LP. 21 : Induction électromagnétique

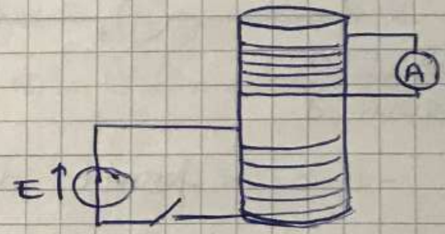
I Introduction.

1820 Hans Oersted montre courant permanent → champ magn.

Peut-on produire un courant à partir d'un champ magnétique?

1831 Michael Faraday : deux enroulements de fils sur un cylindre en [illegible] étaient reliés l'un à une pile par l'intermédiaire d'un interrupteur et l'autre à un ampèremètre.

Pag. 1081 Dunod Sanz PCSI.



Explication : quand l'interrupteur s'ouvre et se ferme → présence d'un courant.

CONCLUSION : variation de courant donne origine à un courant [illegible] dans le deuxième circuit.

Aujourd'hui le phénomène d'induction est utilisé ... chauffage via plaques d'induction, moteurs ... plaques à induction.
générateurs.

Le but de cette leçon : compréhension du phénomène

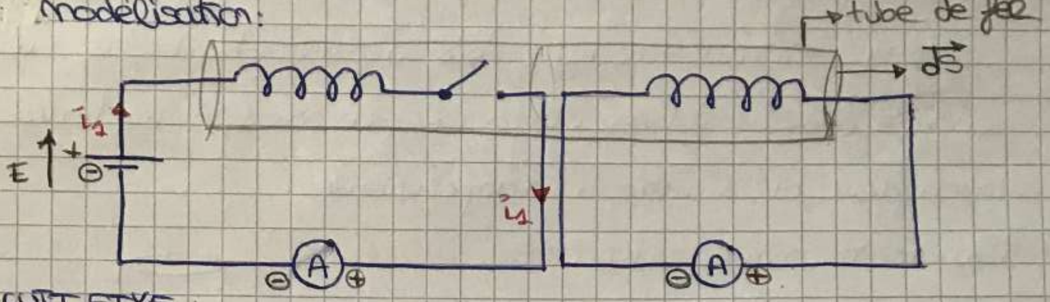
1. Loi de Faraday.

1.1 Expérience de Faraday.

Bien comprendre l'expérience montrée en introduction.

Influence du sens du courant? sens du courant induit?

modélisation:

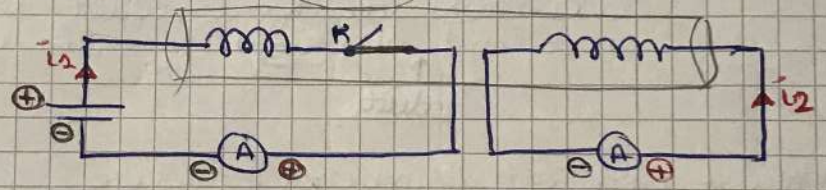


CIRCUIT FIXE

- Expérience 1.

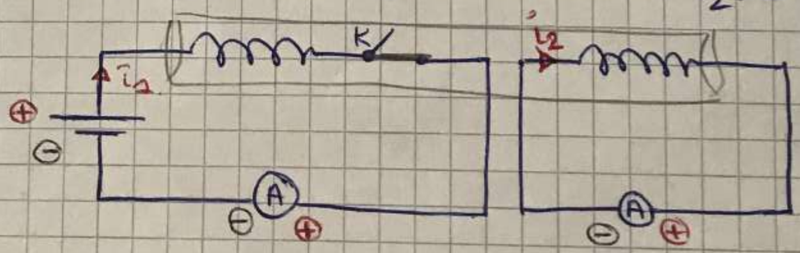
  - $t=0$: K ouvert donc $i_1=0$ et $i_2=0$.
  - $t>0$: K fermé et augm. progressive de $i_1>0$.

  on mesure $i_2<0$



- Expérience 2: suite de 1

  - $t'=0$ K fermé, $i_1>0$ et cte, $i_2=0$
  - $t'>0$ diminuer i_1 et constater $i_2>0$.



