

Électromagnétisme

S18 Force électromotrice

Iannis Aliferis

Université Nice Sophia Antipolis

Force électromotrice (fem)	2
Définition	3
Fem dans un circuit simple	4
Circuit simple	5
Fem dans un circuit en mouvement	6
Circuit en mouvement dans un champ magnétique	7
En dehors du champ magnétique	8
Phase d'entrée	9
Entièrement dans un champ magnétique	10
Phase de sortie	11
Récapitulatif	12
Flux magnétique dans un circuit en mouvement	13
En dehors du champ magnétique	14
Phase d'entrée	15
Entièrement dans un champ magnétique	16
Phase de sortie	17
Récapitulatif	18
Fem due au mouvement et flux magnétique	19
Récapitulatif	20

Force électromotrice (fem)

2

Définition

- ▼ fem ou \mathcal{E} : « force » électromotrice

$$\text{fem} \triangleq \oint_{\Gamma} \vec{f} \cdot \hat{t} \, dl$$

- ▼ Γ une courbe fermée [circulation] : le « circuit »
 ▼ \vec{f} *force* par charge : *provoque* et *maintient* le mouvement

$$\vec{f} \triangleq \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

1. fem *n'est pas* une force : unités Volt
2. L'intégrale est calculée à l'instant t

$$\text{fem}(t) \triangleq \oint_{\Gamma(t)} \vec{f}(\vec{r}, t) \cdot \hat{t} \, dl \quad (2)$$

[fem circuit simple]

[fem circuit en mouvement]

3



Fem dans un circuit simple

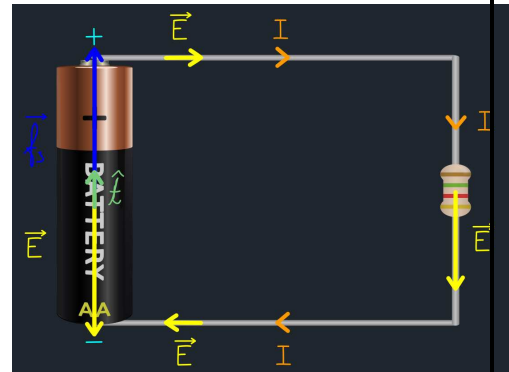
4

Circuit simple

- ▼ Pas en état d'*équilibre* : $v \neq 0$
- ▼ Mais en état *stationnaire* : $v(t)$ constant
- ▼ Courant I constant le long du circuit

$$I = \int_S \vec{J} \cdot \hat{n} dS = JA = nqvA = \sigma EA = \frac{E}{R'}$$

[loi d'Ohm électronique] $R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A}$ $R' \triangleq \frac{R}{L}$ ($\Omega \text{ m}^{-1}$)



Pile idéale (sans résistance interne) : $\Sigma \vec{F} = q\vec{E} + \vec{F}_s = \vec{0}$ donc $\vec{f}_s = -\vec{E}$

[fem]
$$\text{fem} = \oint_{\Gamma} \vec{f} \cdot \hat{t} dl \stackrel{\vec{f} = \frac{q\vec{E} + \vec{F}_s}{q}}{=} \oint_{\Gamma} (\vec{E} + \vec{f}_s) \cdot \hat{t} dl = \int_{-\rightarrow+} \vec{f}_s \cdot \hat{t} dl$$

$$\text{fem} = - \int_{-\rightarrow+} \vec{E} \cdot \hat{t} dl \quad \text{la ddp aux bornes de la pile !}$$

Polarité de la pile : selon \hat{t} (si $\hat{t}' = -\hat{t}$ alors $\text{fem}' = -\text{fem}$ placée à l'envers)

À chaque tour : gains [fem] (J C^{-1}), pertes RI (J C^{-1}), $v(\vec{r}, t + T) = v(\vec{r}, t)$

