

Bobine à noyau de fer



Bobine à noyau de fer

Introduction

Usage en continu

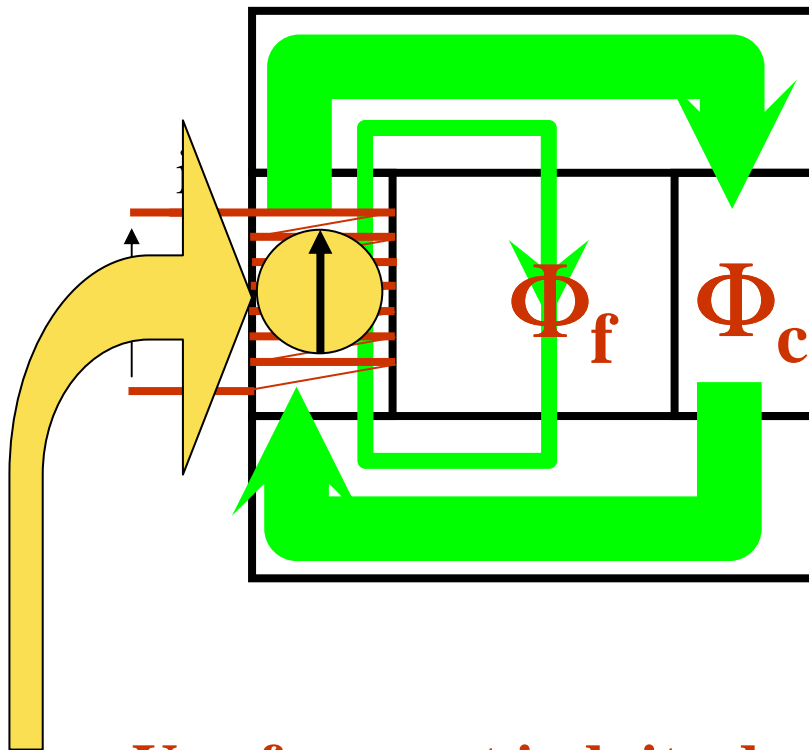
- I impose H
- Pertes uniquement dans les bobinages

Usage en alternatif

- V impose B
- Pertes dans le matériau

Bobine à noyau de fer

Conventions

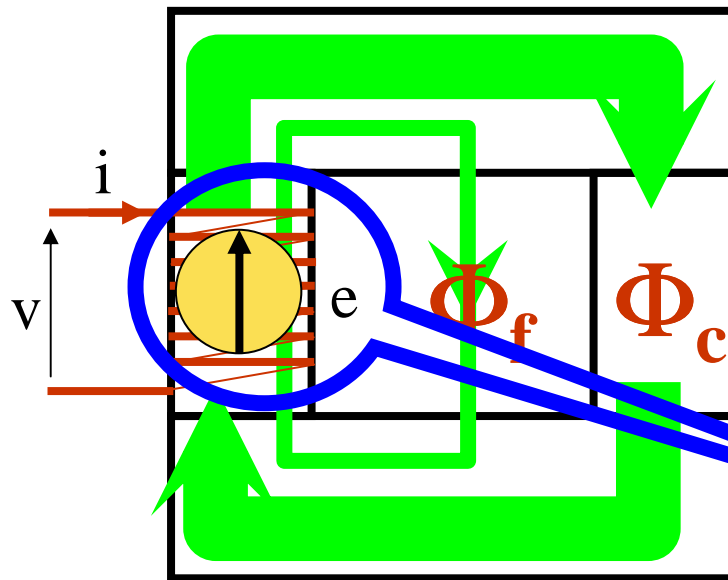


- On fixe un sens de la tension.
- Convention récepteur
- Flux suit la règle d'ampère

Une f.e.m. est induite dans l'enroulement qui s'oppose à la variation de flux

Bobine à noyau de fer

Conventions

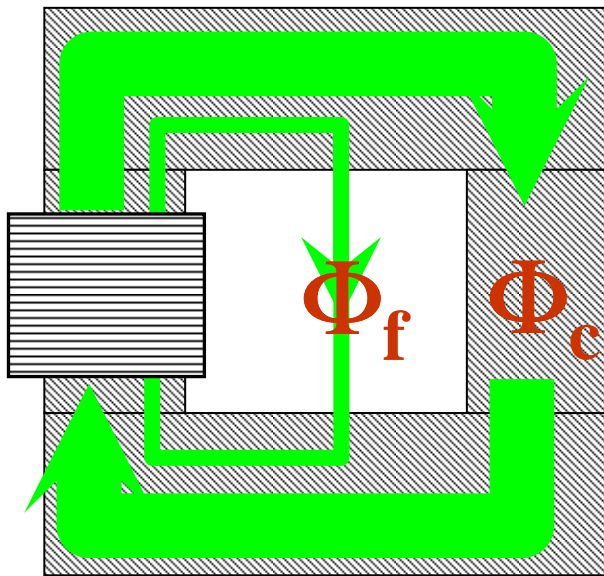


- On fixe un sens de la tension.
- Convention récepteur
- Flux suit la règle d'ampère

$$e = + \frac{d\Phi}{dt}$$

Bobine à noyau de fer

Flux



Flux Commun Total:

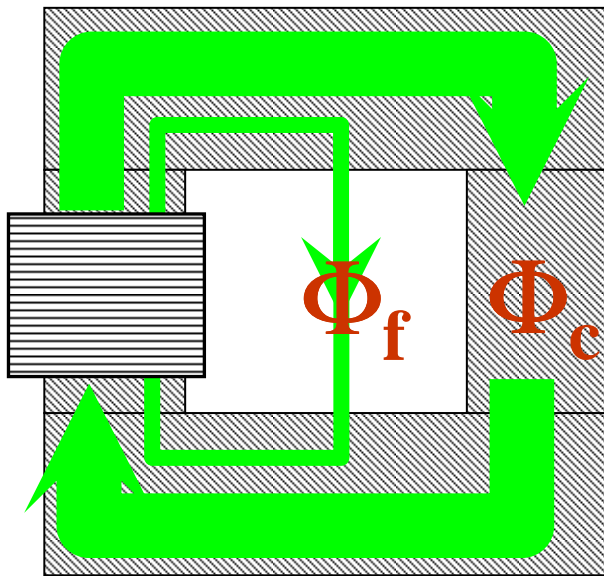
$$\Phi_c = N \cdot \phi_c$$

Flux de Fuites moyen:

$$\phi_f = \frac{1}{N} \sum_k \phi_{f_k} \text{ Pour 1 spire } k$$

Bobine à noyau de fer

Flux



Flux Commun Total:

$$\Phi_c = N \cdot \phi_c$$

Flux de Fuites Total:

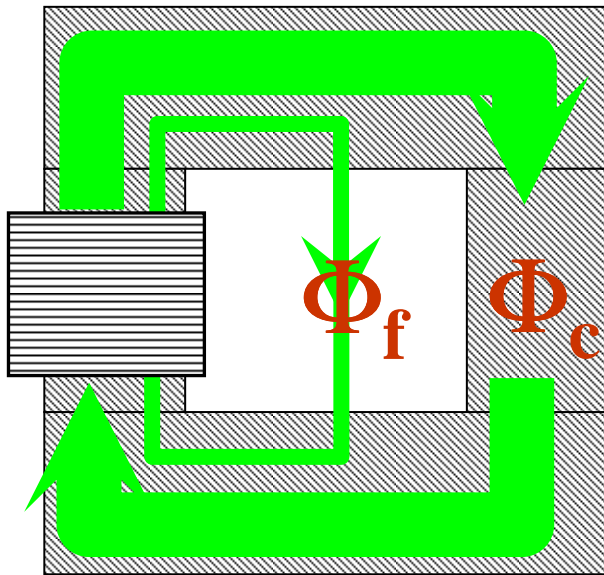
$$\phi_f = \frac{1}{N} \sum_k \phi_{f_k}$$

$$\Phi_f = N \cdot \phi_f$$

Pour 1 spire en moyenne

Bobine à noyau de fer

Flux

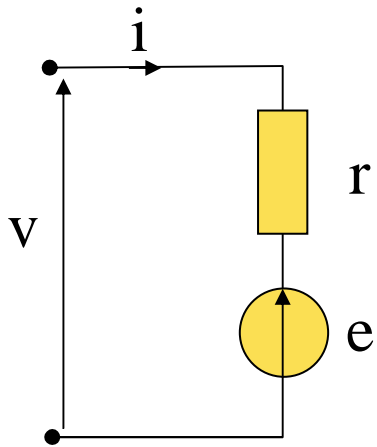


Flux Total:

$$\Phi = N \cdot \phi_c + l_f \cdot i$$

Qques %

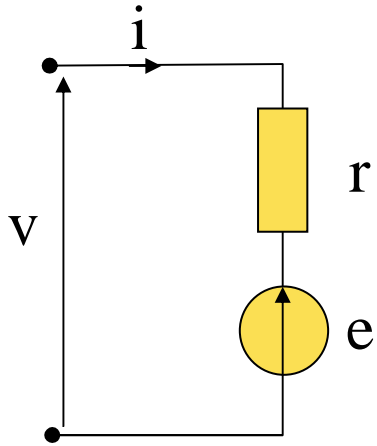
Equations générales



$$v = r.i + e$$

$$\text{or } \begin{cases} e = \frac{d\Phi}{dt} \\ \Phi = N.\phi_c + l_f.i \end{cases}$$

