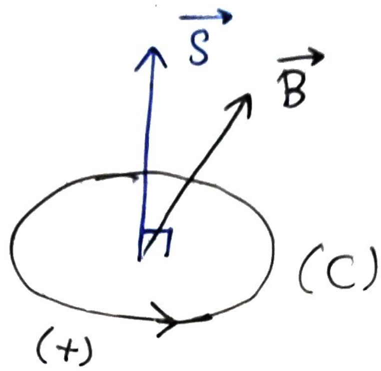
PHÉNOMÈNES D'
Induction

I Flux du champ magnétique

1 Idée

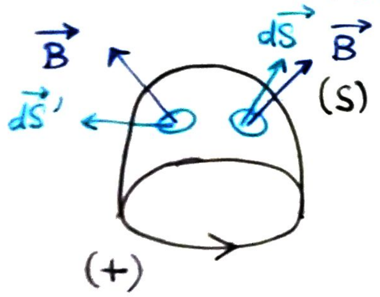
On prend un contour (C), orienté.



Le flux caractérise la manière qu'a le champ de traverser la surface

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos\theta \quad \text{(en Weber)}$$

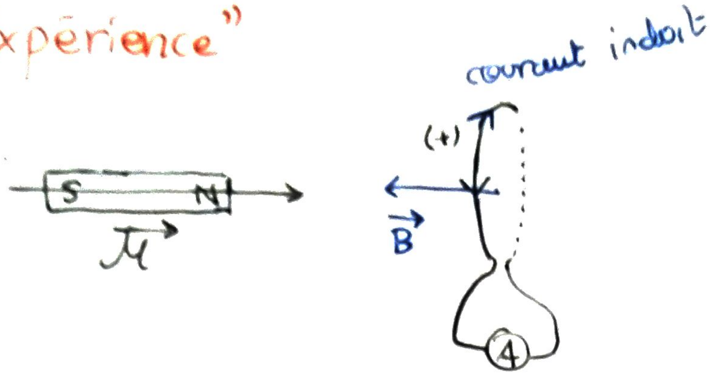
2 Flux du champ à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé et orienté



$$\boxed{\phi = \iint_{(S)} \vec{B}\, d\vec{S}}$$

II Lois de l'induction

1 "Expérience"



- $1^{ère}$ expérience

On laisse l'aimant fixe, on approche le circuit.
Le champ magnétique est permanent

- $2^{ème}$ expérience

On laisse le circuit fixe, on approche l'aimant
Le champ magnétique perçu par le circuit est variable

Dans les deux cas, il apparaît dans le circuit un courant, même s'il n'y a pas de générateur dans ce circuit.

On l'appelle <u>courant induit</u> lié à la variation du flux.

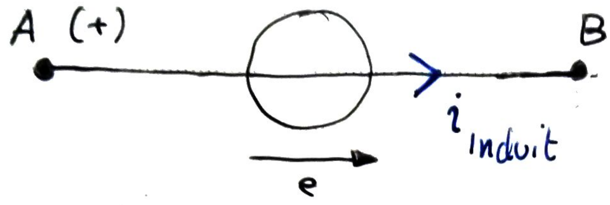
2 Loi de Lenz

L'ensemble des phénomènes d'induction ont des conséquences qui s'opposent aux causes qui leur ont donné naissance.

Dans l'exemple précédent, le courant induit doit s'opposer à la variation du flux, donc à la variation du champ. il apparaît un courant induit négatif.

3 Loi de Faraday.

Tout se passe comme s'il existait dans le circuit une f.é.m. orientée dans le sens positif choisit et liée à la variation du flux selon la loi de Faraday.