Conservation d'énergie $|\text{fem}| = RI$

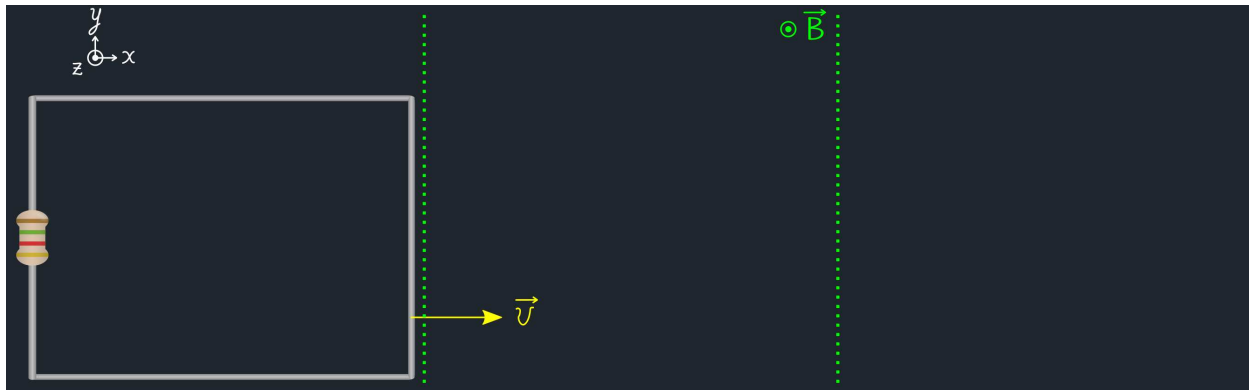
5



Fem dans un circuit en mouvement

6

Circuit en mouvement dans un champ magnétique



- ▼ Champ magnétique homogène et constant $\vec{B} = B\hat{e}_z$
- ▼ Circuit sans pile, déplacement à vitesse constante $\vec{v} = v\hat{e}_x$

7

En dehors du champ magnétique

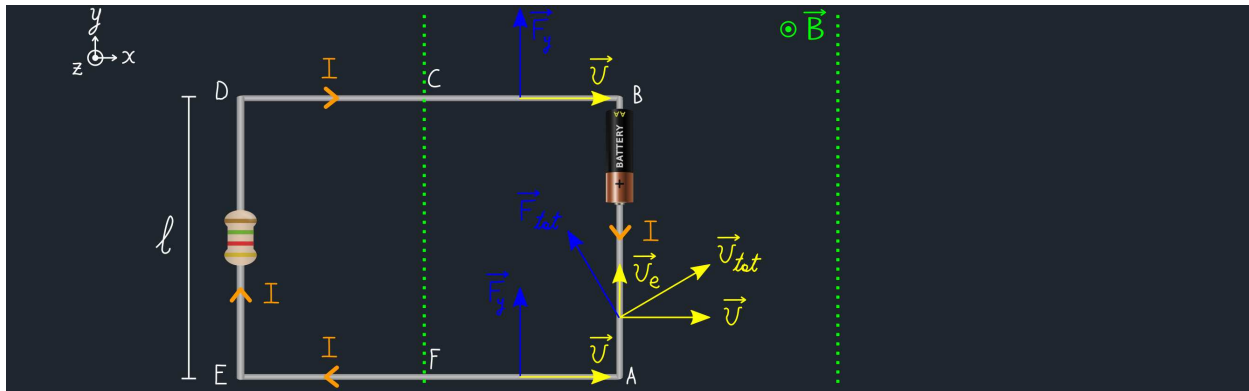


- ▼ $\vec{f} = \vec{0}$
- ▼ $\text{fem} = \oint_{\Gamma} \vec{f} \cdot \hat{t} \, dl = 0$