Equations générales



$$v = r.i + e$$

$$\text{or } \begin{cases} e = \frac{d\Phi}{dt} \\ \Phi = N.\phi_c + l_f.i \end{cases}$$

$$v = r.i + l_f.\frac{di}{dt} + N\frac{d\phi_c}{dt}$$

Equations générales

$$v = r.i + l_f . \frac{di}{dt} + N \frac{d\phi_c}{dt}$$

$$N.i = \mathfrak{R}_c . \phi_c$$

Hypothèses de KAPP

$$v = \cancel{r \cdot i} + l_f \cdot \frac{di}{dt} + N \frac{d\phi_c}{dt}$$

Chute ohmique négligeable devant la f.e.m induite

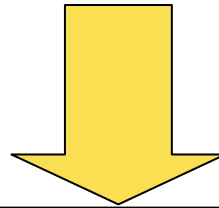
Hypothèses de KAPP

$$v = r.i + \cancel{l_f \cdot \frac{di}{dt}} + N \frac{d\phi_c}{dt}$$

Flux de fuite négligeable devant le flux commun

Hypothèses de KAPP

$$v = r.i + l_f . \frac{di}{dt} + N \frac{d\phi_c}{dt}$$



$$v = N \frac{d\phi_c}{dt}$$

- r faible
- fuites faibles

Hypothèses de KAPP

Expression du flux

$$v = N \frac{d\phi_c}{dt} \quad \text{devient}$$

$$\phi_c = \frac{1}{N} \int v . dt$$

Tension impose le flux

Hypothèses de KAPP

Expression du flux

$$\phi_c = \frac{1}{N} \int v . dt = \frac{V \sqrt{2}}{N \omega} \sin(\omega . t) + \phi_0$$

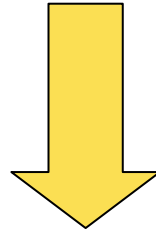


**Flux rémanent.
Négligé par la suite**

Hypothèses de KAPP

Expression du flux

$$\phi_c = \frac{1}{N} \int v \cdot dt = \frac{V\sqrt{2}}{N\omega} \sin(\omega.t) + \phi_0$$



$$\phi_c = \frac{V\sqrt{2}}{N\omega} \sin(\omega.t)$$

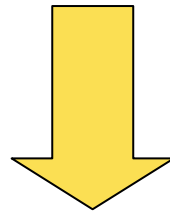
- Amplitude $\phi_M = \frac{V\sqrt{2}}{N\omega}$
- Pulsation ω
- Retard $\pi/2$ sur v

Tension impose le flux
Machine à Flux Forcé

Hypothèses de KAPP

Expression du flux

$$\phi_M = \frac{V \sqrt{2}}{N \omega}$$



$$V = 4,44.N.f.S.B_M$$

Relation de Boucherot

Hypothèses de KAPP

Courant appelé

Relation de Hopkinson

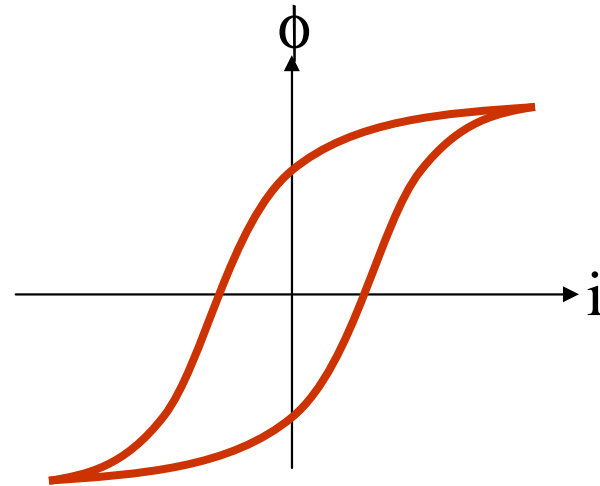
$$N.i = \mathfrak{R}_c \cdot \phi_c$$

$$\mathfrak{R}_c = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$$

Dépend du flux•

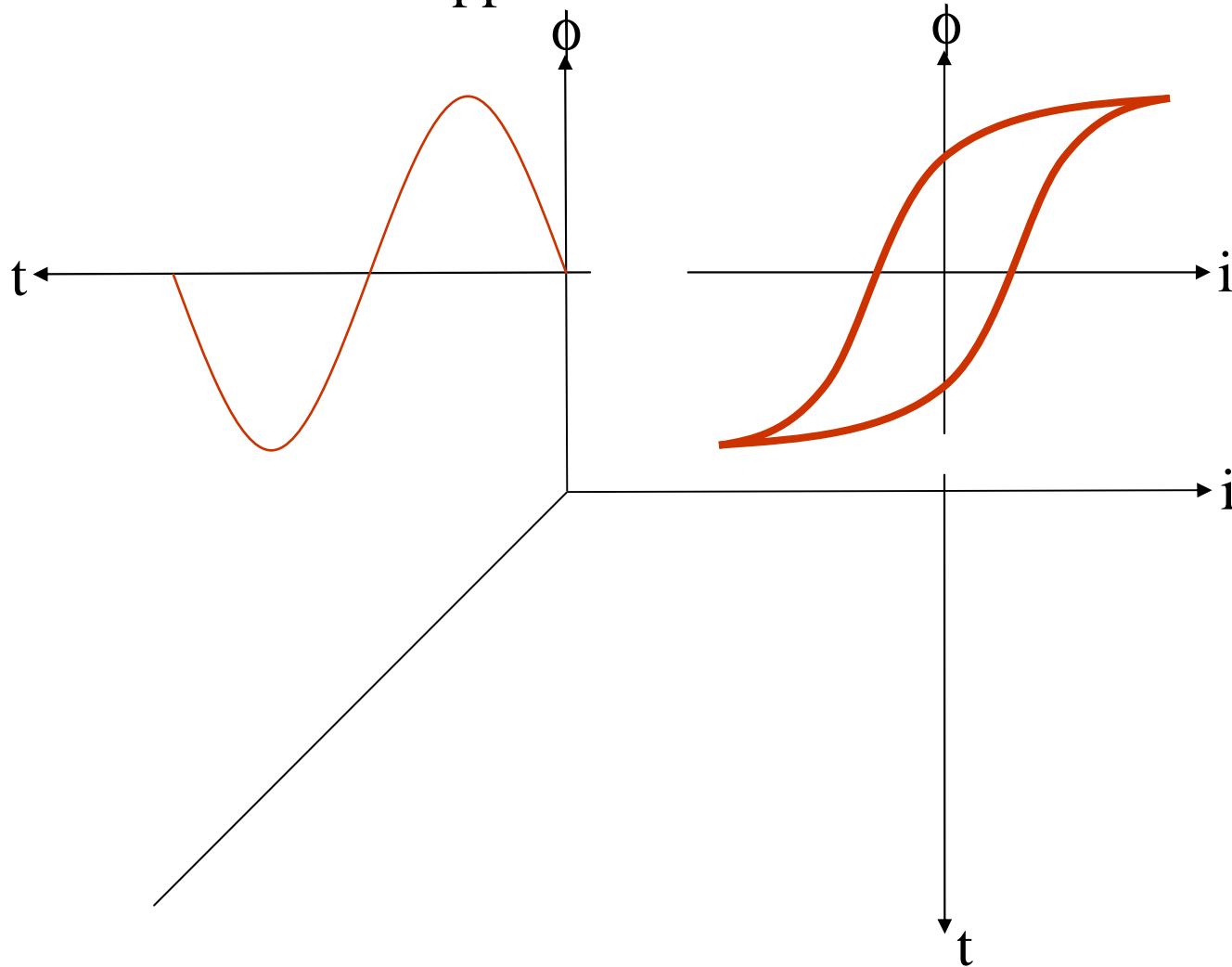
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



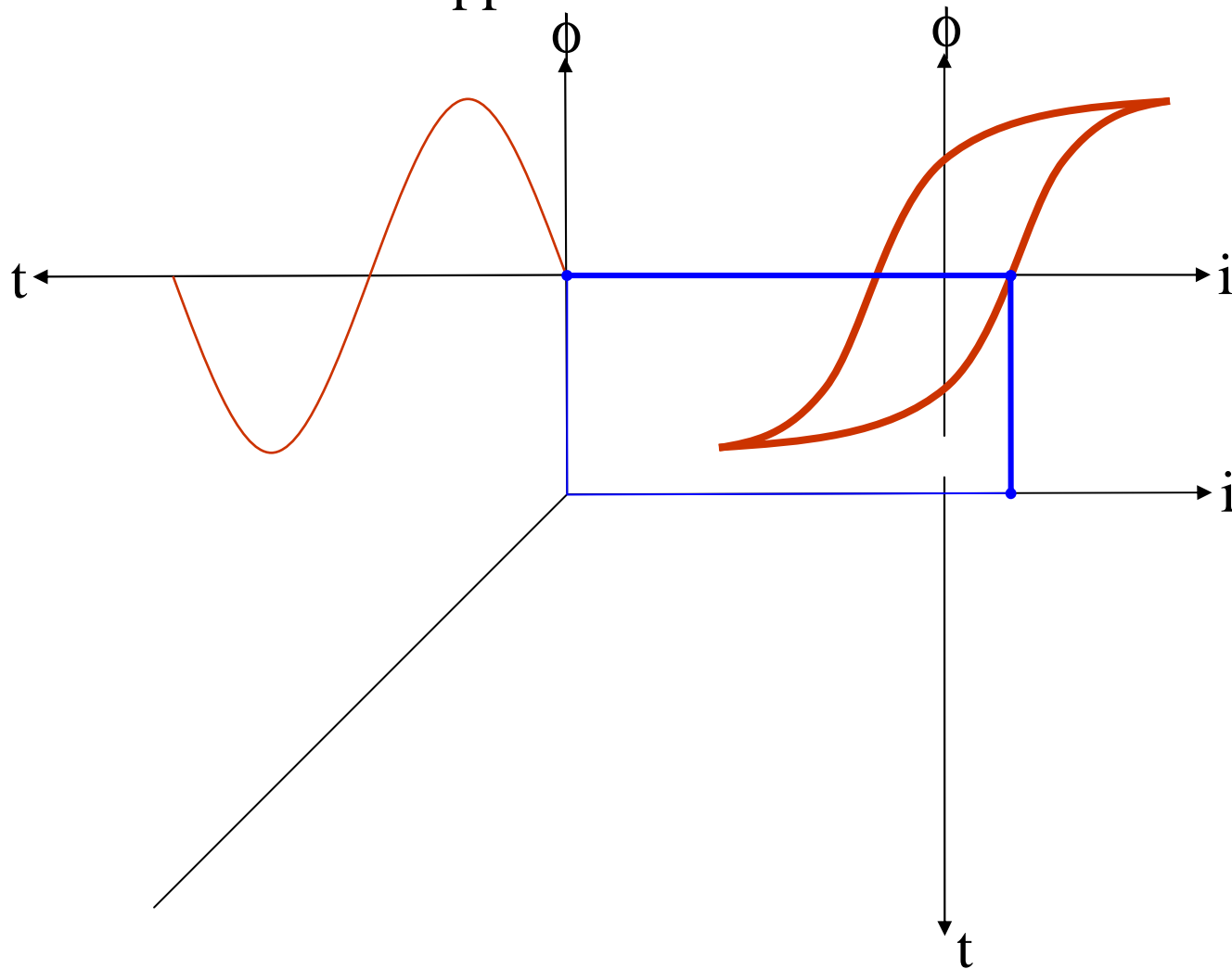
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