où $e = -\dfrac{d\phi}{dt}$ la fém

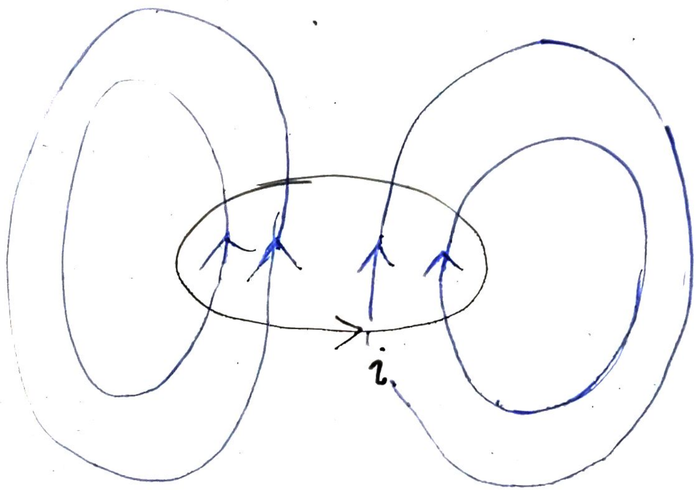
Loi de Faraday.

III Deux cas d'induction

A Cas de Neumann circuit fixe dans un $\vec{B}$ variable

1 Autoinduction

Soit une spire parcouru par un courant i



Elle crée un champ $\vec{B}$ qui la traverse

Si i est variable, $\vec{B}$ l'est aussi, donc
Φ l'est aussi, donc
il y a induction

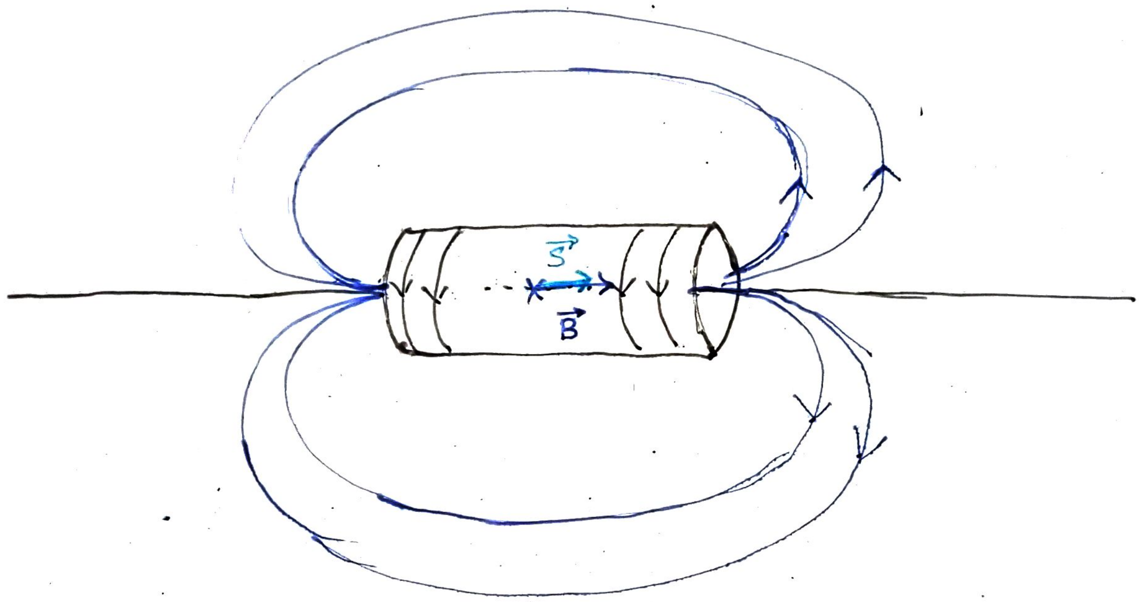
$\Rightarrow$ On parle <u>d'autoinduction</u>

2 Induction propre — Autoinductance

$$\begin{cases} B \propto i \\ \phi \propto B \propto i \end{cases}$$ donc on pose

$$\boxed{\phi = L i}$$

où L "auto-inductance" ou "inductance propre"
en H
> 0
$\leftrightarrow$ géométrie du circuit



