma, et vérifier que son signe soit en accord avec la loi de LENZ.



Le flux est variable puisque le champ magnétique l'est, d'où le phénomène d'induction. On a alors :

$$\phi_S(\vec{B}) = \vec{B}(t) \cdot \vec{S} = -B_0 a^2 e^{-t/\tau} \quad \text{soit} \quad e = -\frac{d\phi}{dt} \Leftrightarrow e = -\frac{B_0 a^2}{\tau} e^{-t/\tau} < 0$$

LdM :  $e = u_R = Ri \Leftrightarrow i = -\frac{B_0 a^2}{R\tau} e^{-t/\tau} < 0$

donc l'intensité est **négative**. En effet, le champ magnétique induit réel doit s'opposer à la diminution du champ extérieur  $\vec{B}$ , en créant un champ magnétique positif selon  $\vec{u}_z$  : le sens réel du courant donné par la main droite est l'opposé de celui représenté ( $i_{\text{ind}}$  sur le schéma complété).

## I/C Auto-induction

### Important I3.1 : Auto-inductance d'un circuit

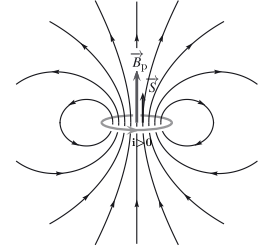
On admet que le **flux propre** dans un circuit est **proportionnel à l'intensité** du courant dans le circuit, tel que

$$\phi_p(t) = Li(t)$$

**Unité**  $L$  en Henry H

avec  $L$  l'**inductance propre** (auto-inductance) du circuit.

- ◇  $L > 0$  car  $\vec{S}$  et  $\vec{B}_p$  sont orientés par la main droite par  $i$ .
- ◇  $L$  ne dépend que de la **taille** et **forme** du circuit.



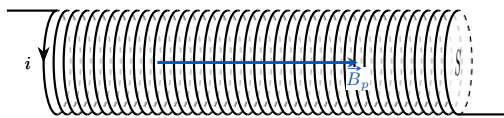
### Attention I3.1 : Flux propre

$$\phi_p(t) \neq \vec{B}_p \cdot \vec{S} \quad \text{car} \quad \vec{B}_p \text{ pas uniforme dans } \vec{S}$$

### Application I3.3 : Inductance propre d'une bobine

On rappelle  $\vec{B}_p$  créé dans un solénoïde :  $\vec{B}_p(t) = \mu_0 \frac{N}{\ell} i(t) \vec{u}_z$  uniforme à l'intérieur

- 1 Le sens du courant étant donné, indiquer le sens du champ magnétique.



$i$  et  $\vec{B}_p$  respectent la règle de la main droite.

- 2 Exprimer le flux du champ magnétique.

Pour  $N$  spires :  $\phi_p = N \vec{B}_p \cdot \vec{S} = N \mu_0 \frac{N}{\ell} i(t) \vec{u}_z \cdot S \vec{u}_z \Leftrightarrow \phi_p = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} Si(t)$

- 3 En déduire l'expression de l'inductance propre.

$$\phi_p(t) = Li(t) \quad \text{soit} \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} S$$

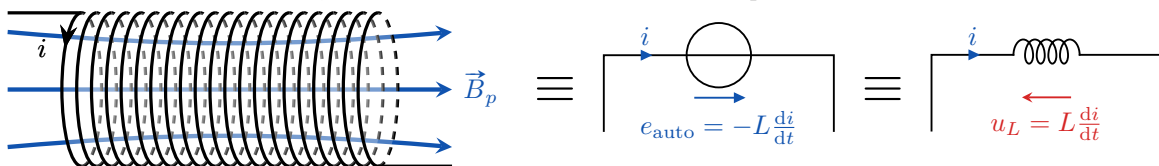
- 4 Calcul pour une bobine de TP avec  $N = 1000$  spires, rayon  $a = 3$  cm et longueur  $\ell = 10$  cm :  $L \approx 3,5 \times 10^2$  mH

### Implication I3.1 : Tension auto-induite

Si le courant  $i(t)$  dans un circuit varie avec le temps, alors le champ magnétique et donc le flux propre  $\phi_p(t)$  varie aussi. D'après la loi de FARADAY, il va donc y avoir apparition d'un générateur équivalent de f.é.m.