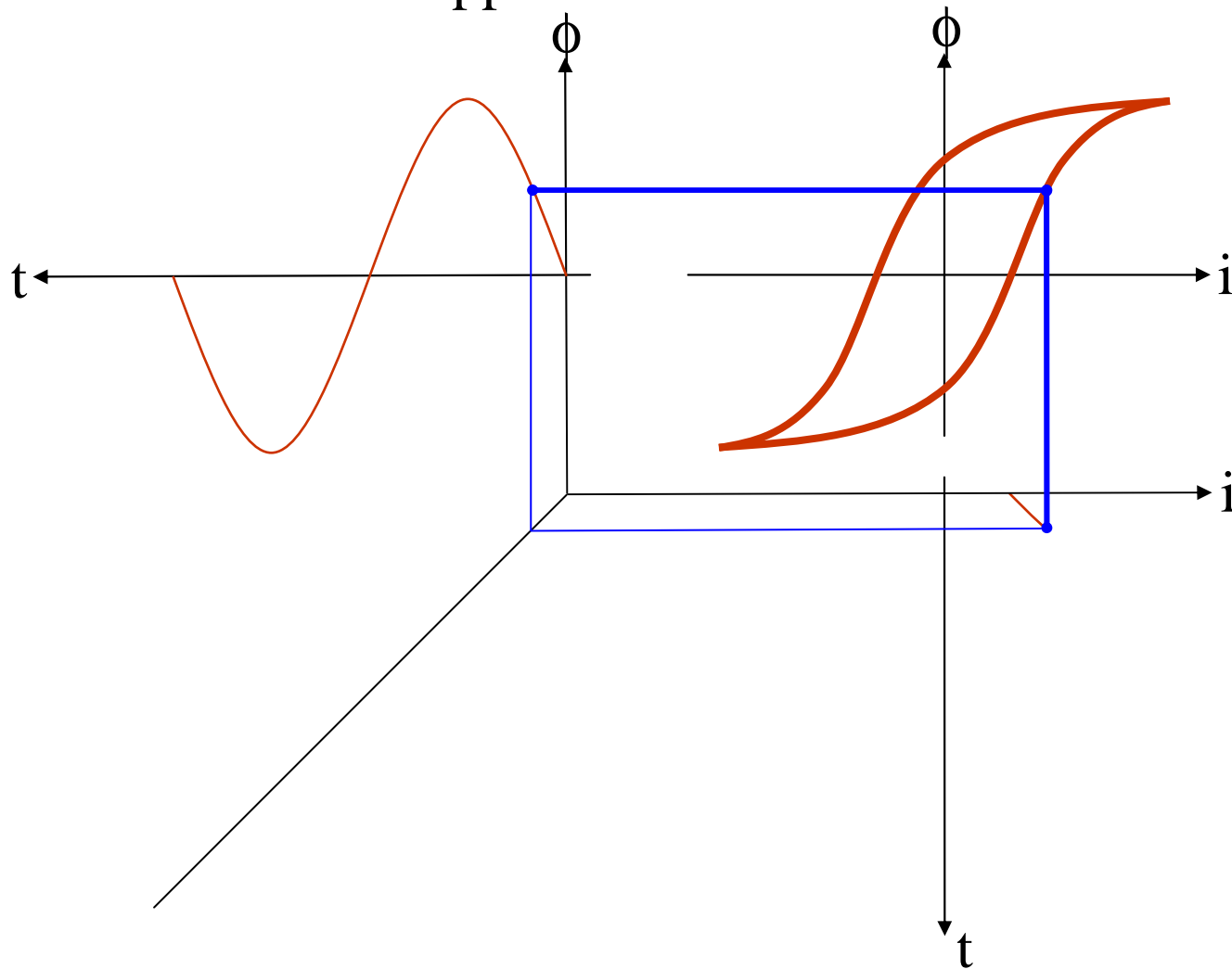
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



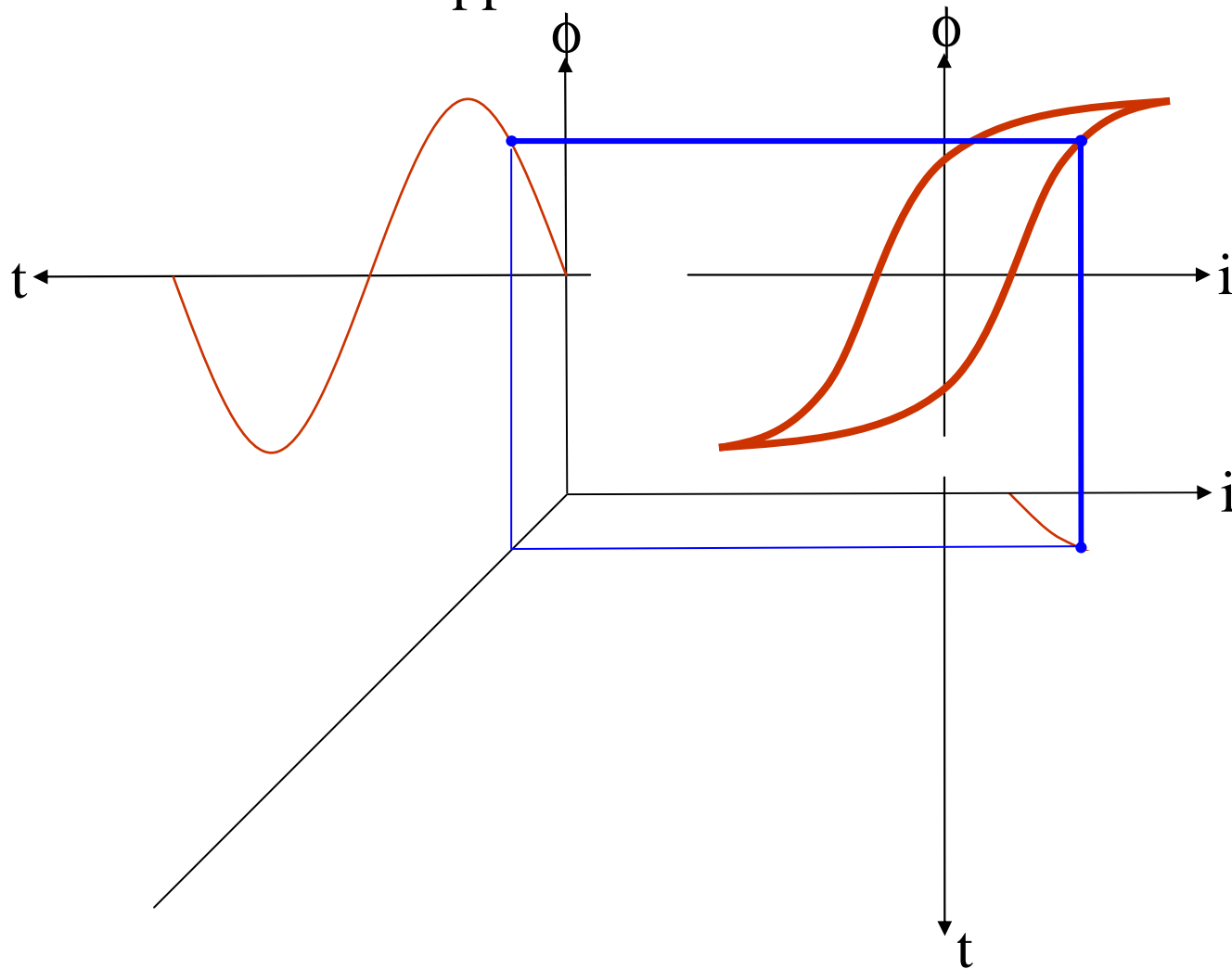
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



