

# Électromagnétisme

## S20 Inductance, énergie magnétique

Iannis Aliferis

*Université Nice Sophia Antipolis*

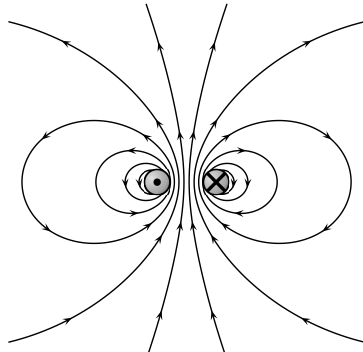
|   |           |
|---|-----------|
| <b>Spires et flux magnétique</b>                        | <b>2</b>  |
| Multiplier le flux et la fem . . . . .                  | 3         |
| <b>Inductance mutuelle</b>                              | <b>4</b>  |
| Inductance mutuelle . . . . .                           | 5         |
| Exemple: le transformateur . . . . .                    | 6         |
| <b>Inductance propre</b>                                | <b>7</b>  |
| Inductance propre . . . . .                             | 8         |
| <b>Inductance propre en électronique</b>                | <b>9</b>  |
| Comment placer la fem de l'inductance propre? . . . . . | 10        |
| <b>Énergie magnétique</b>                               | <b>11</b> |
| Énergie magnétique dans une bobine . . . . .            | 12        |
| Énergie magnétique . . . . .                            | 13        |

## Spires et flux magnétique

2

### Multiplier le flux et la fem

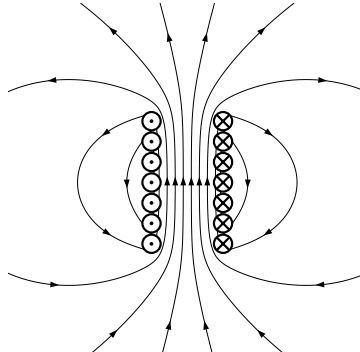
▼ De la boucle de courant à la bobine



Auteur : Geek3 / CC-BY-SA

$$\Phi_{B1} = \int_{S_1} \vec{B} \cdot \hat{n} dS$$

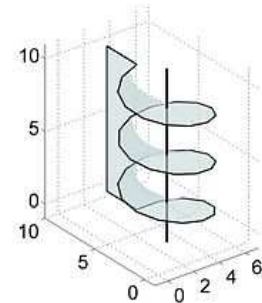
$$fem_1 = -\frac{d\Phi_{B1}}{dt}$$



Auteur : Geek3 / CC-BY

$$\Phi_{BN} = N\Phi_{B1}$$

$$fem_N = Nfem_1$$



Auteur : M. Lenz / CC-BY-SA

$$\Phi_{BN} = \int_{S_N} \vec{B} \cdot \hat{n} dS$$

$$fem_N = -\frac{d\Phi_{BN}}{dt}$$

3

## Inductance mutuelle

4

### Inductance mutuelle

▼ Deux circuits séparés (p.ex. solénoïde et boucle)

▼ Courant  $I_1 \Rightarrow \vec{B}_1 \Rightarrow \Phi_2$

$$\Phi_2 = \int_{S_2} \vec{B}_1 \cdot \hat{n}_2 dS \quad \text{et} \quad \vec{B}_1 = \oint_{\Gamma_1} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 d\vec{l}_1 \wedge \hat{s}}{s^2}$$

▼ Le flux à travers le 2 est *proportionnel* au courant de 1 :

$$\Phi_2 = M_{21} I_1 \quad (1)$$

▼  $M_{21} = M_{12} = M$  inductance mutuelle entre les circuits

▼  $M$  : paramètre purement *géométrique*

▼ Variations de  $I_1$  génèrent un courant  $I_2 = fem_2/R_2$  :

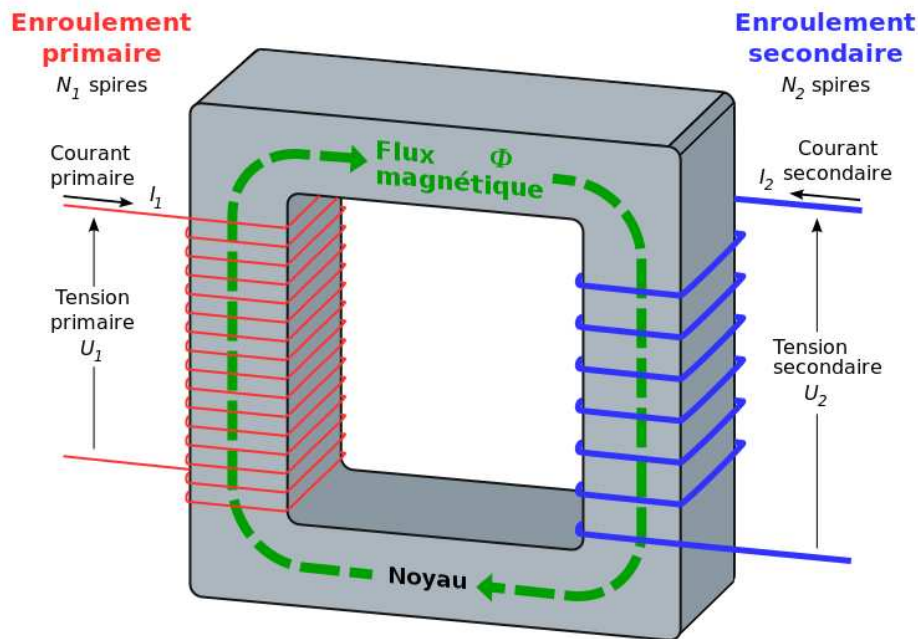
$$fem_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (2)$$