Solénoïde à N spires de longueur ℓ

$n = \frac{N}{\ell}$ # spires / unité de longueur

Le champ magnétique créé par le solénoïde (sur l'axe)

$$\vec{B} = \mu_0 n i \vec{u_z}$$

Le flux propre du solénoïde :

$$\phi = N \vec{B} \cdot \vec{S}$$ avec $\vec{S}$ vecteur surface pour une spire

$$= NBS$$

$$= N \mu_0 n i S$$

$$= \mu_0 \frac{N^2}{l} S \cdot i$$

l'auto-inductance (ou "self" en anglais) :

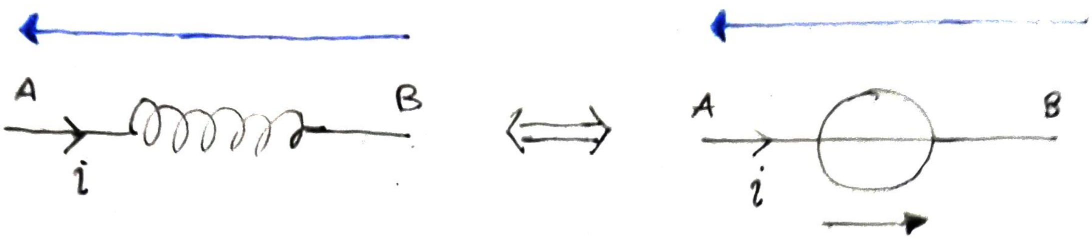
$$\boxed{L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S}$$

numérique $N = 1000$; $S = 10\ cm^2$; $l = 30\ cm$

$$L \approx 4\ mH$$

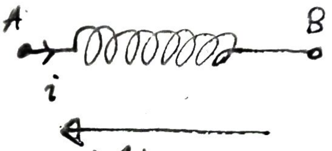
3 Aspect énergétique

Loi de lenz :