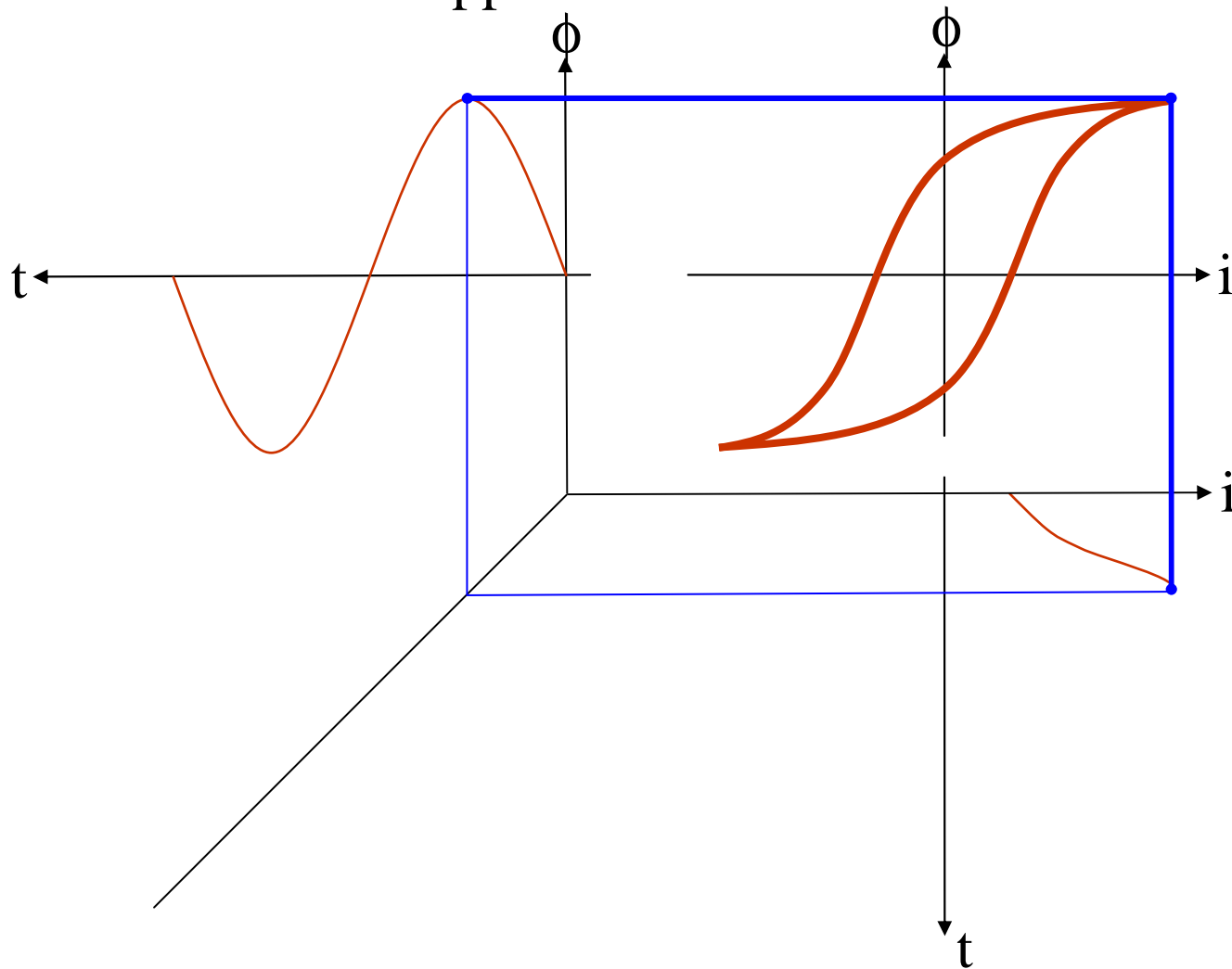
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



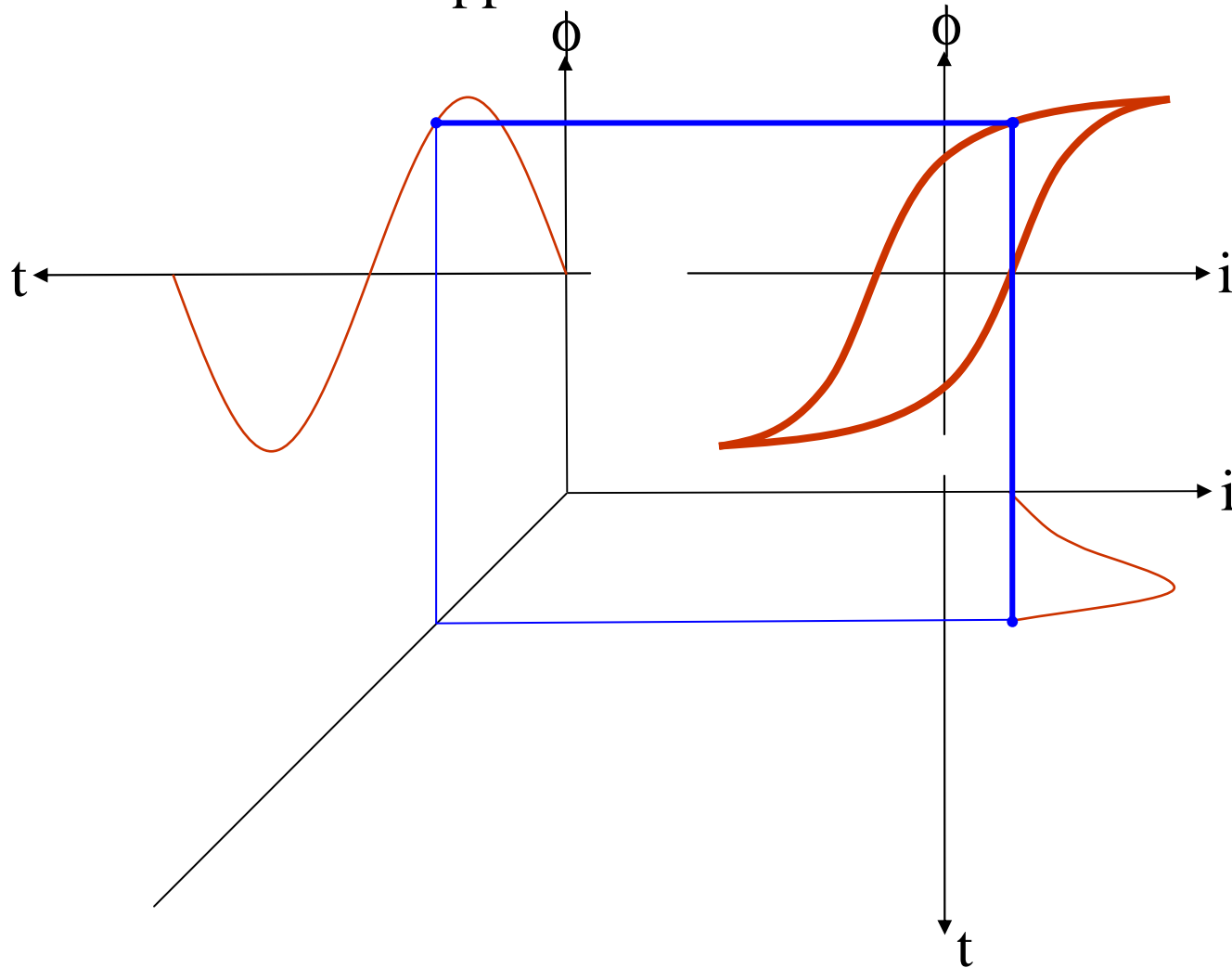
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



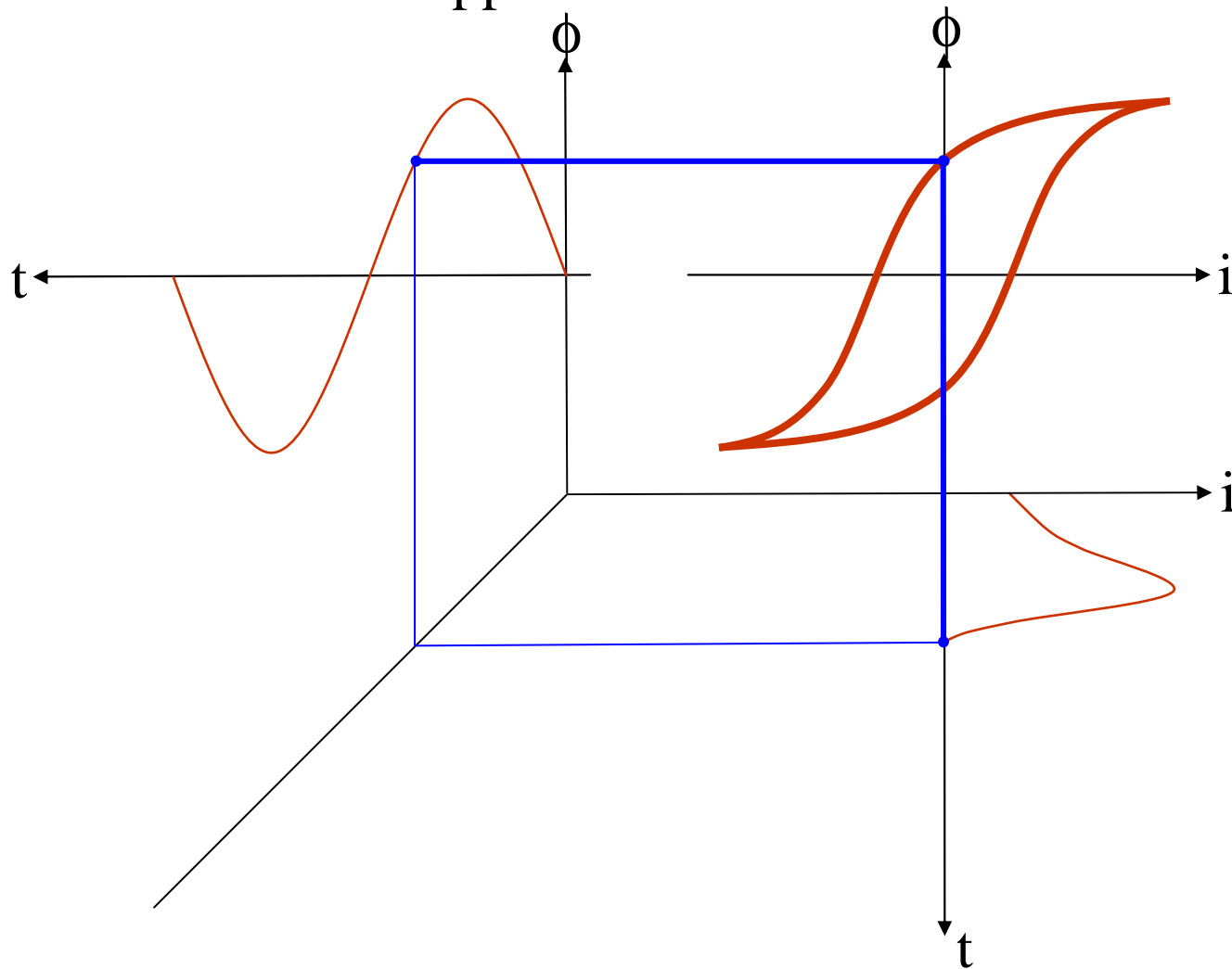
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