$$e_{\text{auto.ind.}} = -\frac{d\phi_p}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad \text{en convention générateur, soit} \quad u_L = L \frac{di}{dt} \quad \text{en convention récepteur}$$

car pour un circuit indéformable,  $L = \text{cte}$ . D'où le dessin du circuit équivalent à la bobine :



### Remarque I3.1 : Tension induite par deux sources

S'il y a un champ extérieur, on applique la superposition des champs magnétiques :

$$\phi_{\text{tot}} = \phi_p + \phi_{\text{ext}} \quad \Rightarrow \quad e_{\text{tot}} = -L \frac{di}{dt} - \frac{d\phi_{\text{ext}}}{dt} = e_{\text{auto}} + e_{\text{ext}}$$

## II Induction mutuelle

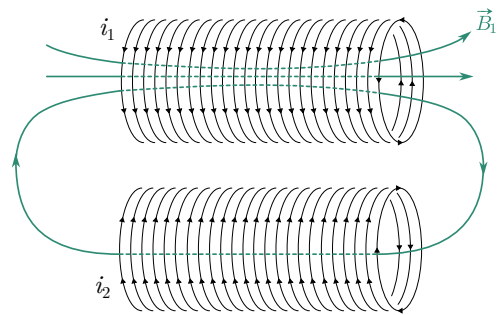
### II/A Principe de l'inductance mutuelle

#### Important I3.2 : Inductance mutuelle

Un dipôle 1 parcouru par un courant  $i_1$  génère un champ  $\vec{B}_1$  qui peut traverser un dipôle 2 : on a alors un **flux croisé de 1 vers 2** :

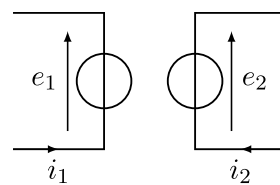
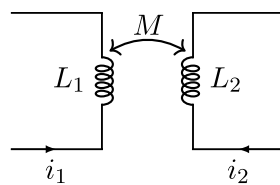
$$\phi_{1 \rightarrow 2} = \iint_{S_2} \vec{B}_1 \cdot d\vec{S}_2 = M i_1 \quad \text{et} \quad \phi_{2 \rightarrow 1} = M i_2$$

avec  $M$  l'inductance mutuelle. Au contraire de  $L$  toujours positive,  $M$  peut être positive ou négative selon l'orientation des circuits.



#### Application I3.4 : Forces électromotrices induites

Soit deux circuits en inductance mutuelle. Exprimer les tensions induites en fonction des intensités et des inductances.



Circuit 1

Circuit 2

$$\phi_1 = \phi_{p,1} + \phi_{2 \rightarrow 1}$$

Or,  $\begin{cases} \phi_{p,1} = L_1 i_1 \\ \phi_{2 \rightarrow 1} = M i_2 \end{cases}$  et  $e_1 = -\frac{d\phi_1}{dt}$

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

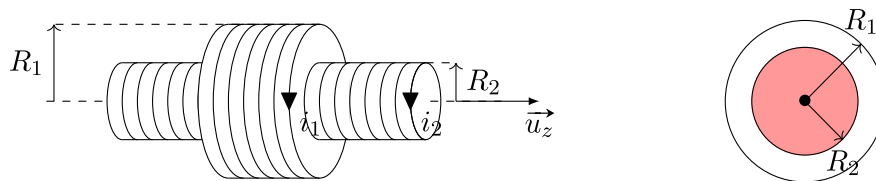
$$\phi_2 = \phi_{p,2} + \phi_{1 \rightarrow 2}$$

Or,  $\begin{cases} \phi_{p,2} = L_2 i_2 \\ \phi_{1 \rightarrow 2} = M i_1 \end{cases}$  et  $e_2 = -\frac{d\phi_2}{dt}$

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

#### Application I3.5 : Bobines imbriquées

On souhaite déterminer l'inductance mutuelle de 2 bobines de même axe, de longueurs  $\ell_i$  et de rayons  $R_i$ , parcourues par des intensités  $i_i$  dirigées dans le même sens. On s'intéresse d'abord au flux croisé  $\phi_{2 \rightarrow 1}$ .