$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(Li) = -L\frac{di}{dt}$$

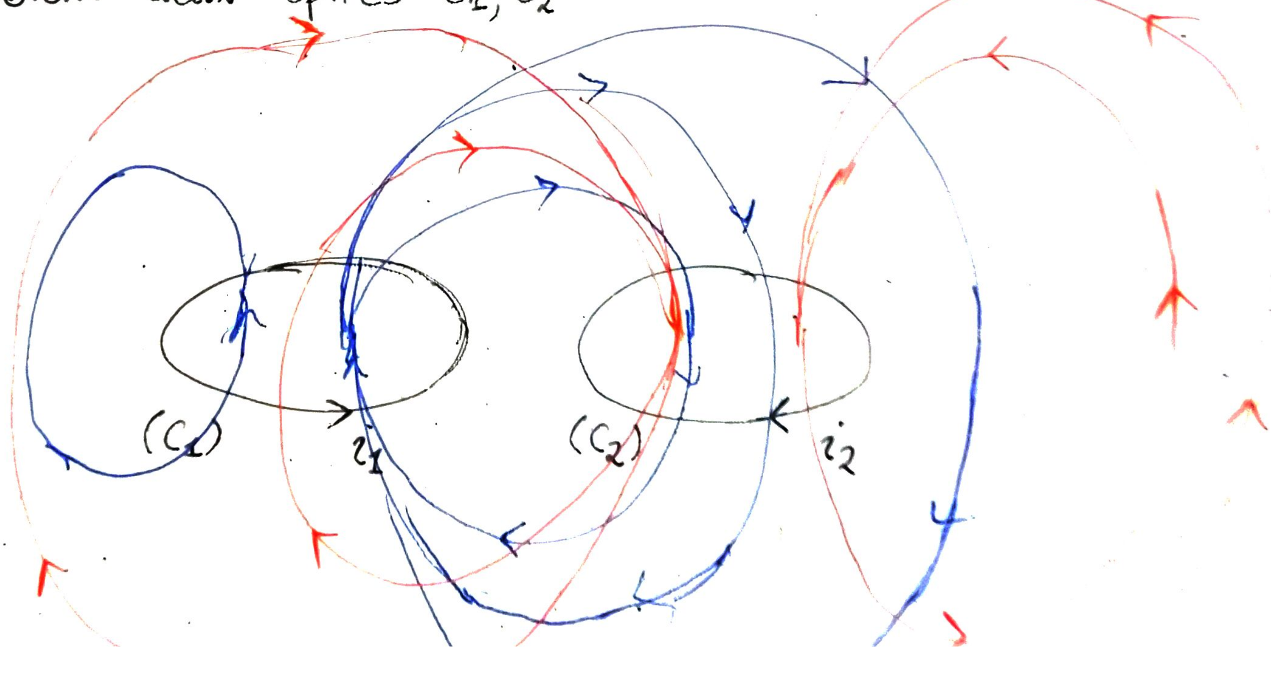
Pour le solénoïde/bobine



$$u_{AB} = -e = L\frac{di}{dt}$$

4 Cas de 2 circuits en iteraction

Soient deux spires C_1, C_2



C_1 crée un flux propre $\phi_{11} = L_1 i_1$

C_2 crée $\phi_{22} = L_2 i_2$

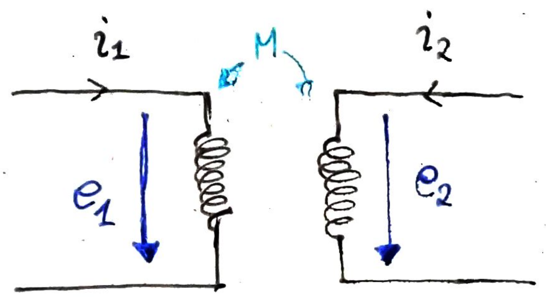
C_2 crée un flux $\phi_{21} = M i_2$

C_1 crée $\phi = M i_1$

= (admis)

avec M "coefficient d'inductance mutuelle"
en H
⟷ géométrie
$\gtrless 0$ selon les orientations

schéma électrique

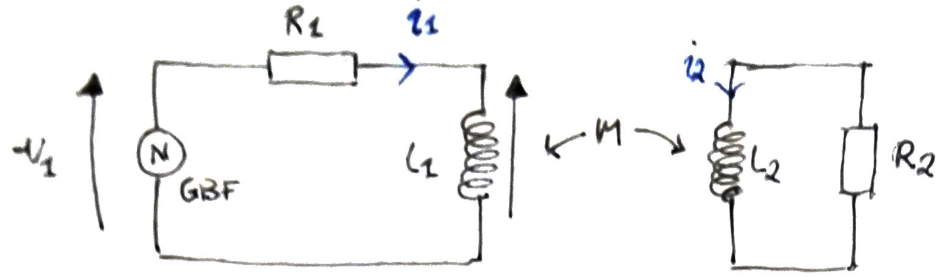


$$e_1 = -\frac{d\phi_1}{dt} = -\frac{d}{dt}(\phi_{11}+\phi_{21}) = -L_1\frac{di_1}{dt} - M\frac{di_2}{dt}$$

$$e_2 = -\frac{d\phi_2}{dt} = -\frac{d}{dt}(\phi_{22}+\phi_{12}) = -L_2\frac{di_2}{dt} - M\frac{di_1}{dt}$$

Il y a une interdépendance ou couplage entre les 2 circuits
Ce qui permet de transférer des informations sans contact

Si on réalise



On a $\begin{cases} v_1 - R_1 i_1 - \left(L_1 \dfrac{di_1}{dt} + M \dfrac{di_2}{dt}\right) & \text{ie } v_1 = R_1 i_1 + L_1 \dfrac{di_1}{dt} + M\dfrac{di_2}{dt} \\ & 0 = R_2 i_2 + L_2 \dfrac{di_2}{dt} + M \dfrac{di_1}{dt} \end{cases}$