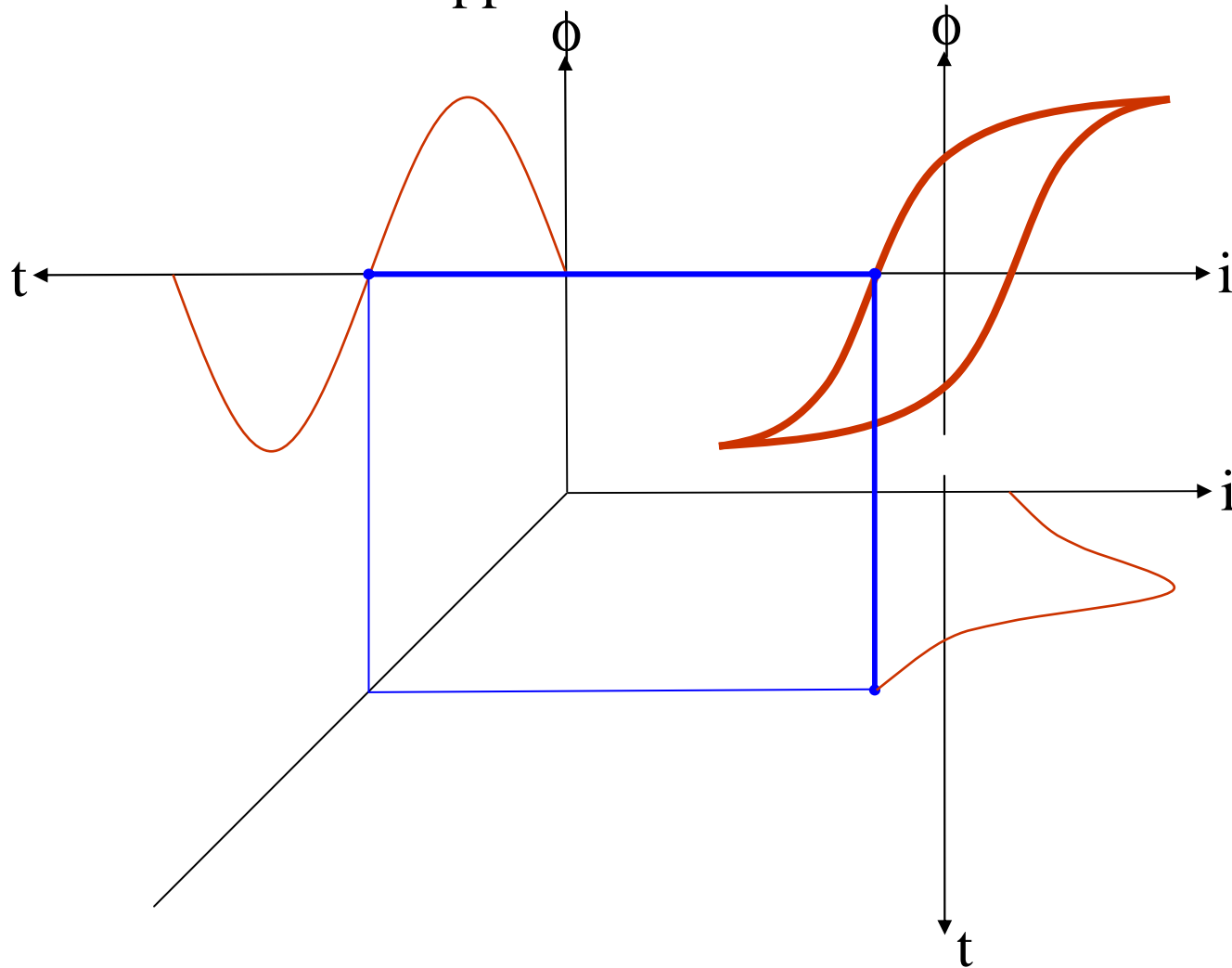
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



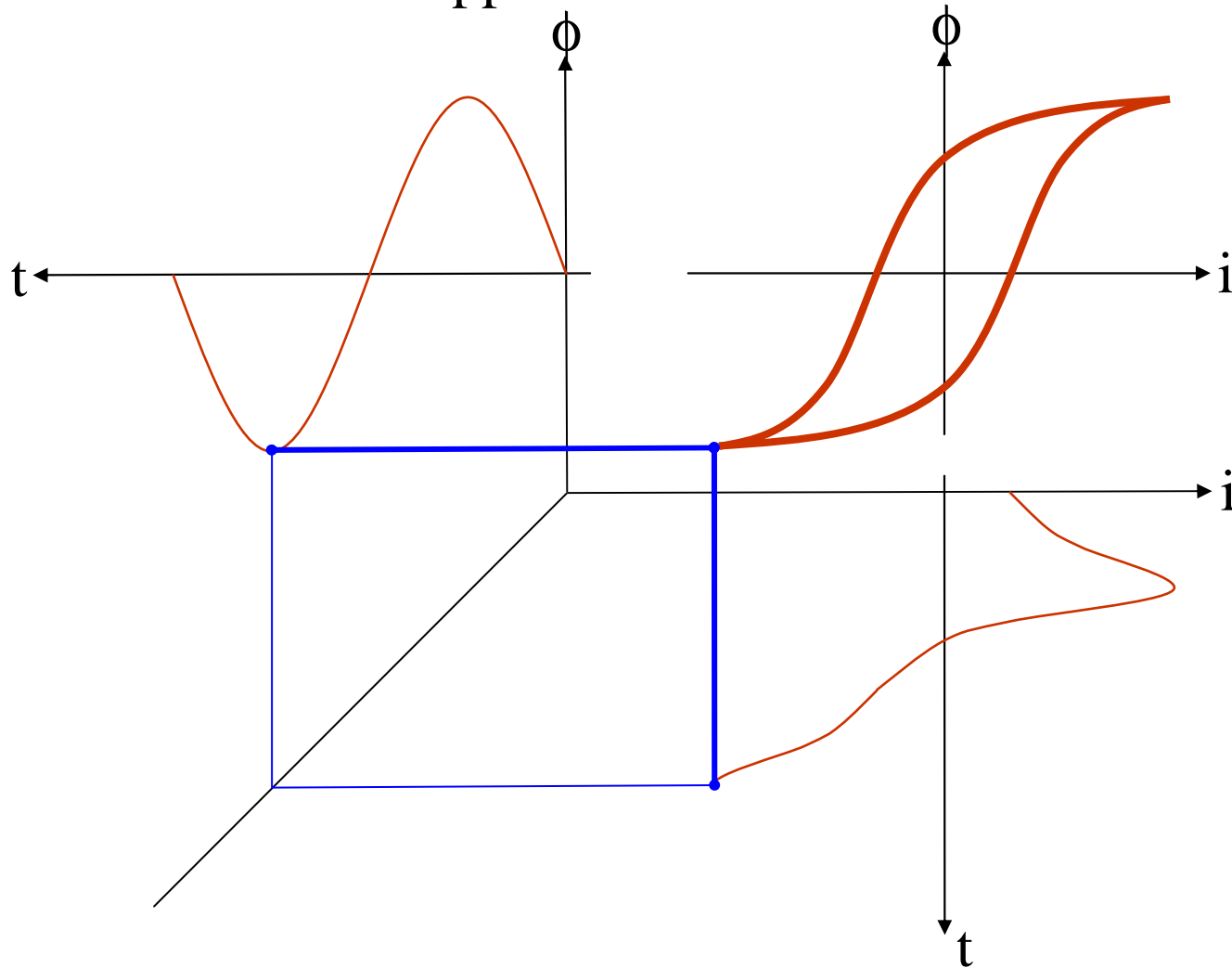
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