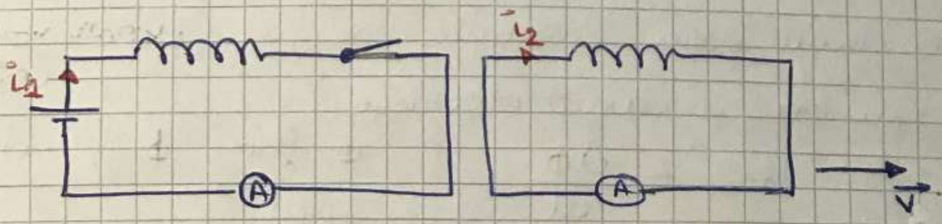
- Expérience 3: inverser la polarité du générateur → inversion des signes de i_1 et i_2

CIRCUITS MOBILES.

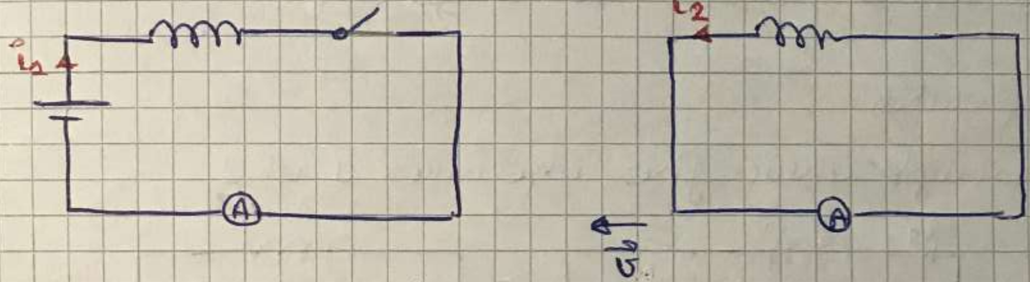
on bouge C_2 p/r à C_1:

- Expérience 1:
  - K fermé, $i_1 > 0$ et donc $i_2 = 0$.
  - on éloigne C_2 de C_1: on observe $i_2 > 0$

couplage magn ??



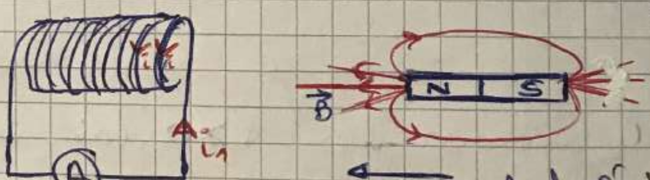
- Expérience 2: suite de 1.
  - on approche C_2 à C_1: on observe $i_1 < 0$.



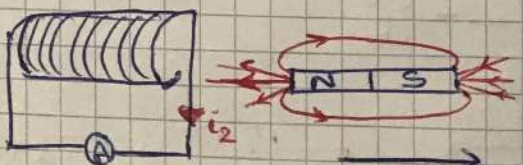
Le courant induit est d'autant plus intense que le déplacement est rapide.

EXPÉRIENCE AVEC AIMANT

mettre en évidence la dépendance de i avec la surface traversée, l'intensité du $\vec{B}$ créé par l'aimant et la vitesse du mvt.



mouvement de l'aimant.



mouv. de l'aimant

on observe $i_3 < i_1$

mouvement de l'aimant

on observe un courant que quand l'aimant bouge, c'est à dire quand $\vec{B}$ varie → lorsque le flux du champ magnétique qui traverse la surface de la spire varie

Faraday découvre que la variation temporelle du flux magn. à travers un circuit fermé (contour fermé plutôt?) engendre une force électromotrice induite, qui crée un courant électrique.

$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$ en volts!! ϕ : flux : $\phi = \iint \vec{B} \cdot \vec{dS}$

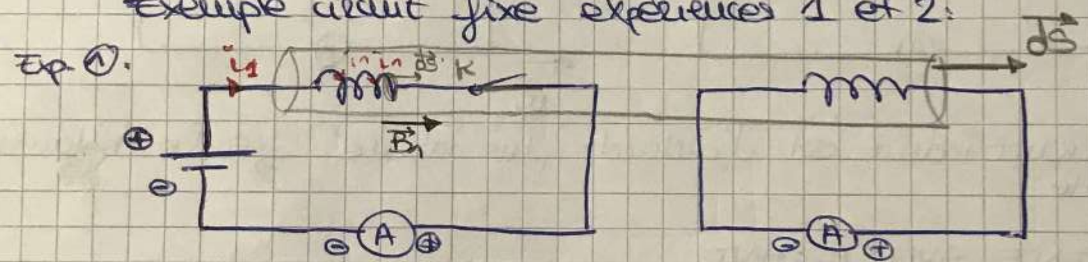
on voit bien que plus l'angle entre $\vec{B}$ et $\vec{S}$ est grand (jusqu'à $\pi/2$ évid.), moins de flux traversant aussi (comme dans l'exp.).

que ce sont les variations de $\vec{B}$ ou de $\vec{S}$ qui comptent (dérivée).