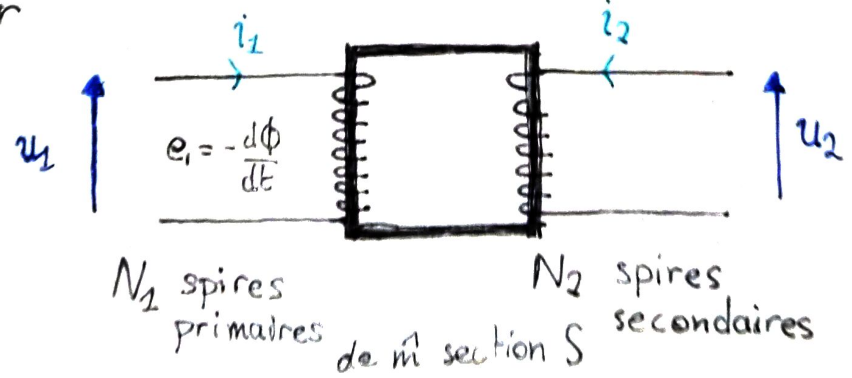
RSF : exprimons $\underline{v_1}$ ⟷ $\underline{i_1}$

$$\underline{v_1} = \underbrace{\left(R_1 + jL_1\omega - \frac{(jM\omega)^2}{R_2 + jL_2\omega}\right)}_{\underline{Z_1} \text{ impédance}} \cdot \underline{i_1}$$

le couplage est équivalent, vu du circuit C_1, à une impédance où R_2, L_2 et M interviennent (parce qu'il y a interdépendance)

5 Application

- transformateur



Si on alimente le primaire avec un courant i_1 alternatif

- Il crée un champ magnétique

⇒ autoinductance, apparition d'une fém $e_1 = -\frac{d\phi}{dt}$

⇒ le champ est canalisé par le matériau pour arriver jusqu'au secondaire

⇒ apparition d'une fém induite au secondaire

$$\begin{cases} u_1 = -e_1 = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt}(N_1 S B) = N_1 S \frac{dB}{dt} \\ u_2 = \qquad\qquad = N_2 S \frac{dB}{dt} \end{cases}$$

$$\boxed{\frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ : rapport de transformations}}$$

- courant de Foucault

Les courants induits qui apparaissent dans un matériau peuvent provoquer du freinage induit

App pour les freins de camions, trains, ...

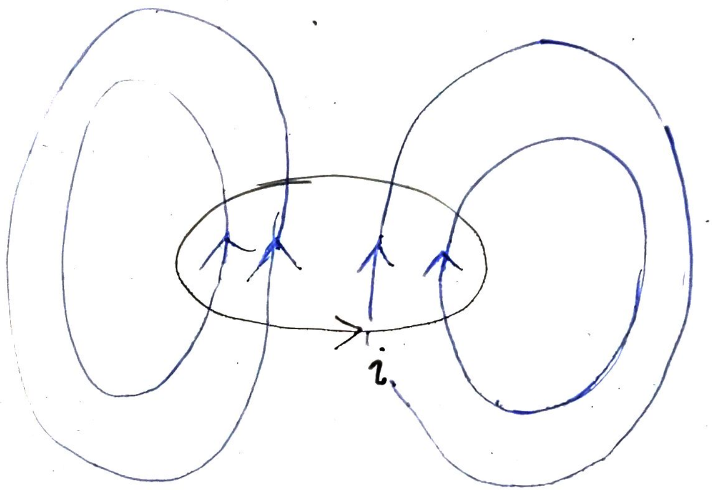
Inconv perte d'énergie par fx joule dans les transformateurs

III Deux cas d'induction

A Cas de Neumann circuit fixe dans un $\vec{B}$ variable

1 Autoinduction

Soit une spire parcouru par un courant i



Elle crée un champ $\vec{B}$ qui la traverse

Si i est variable, $\vec{B}$ l'est aussi, donc
Φ l'est aussi, donc
il y a induction