8



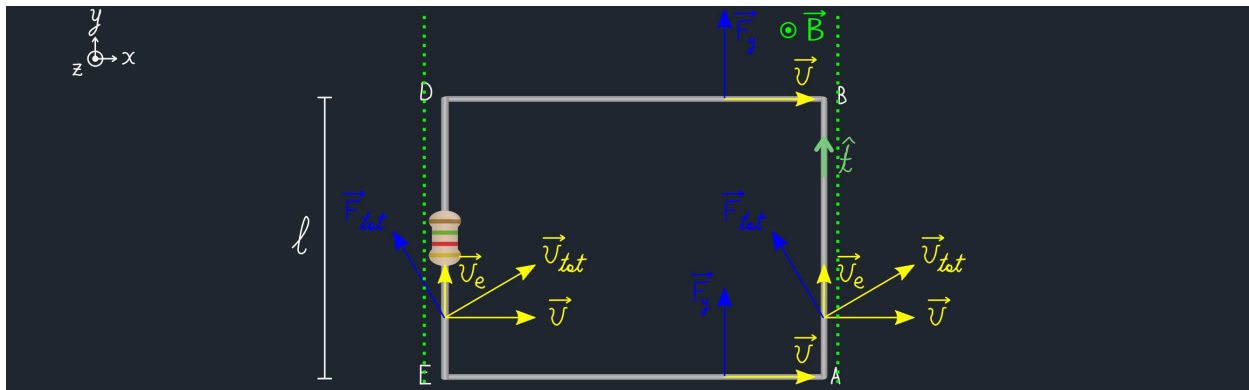
Phase d'entrée



- ▼ AB : $\vec{f} = \vec{v}_{\text{tot}} \wedge \vec{B} = (\vec{v} + \vec{v}_e) \wedge \vec{B} = -vB\hat{e}_y + v_eB\hat{e}_x$
- ▼ BC et FA : $\vec{f} = \vec{v} \wedge \vec{B} = -vB\hat{e}_y$
- ▼ $\text{fem}(t) = \oint_{\Gamma} \vec{f}(t) \cdot \hat{t} \, dl = \int_{A \rightarrow B} (-vB\hat{e}_y) \cdot \hat{e}_y \, dl = -vBl$

9

Entièrement dans un champ magnétique

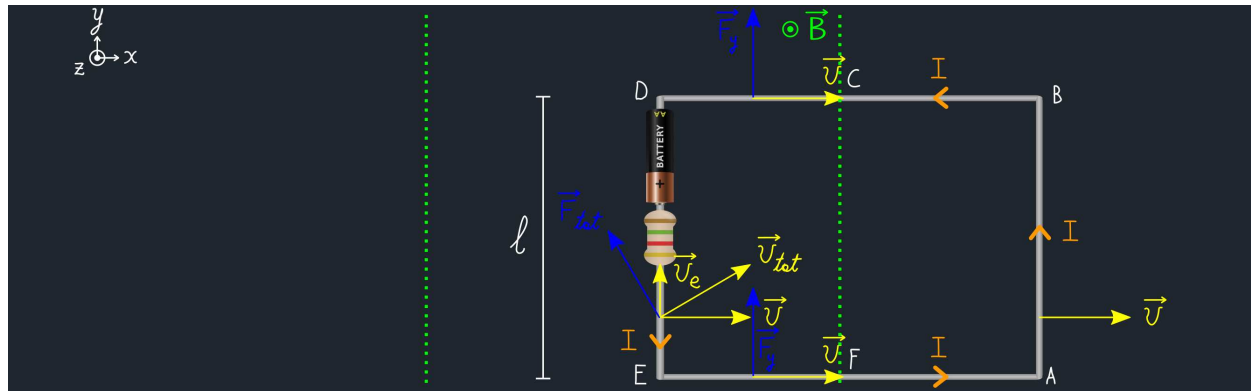


- ▼ AB et DE : $\vec{f} = \vec{v}_{\text{tot}} \wedge \vec{B} = (\vec{v} + \vec{v}_e) \wedge \vec{B} = -vB\hat{e}_y + v_eB\hat{e}_x$
- ▼ BD et EA : $\vec{f} = \vec{v} \wedge \vec{B} = -vB\hat{e}_y$
- ▼ $\text{fem}(t) = \oint_{\Gamma} \vec{f}(t) \cdot \hat{t} \, dl = \int_{A \rightarrow B} (-vB\hat{e}_y) \cdot \hat{e}_y \, dl + \int_{D \rightarrow E} (-vB\hat{e}_y) \cdot (-\hat{e}_y) \, dl$
 $= -vBl + vBl$
 $= 0$