Interprétation: la faire après le point 1 2 Éq. de MF, je crois que c'est mieux

Exemple circuit fixe expériences 1 et 2:

Exp ①.



$t>0$ → augm. progr. de i_1. création de $\vec{B_1}$ règle main droite

on définit $\vec{dS}$ (comme on veut arbitraire)

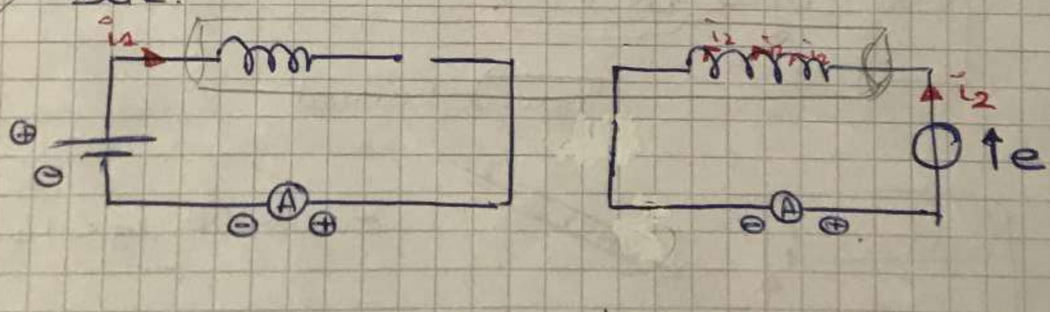
on l'a mis vers la droite ça change rien!!

le circuit C_2 voit un flux $\phi \geq 0$ car $\phi = \iint \vec{B} \cdot \vec{dS} = \vec{B} \cdot \vec{S}$

↳ l'orientation du contour nous donne l'orientation de $\vec{S}$. Dans ce cas on compte $i>0$. Si i alors $\vec{dS}$ vers la droite

et $e = -\frac{d\phi}{dt}$.

Donc:



› Le signe ⊖ indique que le sens du courant induit est tel qu'il tend toujours à s'opposer à la cause qui le produit. C'est ce qu'on appelle la loi de Lenz

---

1.2 Équation de Maxwell Faraday.

La force électromotrice est définie comme:

$$e = \oint_C \vec{E} \cdot \vec{dl}$$

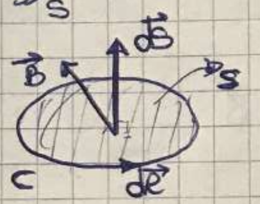
circulation de $\vec{E}$ autour d'un contour fermé C.

Soit S la surface qui repose sur ce contour fermé, on définit le flux ϕ:

$$\phi = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{dS}$$

flux du vecteur $\vec{B}$ à travers une surface S qui repose sur C.

$\vec{dS}$ est défini de forme ALÉATOIRE



En utilisant le théorème de stokes:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \longrightarrow \oint_C \vec{E} \cdot \vec{dl} = -\iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{dS}$$

↓ stokes

donc: $$\boxed{\vec{Rot}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}}$$ Équation de Maxwell Faraday.

Cette éq. permet de relier la création d'un champ élec à la variat temp de $\vec{B}$. Phénomène que nous avons mis en évidence grâce aux exp. précédentes:

↳ mettre l'interprétation

peut être pas ... je sais pas si le faire là ou après les rails de Laplace

2. Force électromotrice induite

2.1. Cadre de l'étude

Leçon Mathias

2.2. Champ électromoteur

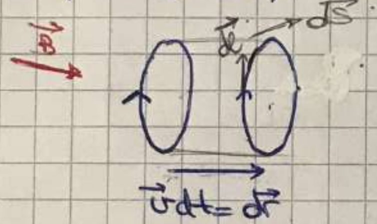
Leçon Mathias. Peut être sur diapos.

$$e = \oint \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{v} \wedge \vec{B} \right) \vec{d\ell} = \oint \vec{E_m} \cdot \vec{d\ell}$$

2.3. Induction de Lorentz.

Déplacement d'ensemble ou déformation du circuit par un champ magnétique stationnaire.