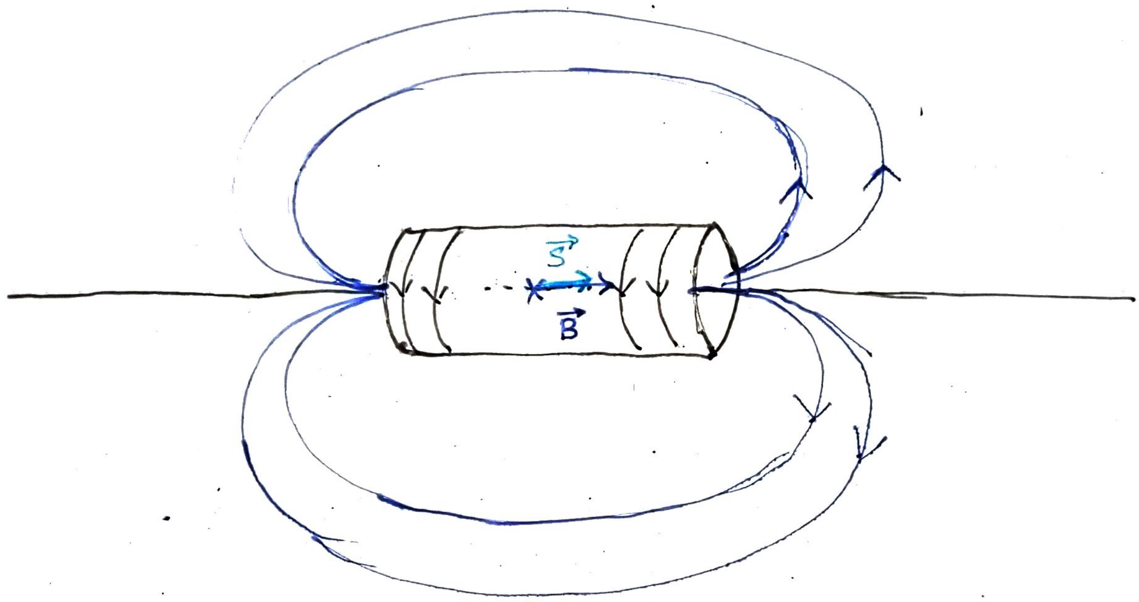
$\Rightarrow$ On parle <u>d'autoinduction</u>

2 Induction propre — Autoinductance

$$\begin{cases} B \propto i \\ \phi \propto B \propto i \end{cases}$$ donc on pose

$$\boxed{\phi = L i}$$

où L "auto-inductance" ou "inductance propre"
en H
> 0
$\leftrightarrow$ géométrie du circuit



Solénoïde a N spires de longueur ℓ

$n = \frac{N}{\ell}$ # spires / unité de longueur

Le champ magnétique créé par le solénoïde (sur l'axe)

$$\vec{B} = \mu_0 n i \vec{u_z}$$

Le flux propre du solénoïde :

$$\phi = N \vec{B} \cdot \vec{S}$$ avec $\vec{S}$ vecteur surface pour une spire

$$= NBS$$

$$= N \mu_0 n i S$$

$$= \mu_0 \frac{N^2}{l} S \cdot i$$

l'auto-inductance (ou "self" en anglais) :

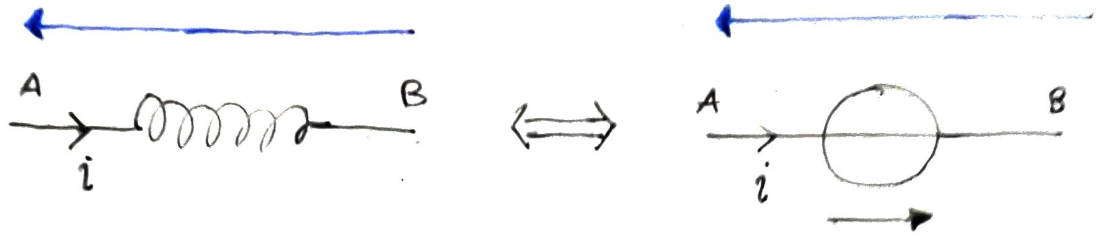
$$\boxed{L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S}$$

numérique $N = 1000$; $S = 10 \text{ cm}^2$; $l = 30$ cm

$$L \approx 4 \text{ mH}$$

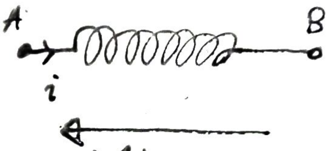
3 Aspect énergétique

Loi de lenz :