10



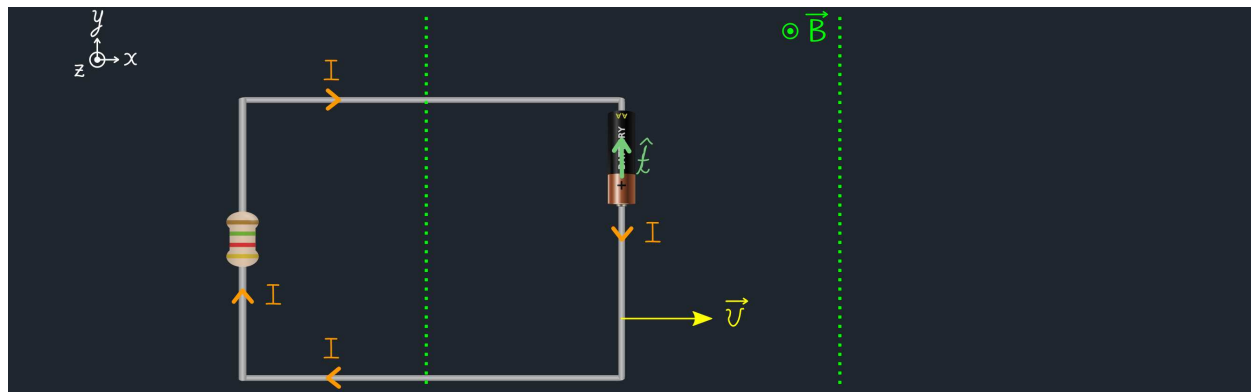
Phase de sortie



- ▼ DE : $\vec{f} = \vec{v}_{\text{tot}} \wedge \vec{B} = (\vec{v} + \vec{v}_e) \wedge \vec{B} = -vB\hat{e}_y + v_eB\hat{e}_x$
- ▼ CD et EF : $\vec{f} = \vec{v} \wedge \vec{B} = -vB\hat{e}_y$
- ▼ $\text{fem}(t) = \oint_{\Gamma} \vec{f}(t) \cdot \hat{t} \, dl = \int_{D \rightarrow E} (-vB\hat{e}_y) \cdot (-\hat{e}_y) \, dl = +vBl$

11

Récapitulatif



Position	fem
En dehors du champ magnétique	0
Phase d'entrée	$-vBl$
Entièrement dans le champ magnétique	0
Phase de sortie	$+vBl$

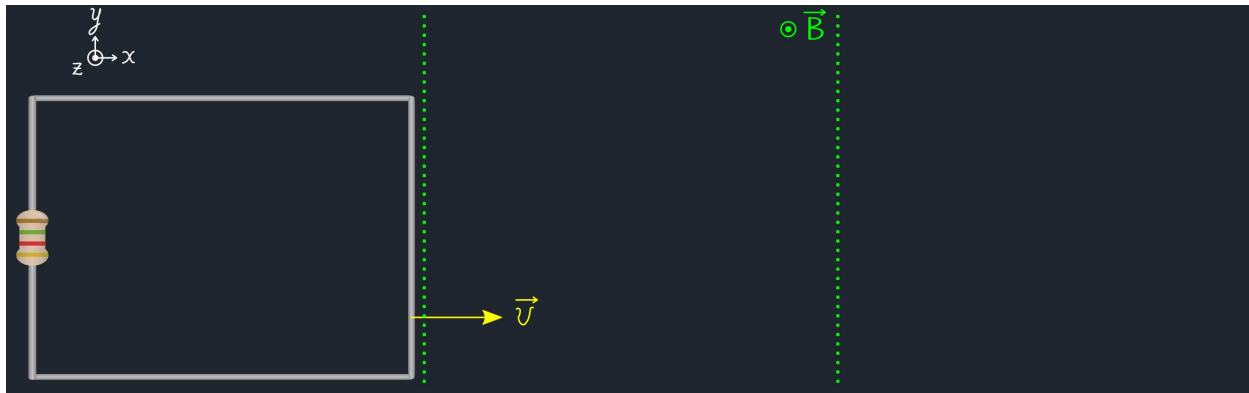
12



Flux magnétique dans un circuit en mouvement

13

En dehors du champ magnétique

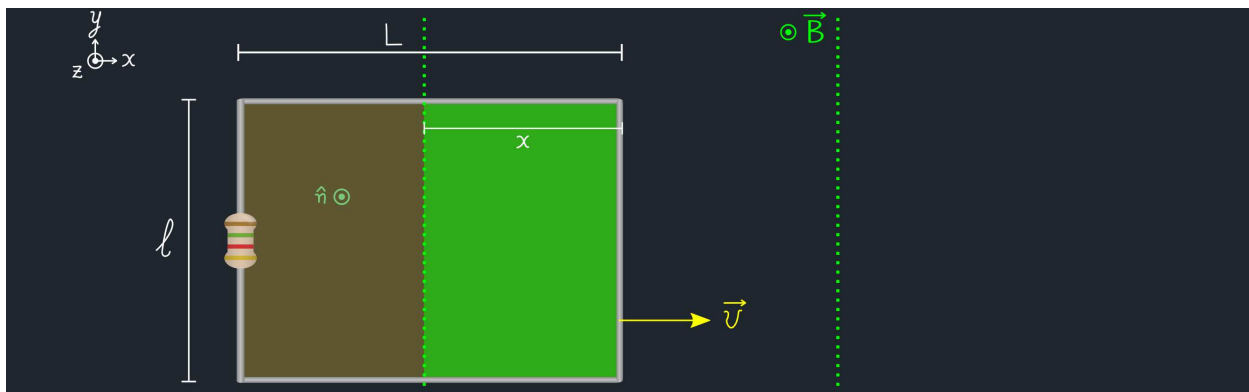


[fem circuit mouvement]