#### Expression du champ magnétique $\vec{B}_2$

Le champ magnétique d'une bobine est uniforme en son sein, et négligeable en dehors, soit

$$\vec{B}_2 = \begin{cases} \mu_0 \frac{N_2}{\ell_2} i_2 \vec{u}_z & \text{à l'intérieur} \\ \vec{0} & \text{à l'extérieur} \end{cases}$$

#### Flux de $\vec{B}_2$ à travers de $\vec{S}_1$ , $\phi_{2 \rightarrow 1}$

On oriente  $\vec{S}_1$  à partir de  $i_1$  par la règle de la main droite :  $\vec{S}_1 = S_1 \vec{u}_z$ .

Or, le champ  $\vec{B}_2$  est nul entre  $S_2$  et  $S_1$ , d'où :

$$\phi_{2 \rightarrow 1} = \mu_0 \frac{N_2}{\ell_2} i_2 \cdot S_2 \cdot N_1 + 0 \cdot (S_2 - S_1) \cdot N_1$$

$$\Leftrightarrow \phi_{2 \rightarrow 1} = \mu_0 \frac{N_1 N_2 S_2}{\ell_2} i_2 \quad \Rightarrow \quad M = \mu_0 \frac{N_1 N_2 S_2}{\ell_2}$$

**Calcul de  $\phi_{1 \rightarrow 2}$** 

Le calcul direct et réel est plus compliqué, puisque les lignes de champs sortent en réalité de la première bobine et ne sont plus parallèles. Cependant, avec l'hypothèse de  $\vec{B}$  nul en-dehors des bobines, soit

$$\vec{B}_1 = \begin{cases} \mu_0 \frac{N_1}{\ell_1} i_1 \vec{u}_z & \text{à l'intérieur} \\ \vec{0} & \text{à l'extérieur} \end{cases}$$

et toujours avec

$$\vec{S}_2 = S_2 \vec{u}_z$$

on voit que la seconde bobine est traversée par  $\vec{B}_1$  sur une **fraction de sa longueur**, d'où

$$\phi_{1 \rightarrow 2} = \mu_0 \frac{N_1}{\ell_1} i_1 \cdot S_2 \cdot N_2 \frac{\ell_1}{\ell_2} \Leftrightarrow \phi_{1 \rightarrow 2} = \mu_0 \frac{N_1 N_2 S_2}{\ell_2} i_1 \quad \text{même résultat que pour } \phi_{2 \rightarrow 1}$$

**♥ Remarque I3.2 : Inductance mutuelle en influence totale**

Si les deux bobines sont de même longueur et même section, on parle alors d'« influence totale », et on trouve

$$M = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{\ell} S \quad \text{avec} \quad L_i = \mu_0 \frac{N_i^2}{\ell} S \quad \Rightarrow \quad M = \sqrt{L_1 L_2}$$

**II/B Circuits électriques couplés par inductance mutuelle****♥ Outils I3.1 : Méthode de résolution**

- 1) Remplacer les inductances par leur f.é.m. en **convention générateur** ;
- 2) Appliquer la loi des mailles pour obtenir les équations électriques ;
- 3) Exprimer les flux magnétiques en fonction des courants et utiliser la loi de FARADAY ;
- 4) Résoudre les équations obtenues.

**II/B) 1 Équation différentielle****Circuits couplés**

Le sens de  $i_1$  est imposé par le générateur, et le sens de  $i_2$  est conventionnel (selon sa direction,  $M \leq 0$ ).

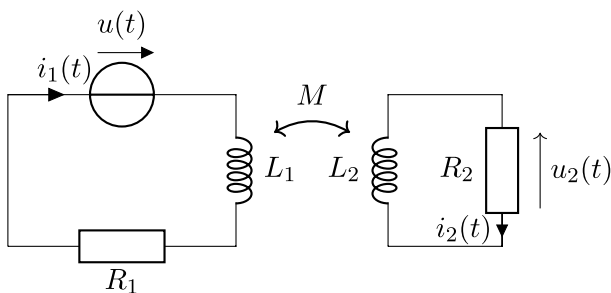


FIGURE I3.1 – Circuits couplés.

**Circuit 1**

$$\text{LdM : } u + e_1 = R_1 i_1$$

$$\text{Flux : } \phi_1 = \phi_{p,1} + \phi_{2 \rightarrow 1} = L_1 i_1 + M i_2$$

$$\text{FARADAY } \Rightarrow e_1 = -\frac{d\phi_1}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$\text{On combine : } u = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

**Circuits équivalents**

On remplace les bobines par des générateurs, fléchés en convention générateur (à partir du sens de  $i_1$  et  $i_2$ ).