(regarder document)



$\vec{A} = \vec{0}$

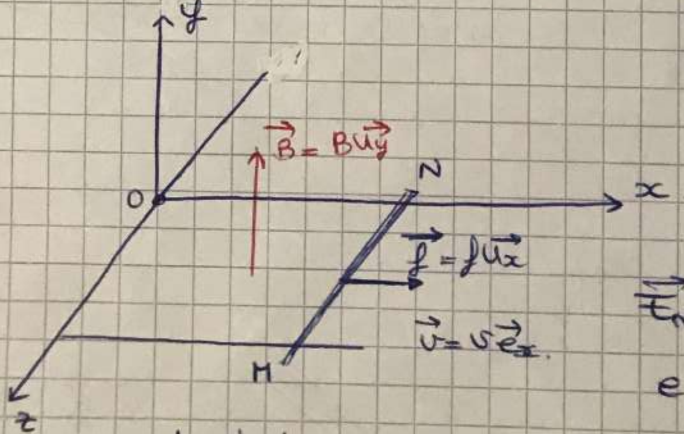
$$e = \oint (\vec{v} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{d\ell} = -\oint \underbrace{(\vec{v} \wedge \vec{d\ell})}_{\text{flux coupé}} \cdot \vec{B} = -\frac{1}{dt} \oint (\vec{dr} \wedge \vec{d\ell}) \cdot \vec{B} =$$

$$= -\frac{1}{dt} \oint \vec{dS} \cdot \vec{B}$$

on retrouve l'éq. de Faraday $e = -\frac{d\phi}{dt}$

Cette expression reste valable pour un circuit qui se déforme avec le temps.

• Exemple rails de Laplace (pag 1122 Dunod Sauz)



$|MN| = L$

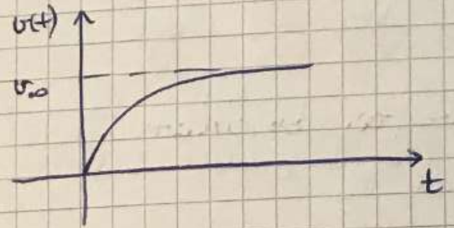
$$\vec{E_m} = \vec{v} \wedge \vec{B} = vB\,\vec{e_z}$$

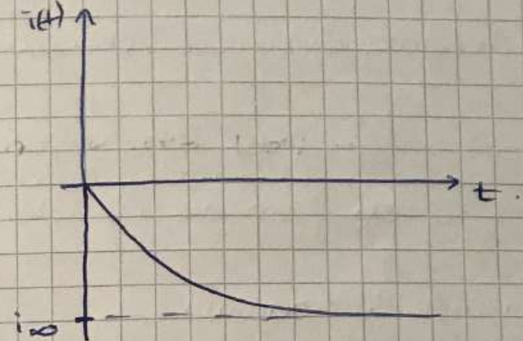
$$e = \oint_M^N E_m \cdot \vec{d\ell} = -vBL$$

on l'fait avec le flux aussi...

Faire l'éq. électrique et l'éq. mécanique.

On trouve $\begin{cases} v(t) = v_\infty\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) & \text{où } v_\infty = \frac{Rf}{(Ba)^2} \text{ et } \tau = \frac{mR}{(Ba)^2} \\ i(t) = i_\infty\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) & \text{où } i_\infty = -\frac{f}{Ba} \text{ et } \tau = \frac{mR}{(Ba)^2} \end{cases}$





La vitesse augmente de 0 à v_∞ (de) ce qui fait augmenter l'intensité de 0 à i_∞.

Regarder signe : $i < 0$.

Analyse qualitative qui sert à la vérification :

mvt circuit dans $\vec{B}$ uniforme (augm de la surface) → création d'un courant induit dans le circuit.

Quand le circuit est parcouru par un courant plongé dans un champ $\vec{B}$, elle subit la force de Laplace. D'après la loi de Lenz, cette force s'oppose à $\vec{f}$. (→ la barre MN)

→ Faire bilan de puissance. $P_L + P = 0$.

Conversion de puissance mécanique en électrique ... moteurs.
→ leçon Hugo.
Induction de Lorentz permet de réaliser des génératrices ou des moteurs.

Pour comprendre leur fonctionnement on s'appuie sur l'exemple du cadre tournant plongé dans un champ uniforme $\vec{B}$.

Si on met en rotation le cadre → induction de Lorentz car variation de ϕ → apparition d'une f.e.m création d'un courant. GÉNÉRATRICE.

MOTEUR. on applique un courant ...