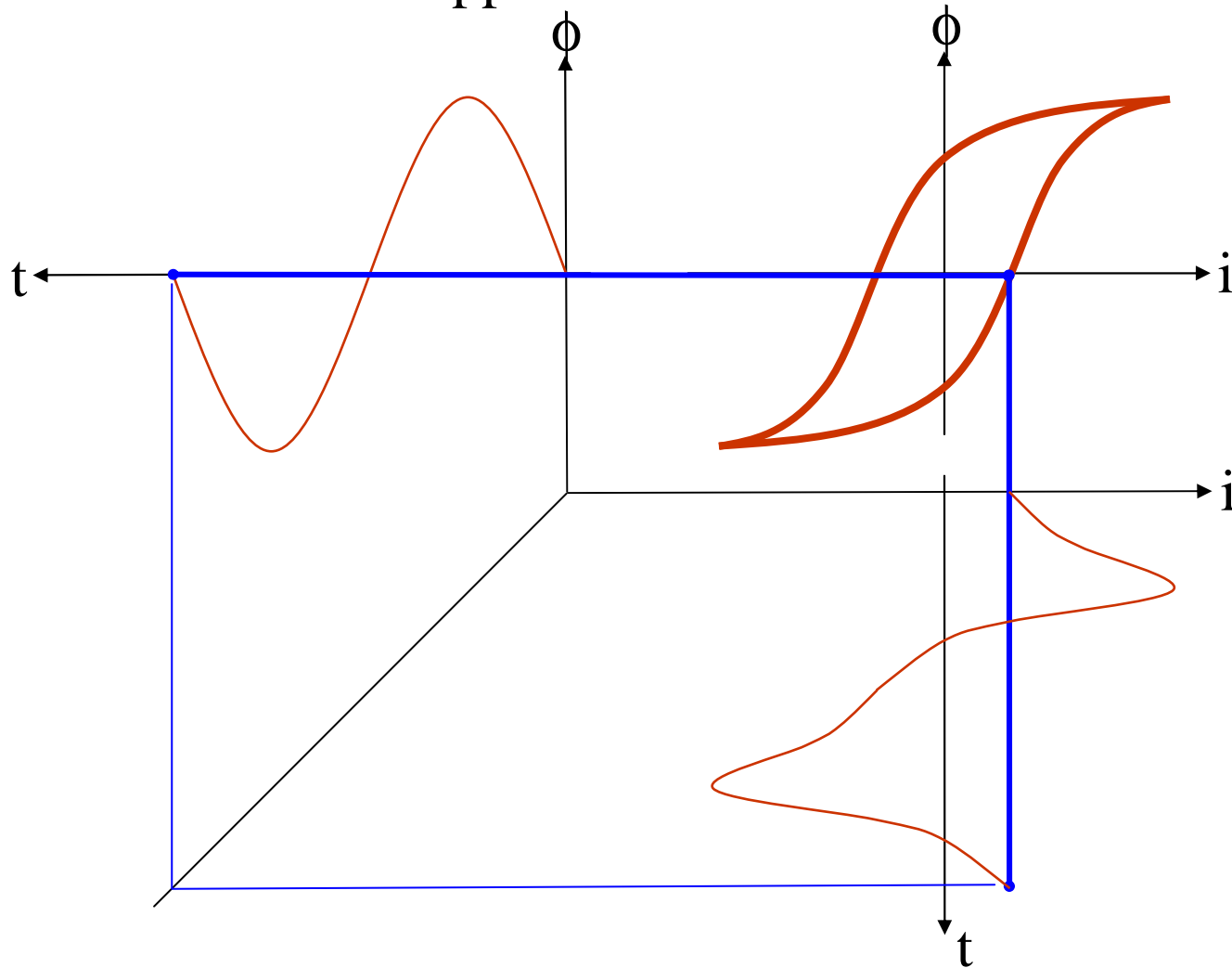
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



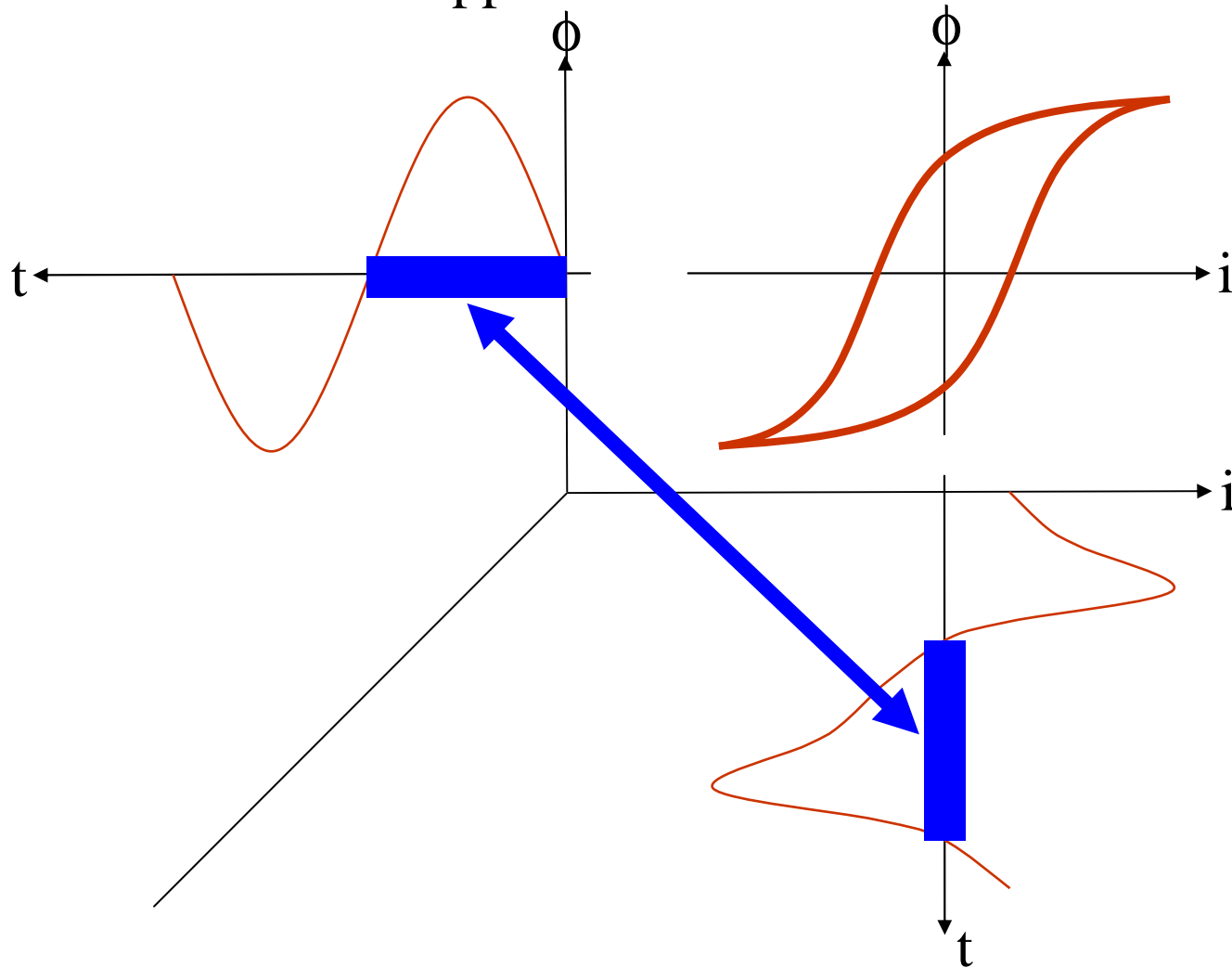
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



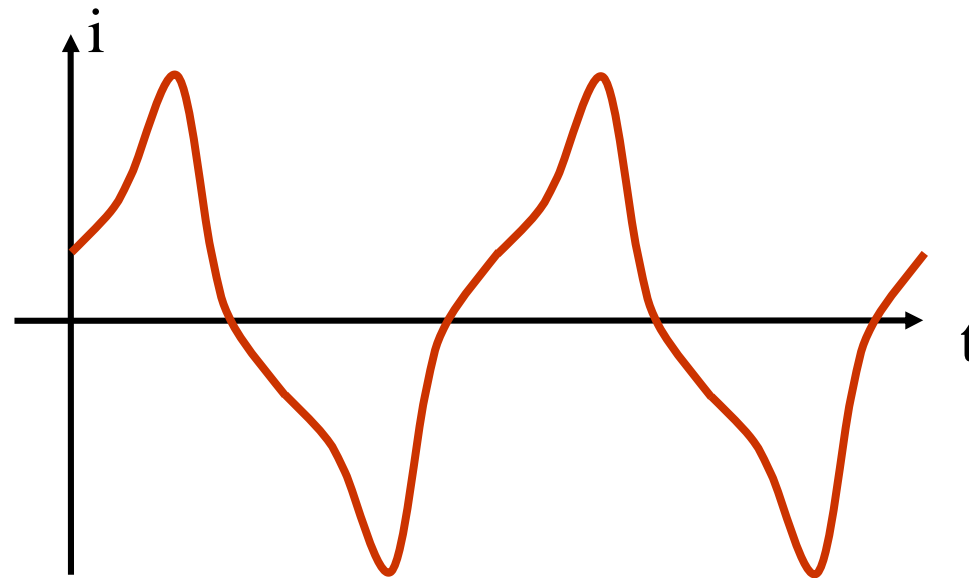
Hypothèses de KAPP

Courant appelé: construction



Hypothèses de KAPP

Courant appelé: expression



$$i(t) = \sum_{k=0}^{\infty} I_{2k+1} \sqrt{2} \cos[(2k+1)\omega.t - \varphi_{2k+1}]$$

Hypothèses de KAPP

Puissance absorbée

Courant non sinusoïdal.
->Définition de la puissance.