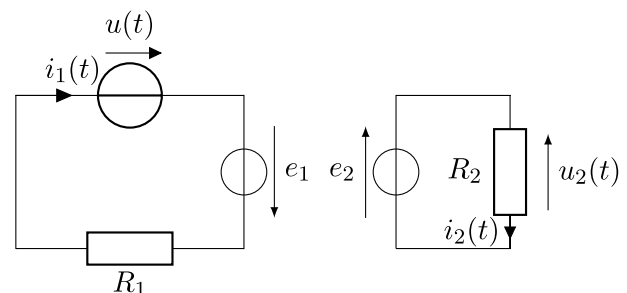


FIGURE I3.2 – Circuit équivalent.

**Circuit 2**

$$\text{LdM : } e_2 = R_2 i_2$$

$$\text{Flux : } \phi_2 = \phi_{p,2} + \phi_{1 \rightarrow 2} = L_2 i_2 + M i_1$$

$$\text{FARADAY } \Rightarrow e_2 = -\frac{d\phi_2}{dt} = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

$$\text{On combine : } 0 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

Ainsi, en l'absence de couplage ( $M = 0$ ), on retrouve les équations d'un circuit RL classique. Avec le couplage, on

peut résoudre ces équations en passant en RSF :

$$(R_1 + jL_1\omega)\underline{I}_1 + jM\omega\underline{I}_2 = \underline{U} \quad \text{et} \quad (R_2 + jL_2\omega)\underline{I}_2 + jM\omega\underline{I}_1 = 0$$

On peut alors déterminer le comportement fréquentiel du circuit.

### II/B) 2 Bilan énergétique

Pour faire l'étude énergétique du circuit, on procède comme d'habitude en faisant un bilan de puissance en **multipliant par  $i$**  les équations obtenues par la loi des mailles, ici  $i_1$  et  $i_2$ . À partir des équations couplées,

#### Circuit 1

$$ui_1 = R_1i_1^2 + L_1i_1\frac{di_1}{dt} + Mi_1\frac{di_2}{dt}$$

#### Circuit 2

$$0 = R_2i_2^2 + L_2i_2\frac{di_2}{dt} + Mi_2\frac{di_1}{dt}$$

D'où

$$ui_1 = R_1i_1^2 + R_2i_2^2 + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}L_1i_1^2\right) + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}L_2i_2^2\right) + Mi_1\frac{di_2}{dt} + Mi_2\frac{di_1}{dt}$$

$$\Leftrightarrow ui_1 = R_1i_1^2 + R_2i_2^2 + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}L_1i_1^2 + \frac{1}{2}L_2i_2^2 + Mi_1i_2\right)$$

Ainsi, on met en évidence :

- ◇  $\mathcal{P}_J = R_1i_1^2(t) + R_2i_2^2(t)$  la puissance reçue par les résistances (dissipée par effet Joule) ;
- ◇  $\mathcal{P}_{\text{mag}} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}L_1i_1^2 + \frac{1}{2}L_2i_2^2 + Mi_1(t)i_2(t)\right)$  la puissance magnétique stockée dans les deux circuits ;
- ◇  $\mathcal{P}_g = u(t)i_1(t)$  la puissance fournie par le générateur.

### Important I3.3 : Bilan énergétique

L'énergie du champ magnétique créé par deux circuits couplés par induction mutuelle est

$$\mathcal{E}_{\text{mag}} = \frac{1}{2}L_1i_1^2 + \frac{1}{2}L_2i_2^2 + Mi_1i_2$$

- ◇  $\mathcal{E}_{L,1} = \frac{L_1i_1^2}{2}$  et  $\mathcal{E}_{L,2} = \frac{L_2i_2^2}{2}$  sont les énergies magnétiques emmagasinées dans chaque circuit propre ;
- ◇  $\mathcal{E}_{\text{mut}} = Mi_1i_2$  représente l'**énergie de couplage magnétique** entre les deux circuits.

## II/C Applications

### II/C) 1 Quelques exemples

- ◇ **Radio-identification** : placée dans des étiquettes adhésives comme dans les antivols par exemple, un courant sera induit dans le circuit s'il passe à côté d'un système actif fournissant un champ magnétique. Ce courant alimente alors une petite antenne envoyant l'information de la puce (dite RFID pour *radio frequency identification*).
- ◇ **Détecteur de métaux, boucles magnétiques (péages, parking)** : une bobine crée un champ magnétique et, si un morceau de métal se trouve à proximité, il se crée un courant en son sein. Ce courant crée lui-même un champ magnétique qui perturbe le circuit primaire.
- ◇ **Rechargement par induction (brosses à dent, portables)** : le chargeur est muni d'une bobine qui crée un champ qui va induire un champ dans un second circuit.
- ◇ **Chauffage par induction** : le courant généré dans le second circuit se répartit dans tout le volume ; on les appelle **courants de FOUCAULT**. Ils permettent le chauffage par effet JOULE.