$$\Phi_B = \int_S \vec{B}(\vec{r}) \cdot \hat{n} \, dS = 0$$

14

Phase d'entrée

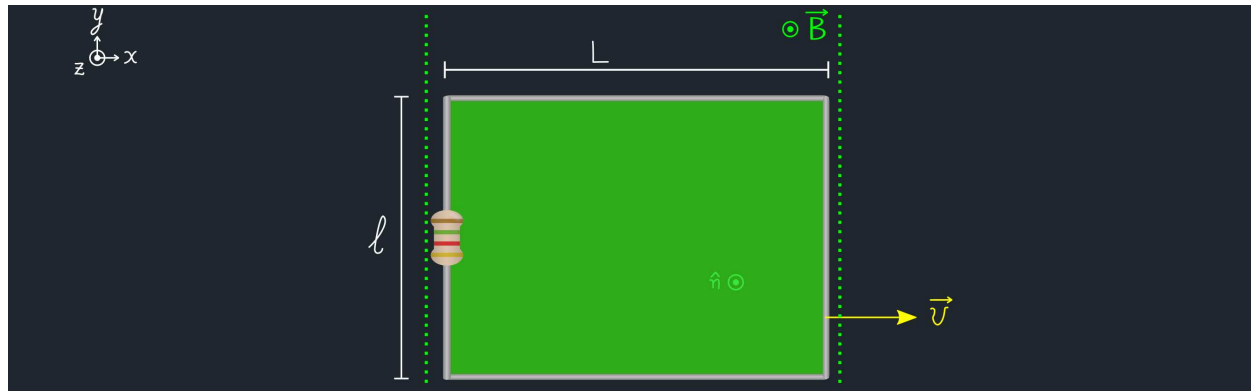


$$\Phi_B = \int_S \vec{B}(\vec{r}) \cdot \hat{n} \, dS = \int_S B(\vec{r}) \, dS = BA = Blx$$

15



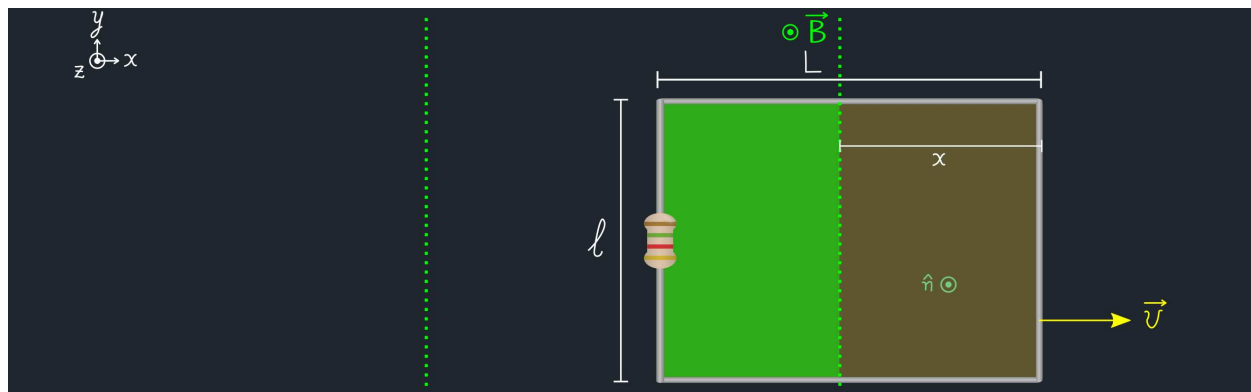
Entièrement dans un champ magnétique



$$\Phi_B = \int_S \vec{B}(\vec{r}) \cdot \hat{n} \, dS = \int_S B(\vec{r}) \, dS = BA = BLl$$