Nous venons d'étudier l'induction pour un circuit mobile, il nous reste à comprendre le cas où le champ est variable : cas introduction on approche et on éloigne l'aimant au bobine et bobine

2.4. Induction de Neumann

Dans le réf. d'étude : $v=0$. donc :

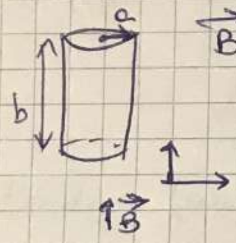
$$e = -\oint \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\cdot\vec{dl} = -\frac{d}{dt}\oint \vec{A}\cdot\vec{dl} \overset{\text{Stokes}}{=} -\frac{d}{dt}\iint \underbrace{\vec{rot}\,\vec{A}}_{=\vec{B}}\cdot\vec{dS}$$

dans le cadre d'un circuit indéformable. donc $e = -\frac{d\phi}{dt}$.

<u>Rq:</u> $e = -\frac{d\phi}{dt}$ peut être utilisé que pour des circuits fermés et filiformes, sinon il faut reprendre l'expression de f.em en intégrant Em.

- Courants de Foucault

Leçon de Hugo.



$$\vec{B} = B_0\cos(\omega t)\vec{u_z}$$

$$\phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = B_0\cos(\omega t)\,\pi r^2$$

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = B_0\,\omega\sin(\omega t)\,\pi r^2$$

Spire → longueur $2\pi r$. Conductance : $dG = \gamma\,\frac{\overset{\text{surface}}{dS}}{L} = \gamma\,\frac{dS}{2\pi r}$

courant : $di = dG\cdot e = \gamma\,\frac{dS}{2\cancel{\pi}\cancel{r}}\,B_0\,\omega\,\cancel{\pi}\, r^{\cancel{2}}\sin(\omega t)$

or $di = j\cdot dS \Rightarrow j(r,t) = \frac{\gamma\,\omega B_0\, r}{2}\sin(\omega t)$

Puissance dissipée par effet Joule : dans un volume $d\tau$: f.e.m

$$dP_J = \vec{j}\cdot\overset{\text{champ } \vec{E}}{\vec{E}}\,d\tau = \frac{j^2}{\gamma}\,d\tau$$

$$P_J = e\,i = \vec{j}\cdot\vec{dS}\ \ \vec{E}\cdot\vec{dl} = \vec{j}\cdot\vec{E}\,d\tau$$

loi d'Ohm : $\vec{j} = \gamma\,\vec{E}$

puissance moyenne dissipée : $\boxed{P = \frac{\pi}{16}\,\gamma\,\omega^2 B_0^2\, b\, a^4}$

↳ augmente vite avec a !!

Cette puissance dissipée par effet Joule permet de réaliser un chauffage, c'est le cas pour les plaques à induction.

courants induits dans la casserole → effet Joule.

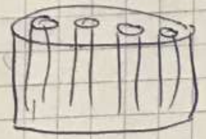
Ça peut être aussi un effet à éviter par exemple dans le cas d'un transformateur ? → regarder où on veut que toute l'énergie et la puissance serve à créer ...

Solution:

Nous avons intérêt à avoir des petits conducteurs car $\langle P \rangle$ varie avec @ rayon.

on divise en conducteurs petits. → technique de Foucaultage. ou feuilletage

$\langle P \rangle' = \frac{\langle P \rangle}{n}$ où n est le nb de petits ⊡



JE FINIRAIS LA LEÇON LÀ ET JE FERAIS UNE OUVERTURE SUR LE TRANSFORMATEUR ET LES COEFF D'INDUCTION...

Coeff d'induction → leçon de Hugo car il fait le cas général avec la loi de Biot et Savard.

$\phi_p = L \cdot I$ L : inductance propre

en convention récepteur on retrouve $u = L \cdot \frac{di}{dt}$ comme on a vu en électrocinétique.

$e = -\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow e = -L \cdot \frac{di}{dt}$ → conv. généré.

effets inductifs expliquent le fait que le courant doit être continu aux bornes d'un bobine. leçon mathias.