$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(Li) = -L\frac{di}{dt}$$

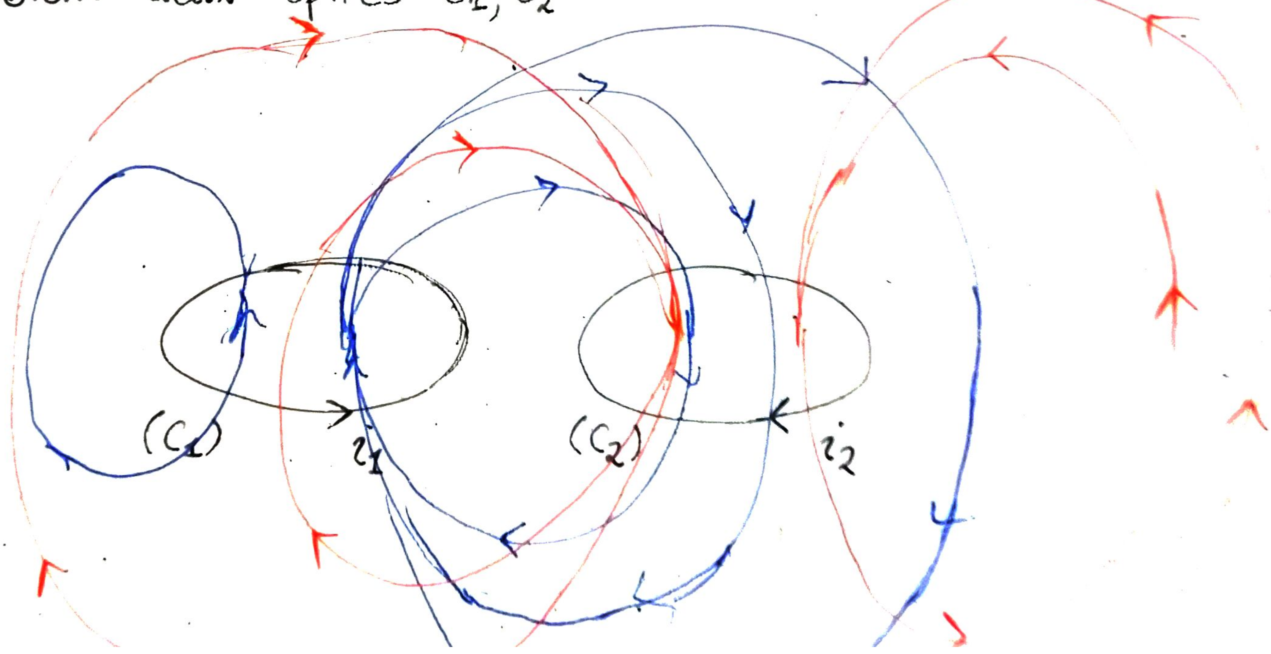
Pour le solénoide/bobine



$$u_{AB} = -e = L\frac{di}{dt}$$

4 Cas de 2 circuits en iteraction

Soient deux spires C_1, C_2



C_1 crée un flux propre $\phi_{11} = L_1 i_1$

C_2 crée $\phi_{22} = L_2 i_2$

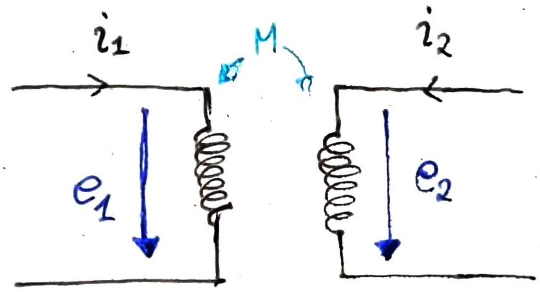
C_2 crée un flux $\phi_{21} = M i_2$

C_1 crée $\phi = M i_1$

= (admis)

avec M "coefficient d'inductance mutuelle"
en H
⟷ géométrie
$\gtrless 0$ selon les orientations