16

Phase de sortie

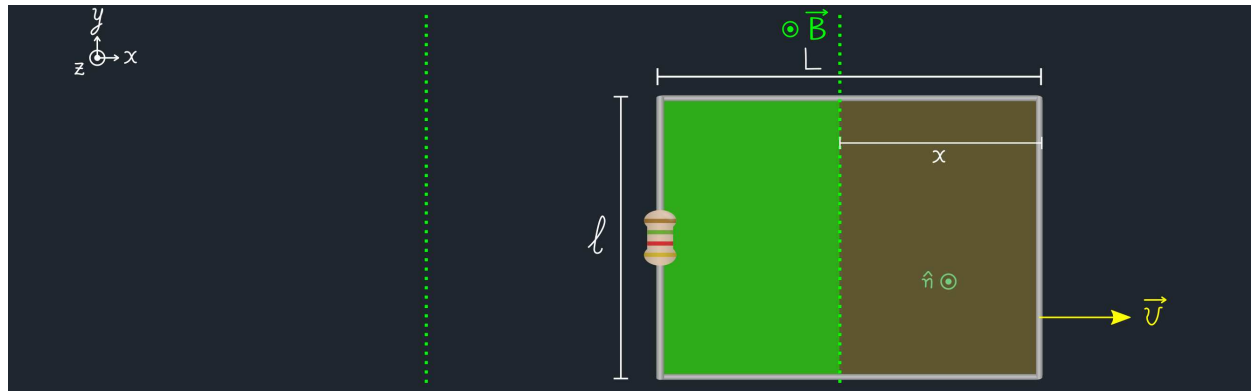


$$\Phi_B = \int_S \vec{B}(\vec{r}) \cdot \hat{n} \, dS = \int_S B(\vec{r}) \, dS = BA = Bl(L - x)$$

17



Récapitulatif



$$\Phi_B = \int_S \vec{B}(\vec{r}) \cdot \hat{n} dS$$

Position	Φ_B
En dehors du champ magnétique	0
Phase d'entrée	Blx
Entièrement dans le champ magnétique	BL
Phase de sortie	$Bl(L - x)$

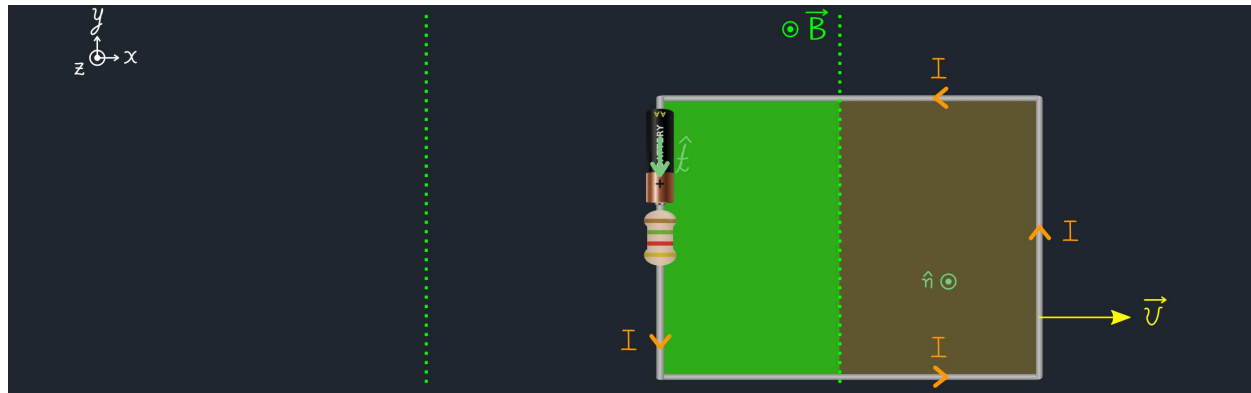
18



Fem due au mouvement et flux magnétique

19

Récapitulatif



$$\text{fem} = \oint_{\Gamma} \vec{f} \cdot \hat{t} \, dl \quad \Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} \, dS \quad \text{fem} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Position	fem	Φ_B	$d\Phi_B/dt$
Dehors	0	0	0
Phase d'entrée	$-Blv$	Blx	$+Bl \frac{dx}{dt} = +Blv$
Dedans	0	BlL	0
Phase de sortie	$+Blv$	$Bl(L-x)$	$Bl \frac{d(L-x)}{dt} = -Blv$

[opposition fem variations flux]

20