[induction]

5



## Exemple : le transformateur



Auteur : Bilic / CC-BY-SA

6

## Inductance propre

7

## Inductance propre

- ▼ Même phénomène [inductance mutuelle] avec un seul circuit !
- ▼ Courant  $I \Rightarrow \vec{B} \Rightarrow \Phi_B$

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} \, dS \quad \text{et} \quad \vec{B} = \oint_{\Gamma} d\vec{B} = \oint_{\Gamma} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \wedge \hat{s}}{s^2}$$

- ▼ Le flux à travers le circuit est *proportionnel* à son courant :

$$\Phi_B = LI \tag{3}$$

- ▼  $L$  : inductance propre ("self") toujours  $> 0$
- ▼ paramètre purement *géométrique*
- ▼ unités Henry :  $H = \text{Wb A}^{-1} = \text{T m}^2 \text{A}^{-1} = \text{V s A}^{-1}$
- ▼ Variations de  $I$  génèrent une fem ... :

$$\text{fem} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \tag{4}$$

... qui s'oppose aux variations !

surtout si  $L$  ou  $\frac{dI}{dt}$  élevés

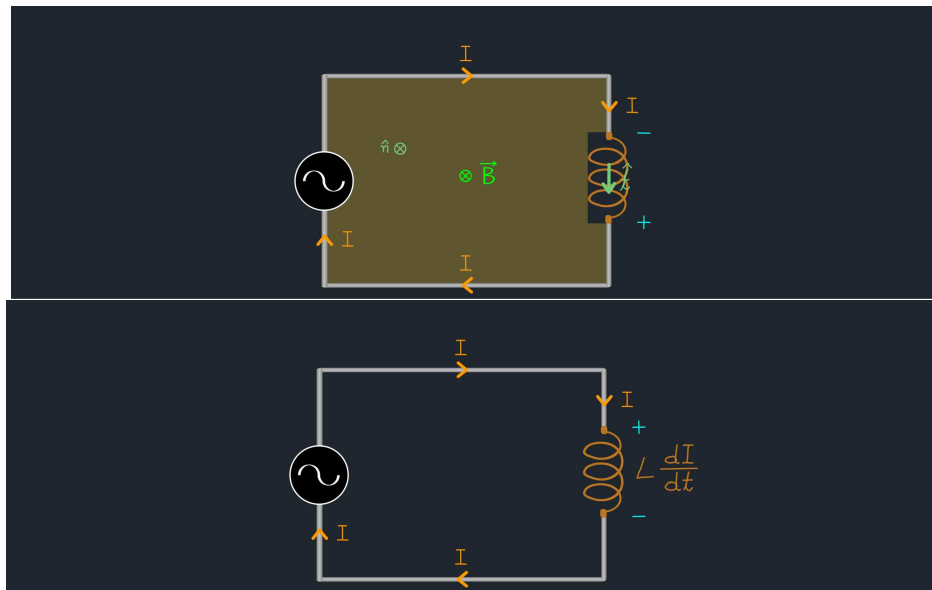
8



## Inductance propre en électronique

9

Comment placer la fem de l'inductance propre ?



[inductance propre]  $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS = LI \quad (L > 0)$

- ▼ sens de  $I \rightarrow \vec{B}$  (règle main droite)
- ▼ sens de  $\hat{t} \rightarrow \hat{n}$  (règle main droite)
- ▼  $L > 0$  : il faut choisir  $\hat{t}$  dans le sens du courant

$$\text{fem} = -L \frac{dI}{dt}$$

- ▼ La fem s'oppose *aux variations* du courant

10

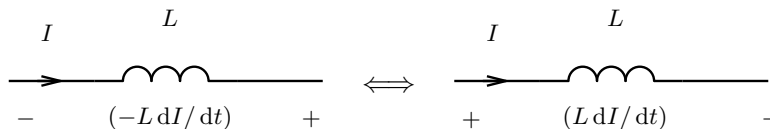


## Énergie magnétique

11

### Énergie magnétique dans une bobine

[inductance propre électronique]



▼ Puissance « consommée » : emmagasinée dans la bobine

$$P = UI = \left( L \frac{dI}{dt} \right) I$$

▼  $P > 0$  quand  $I \uparrow$

▼  $I(t = 0) = 0$  et  $I(t = t_0) = I_0$

▼ Énergie magnétique stockée dans la self :

$$\mathcal{U}_m = \int_0^{t_0} P(t) dt = \int_0^{I_0} LI dI = \frac{1}{2} LI_0^2 \quad (5)$$

▼ L'énergie dépensée pour vaincre l'opposition et établir le courant  $I_0$

12



## Énergie magnétique

- ▼ Stockée dans le champ magnétique de la bobine
- ▼ Sans démonstration : la (5) devient

$$\mathcal{U}_m = \frac{1}{2} \int_V \frac{1}{\mu_0} B^2(\vec{r}) dV \quad (6)$$

- ▼  $B^2/(2\mu_0)$  : densité volumique d'énergie ( $\text{J m}^{-3}$ )
- ▼ Intégrer *partout dans l'espace* !
- ▼ À comparer avec l'énergie électrostatique :

$$\mathcal{U}_e = \frac{1}{2} \int_V \epsilon_0 E^2(\vec{r}) dV$$

13