schéma électrique

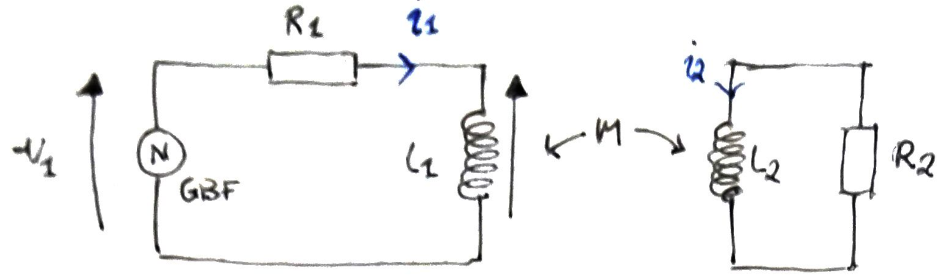


$$e_1 = -\frac{d\phi_1}{dt} = -\frac{d}{dt}(\phi_{11}+\phi_{21}) = -L_1\frac{di_1}{dt} - M\frac{di_2}{dt}$$

$$e_2 = -\frac{d\phi_2}{dt} = -\frac{d}{dt}(\phi_{22}+\phi_{12}) = -L_2\frac{di_2}{dt} - M\frac{di_1}{dt}$$

Il y a une interdépendance ou couplage entre les 2 circuits
Ce qui permet de transférer des informations sans contact

Si on réalise



On a $\begin{cases} v_1 - R_1 i_1 - \left(L_1 \dfrac{di_1}{dt} + M \dfrac{di_2}{dt}\right) \end{cases}$ ie $v_1 = R_1 i_1 + L_1 \dfrac{di_1}{dt} + M\dfrac{di_2}{dt}$

$$0 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

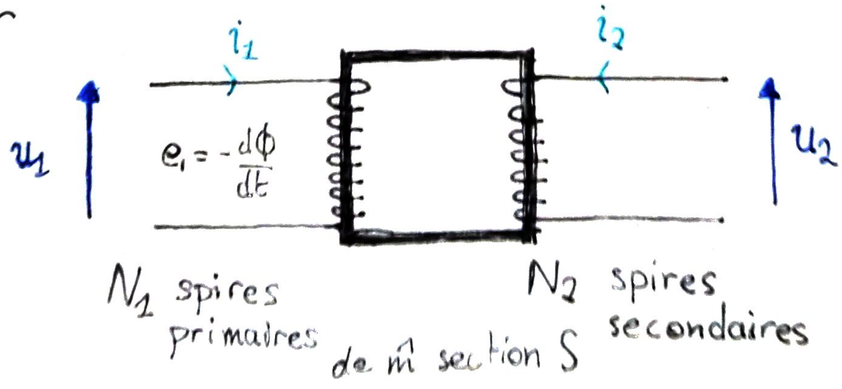
RSF : exprimons $\underline{v_1} \leftrightarrow \underline{i_1}$

$$\underline{v_1} = \underbrace{\left(R_1 + jL_1\omega - \frac{(jM\omega)^2}{R_2 + jL_2\omega}\right)}_{\underline{Z_1} \text{ impédance}} \cdot \underline{i_1}$$

le couplage est équivalent, vu du circuit c_1, a une impédance où R_2, L_2 et M interviennent (parce qu'il y a interdépendance)

5 Application

- transformateur



Si on alimente le primaire avec un courant i_1 alternatif

- Il crée un champ magnétique

⇒ autoinductance, apparition d'une fém $e_1 = -\frac{d\phi}{dt}$

⇒ le champ est canalisé par le matériau pour arriver jusqu'au secondaire

⇒ apparition d'une fém induite au secondaire

$$\begin{cases} u_1 = -e_1 = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt}(N_1 S B) = N_1 S \frac{dB}{dt} \\ u_2 = \qquad = N_2 S \frac{dB}{dt} \end{cases}$$

$$\boxed{\frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ : rapport de transformations}}$$

- Courant de Foucault

Les courants induits qui apparaissent dans un matériau peuvent provoquer du freinage induit

App pour les freins de camions, trains, ...

Inconv perte d'énergie par fx joule dans les transformateurs