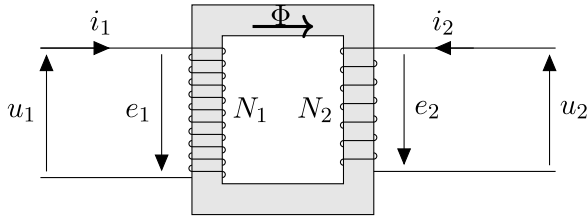
### II/C) 2 Transformateur

En enroulant deux bobines différentes autour d'un noyau de métal canalisant le flux, on peut **diminuer ou augmenter la tension** d'un circuit à l'autre.

**Définition I3.4 : Transformateur**

Un transformateur monophasé est constitué d'un matériau ferromagnétique sur lequel sont bobinés deux enroulements électriques, indépendants électriquement (masses séparées) :

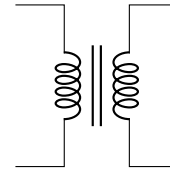
- ◇ **Enroulement primaire** : relié à la source d'alimentation (on notera les grandeurs  $u_1, i_1$  etc.)
- ◇ **Enroulement secondaire** : relié à la charge (noté  $u_2, i_2$  etc.)

**FIGURE I3.3** – Représentation complète

Le rôle du circuit magnétique est d'assurer une canalisation optimale des lignes de champ magnétique afin d'obtenir un couplage maximal entre les deux enroulements. Cela veut dire que le flux magnétique traversant une spire du circuit 1 est égal à celui traversant une spire du circuit 2.

On dit que le transformateur est **parfait** si :

- ◇ La résistance des enroulements est négligée ;
- ◇ Il n'y a pas de perte de flux magnétique.

**FIGURE I3.4** – Schématisation électrique**Propriété I3.1 : Loi des tensions et des courants**

Dans un transformateur parfait, on trouve :

$$\frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{N_2}{N_1} = m \quad \text{et} \quad \frac{i_2(t)}{i_1(t)} = -\frac{N_1}{N_2} = -\frac{1}{m}$$

avec  $m$  le **rapport de transformation**.

**Démonstration I3.1 : Loi des tensions et des courants****Loi des tensions**

Le flux à travers une spire au primaire est égal à celui dans une spire du secondaire. Les flux sont donc :

$$\phi_{1,\text{tot}} = N_1\phi \quad \text{et} \quad \phi_{2,\text{tot}} = N_2\phi \quad \text{avec} \quad \phi = BS$$

$$\begin{array}{ccc} \text{Circuit 1} & & \text{Circuit 2} \\ e_1 = -\frac{d\phi_{1,\text{tot}}}{dt} = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \Leftrightarrow u_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} & & e_2 = -\frac{d\phi_{2,\text{tot}}}{dt} = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \Leftrightarrow u_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \end{array}$$

D'où le résultat en divisant. ■

**Loi des courants**

Si le transformateur est idéal, il transfère la totalité de la puissance électrique. Or, on a

$$\mathcal{P}_f = -u_1 i_1 \quad \text{et} \quad \mathcal{P}_r = +u_2 i_2$$

$$\mathcal{P}_r = \mathcal{P}_f \Rightarrow -u_1 i_1 = u_2 i_2 \Leftrightarrow \frac{i_2}{i_1} = -\frac{u_1}{u_2} \quad \blacksquare$$

**Remarque I3.3 : Différents transformateurs**

- ◇ On parle d'**élévateur de tension** si  $u_2 > u_1$  (comme à la sortie d'une centrale par exemple), ou d'**abaisseur de tension** sinon (transformateur de quartier par exemple)
- ◇ Si  $u_2 = u_1$ , on parle de **transformateur d'isolement** : il permet d'isoler la masse de la terre pour, par exemple, éviter des électrocutions en milieu humide.

**♥ Attention I3.2 : Transformateur**

Tout ceci n'est valable que pour un champ variable, pas pour des tensions constantes !