Inductance mutuelle : leçon Hugo

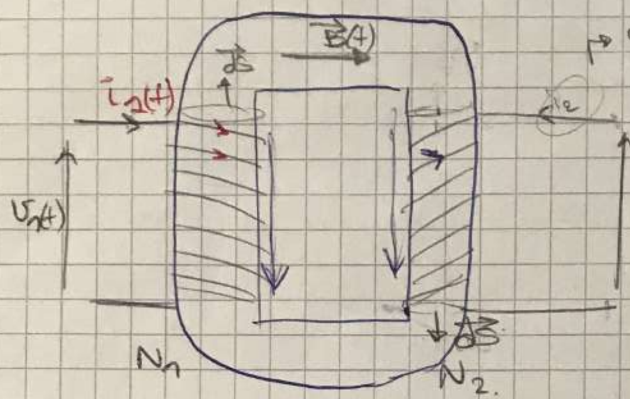
leçon mathias

on définit $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ le facteur couplage magnétique entre 2 circuits

Fort couplage : $k = 1$

Transformateur (Leçon maths). et PCSI Dunod page 1105

permet de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternat. en un syst. de tension et de courant de valeurs diff, mais de même fréq. et de même forme.



→ c'est la convention du sens positif du courant. ça ne veut pas dire que le courant induit soit dans ce sens. Il est dans le sens contraire en fait car $e < 0$.

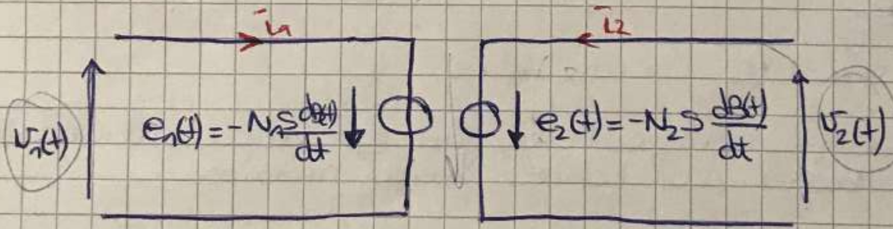
l'orientation de $\vec{i}$ nous impose l'orientation de $\vec{dS}$ car on a choisi l'orient du contour.

$\phi_1 = N_1 B(t) S$ $\phi_2 = N_2 B(t) S$

$e_1 = -\frac{d\phi_1}{dt} = -N_1 S \frac{dB(t)}{dt}$ $e_2 = -N_2 S \frac{dB(t)}{dt}$

Schéma equivalent:

Faire général (leçon maths)

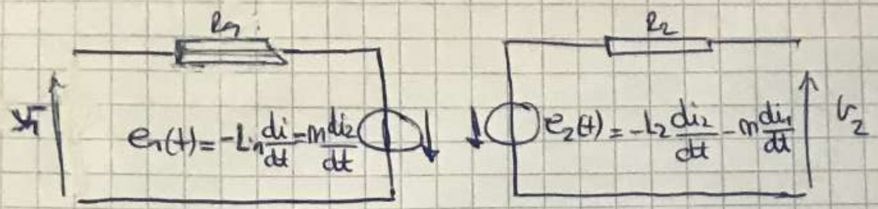


donc $v_1(t) = -e_1(t)$ et $v_2(t) = -e_2(t)$

$v_1(t) = N_1 S \frac{dB}{dt}$ et $v_2(t) = N_2 S \frac{dB}{dt}$.

Donc $\boxed{\frac{v_2(t)}{v_1(t)} = \frac{N_2}{N_1} = m}$ → rapport de transformation IDÉAL.

⚠ Ce n'est valable que pour des tensions alternatives. En régime indép. du temps : un transformateur ne laisse pas passer le continu.



on neglige R_1 et R_2

Donc $\begin{cases} u_1 = -e_1(t) = L_1 \dfrac{di_1}{dt} + M\dfrac{di_2}{dt} \\ u_2 = -e_2(t) = L_2\dfrac{di_2}{dt} + M\dfrac{di_1}{dt} \end{cases}$ $\rightarrow$ $\dfrac{di_1}{dt} = \dfrac{u_1 - M\cdot\dfrac{di_2}{dt}}{L_1}$

on trouve:

$$u_2 = L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + \frac{M}{L_1}\cdot\left(u_1 - M\cdot\frac{di_2}{dt}\right)$$
$$= \left(L_2 - \frac{M^2}{L_1}\right)\cdot\frac{di_2}{dt} + \frac{M}{L_1}u_1$$

on suppose k sevré $\rightarrow |M| \simeq \sqrt{L_1 L_2}$

et donc: $\boxed{\dfrac{u_2(t)}{u_1(t)} \simeq \dfrac{M}{L_1}}$

On suppose transfo fonctionne à vide ($i_2 = 0$)

$N_1 \phi = L_1 \cdot i_1$ $\quad N_2\phi = M \cdot i_1$ $\rightarrow$ on obtient $\boxed{\dfrac{u_2(t)}{u_1(t)} \simeq \dfrac{N_2}{N_1}}$