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v(t) = V\sqrt{2} \cos(\omega.t) \\ i(t) = \sum_{k=0}^{\infty} I_{2k+1} \sqrt{2} \cos[(2k+1)\omega.t - \varphi_{2k+1}] \end{array} \right.$$

Hypothèses de KAPP

Puissance absorbée

Courant non sinusoïdal.
->Définition de la puissance.

$$p(t) = v(t).i(t)$$



$$p(t) = V \sqrt{2} \cos(\omega.t) \sum_{k=0}^{\infty} I_{2k+1} \sqrt{2} \cos[(2k+1)\omega.t - \varphi_{2k+1}]$$

Hypothèses de KAPP

Puissance absorbée

Valeur efficace du courant:

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_{2k+1}^2 + \dots$$

Puissance apparente:

$$S^2 = V^2 I^2 = V^2 I_1^2 + V^2 I_2^2 + \dots + V^2 I_{2k+1}^2 + \dots$$

$$\underbrace{V^2 I_1^2 \cos(\varphi_1)}_{P^2} + \underbrace{V^2 I_1^2 \sin(\varphi_1)}_{Q^2}$$

P^2

Q^2

$$\underbrace{\sum_{k=1}^{\infty} V^2 I_{2k+1}^2}_{D^2}$$

D^2

Hypothèses de KAPP

Puissance absorbée

Valeur efficace du courant:

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_{2k+1}^2 + \dots$$

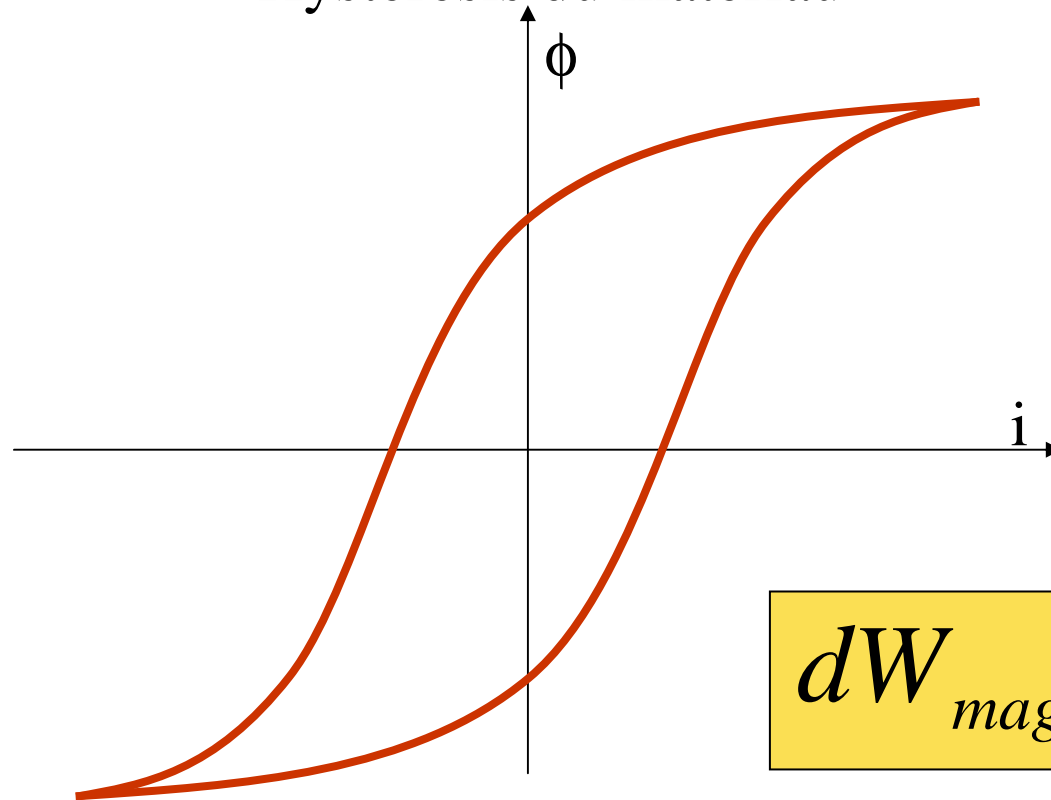
Puissance apparente:

$$S^2 = \underline{P^2} + Q^2 + D^2$$

- 
- Bobinage = pertes Joules
 - Matériau = pertes Ferromagnétiques

Pertes fer

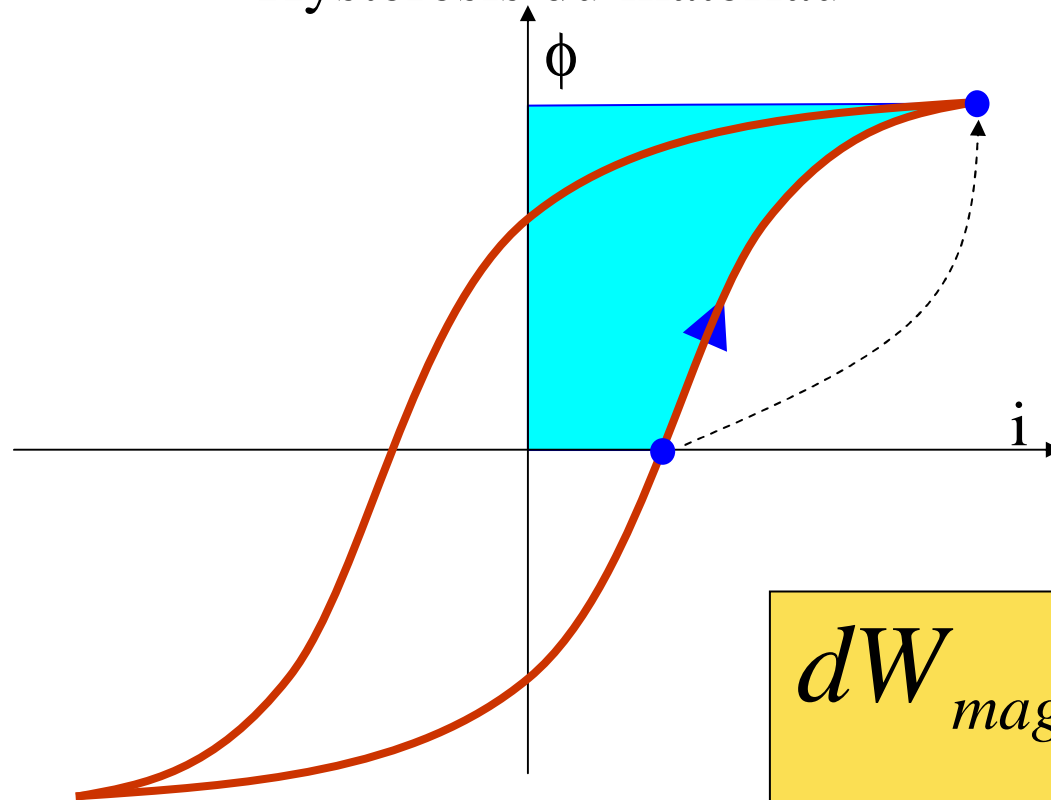
Hystérésis du matériau



$$dW_{mag} = i.d\Phi$$

Pertes fer

Hystérésis du matériau

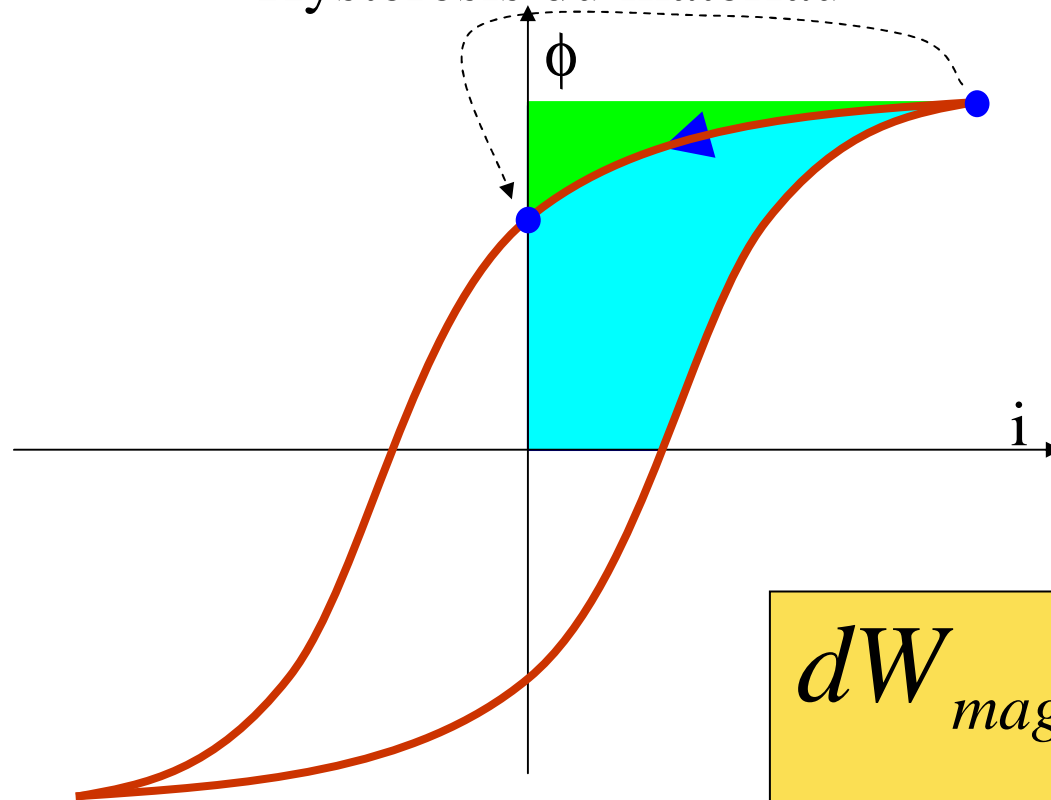


$$dW_{mag} = i.d\Phi$$

$$> 0$$

Pertes fer

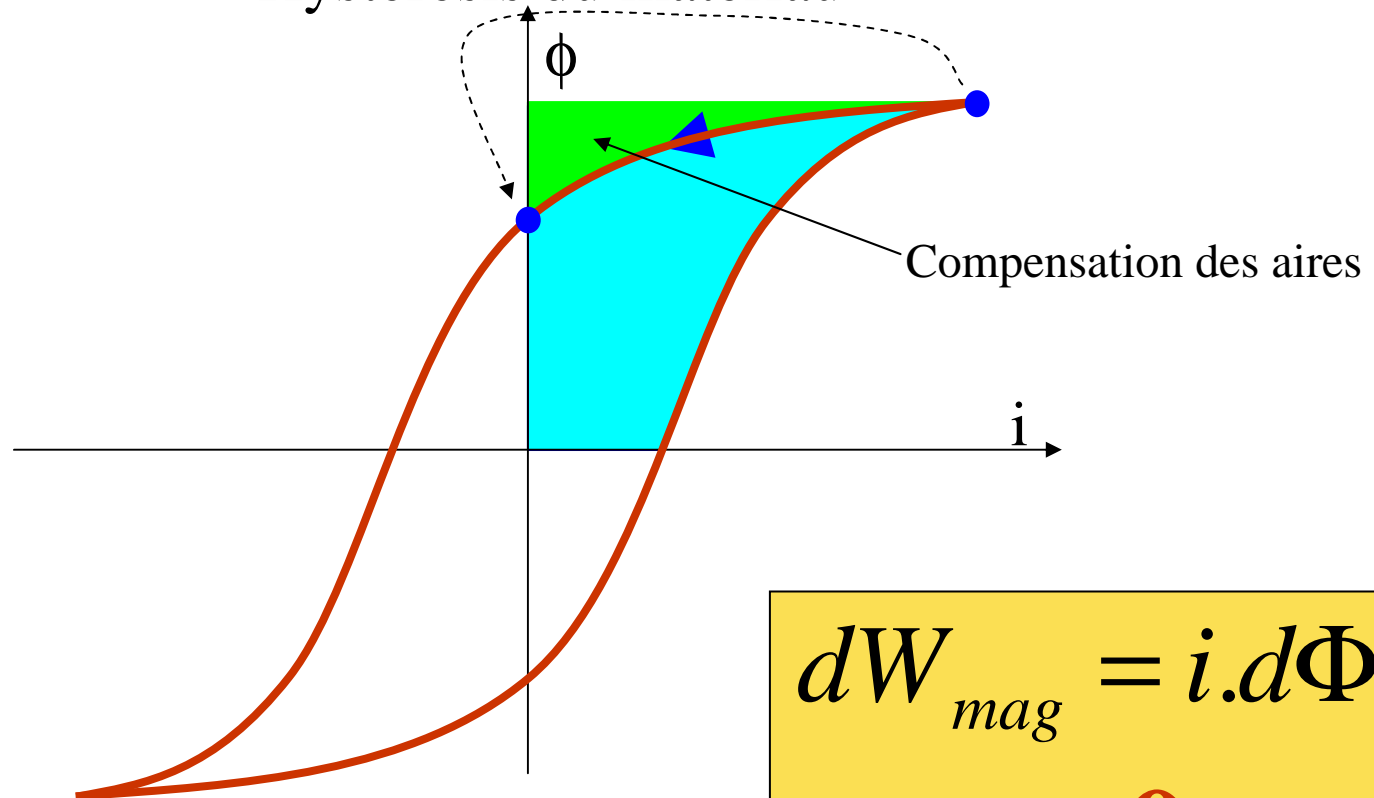
Hystérésis du matériau



$$dW_{mag} = i.d\Phi$$
$$< 0$$

Pertes fer

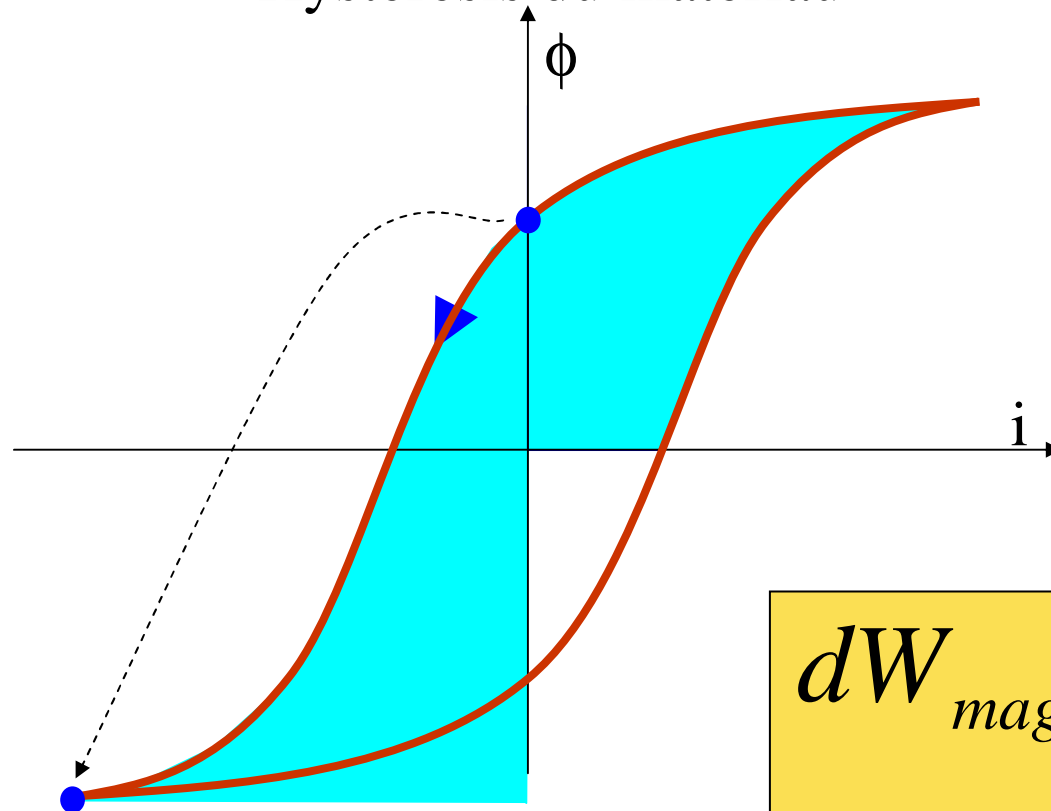
Hystérésis du matériau



$$dW_{mag} = i.d\Phi$$
$$< 0$$

Pertes fer

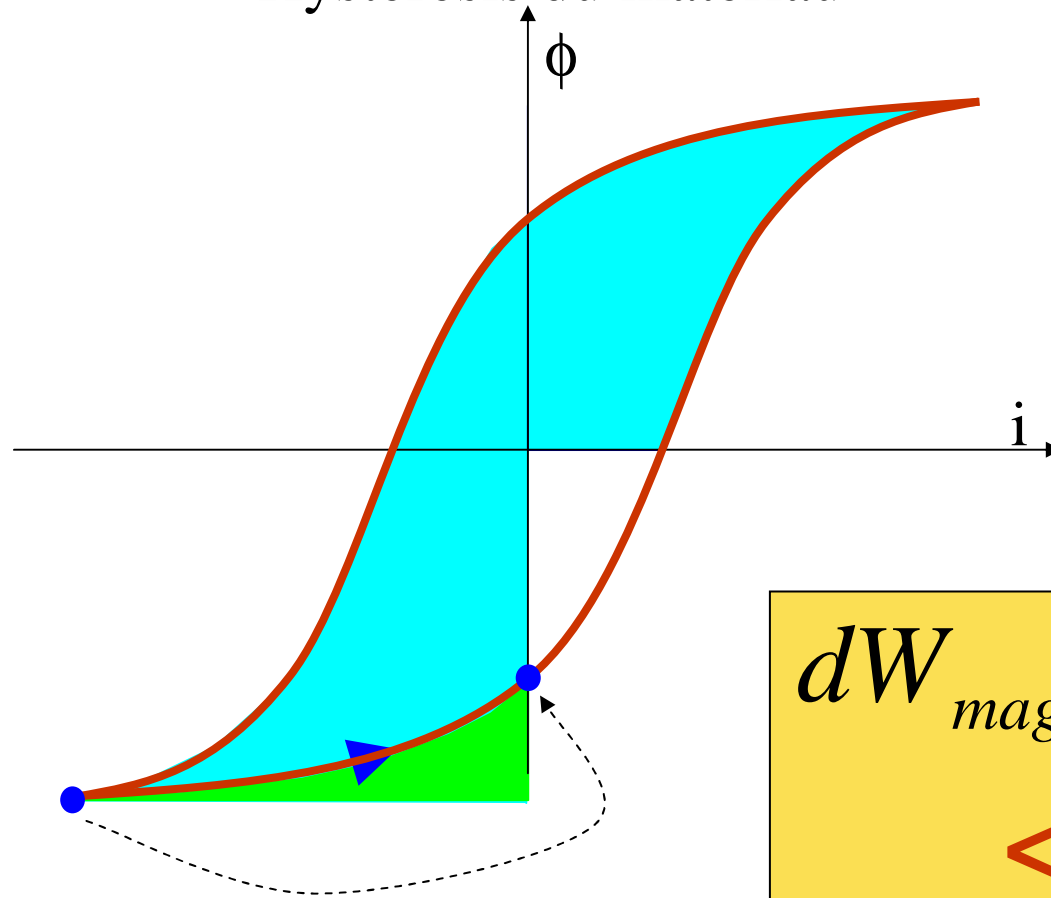
Hystérésis du matériau



$$dW_{mag} = i.d\Phi$$
$$> 0$$

Pertes fer

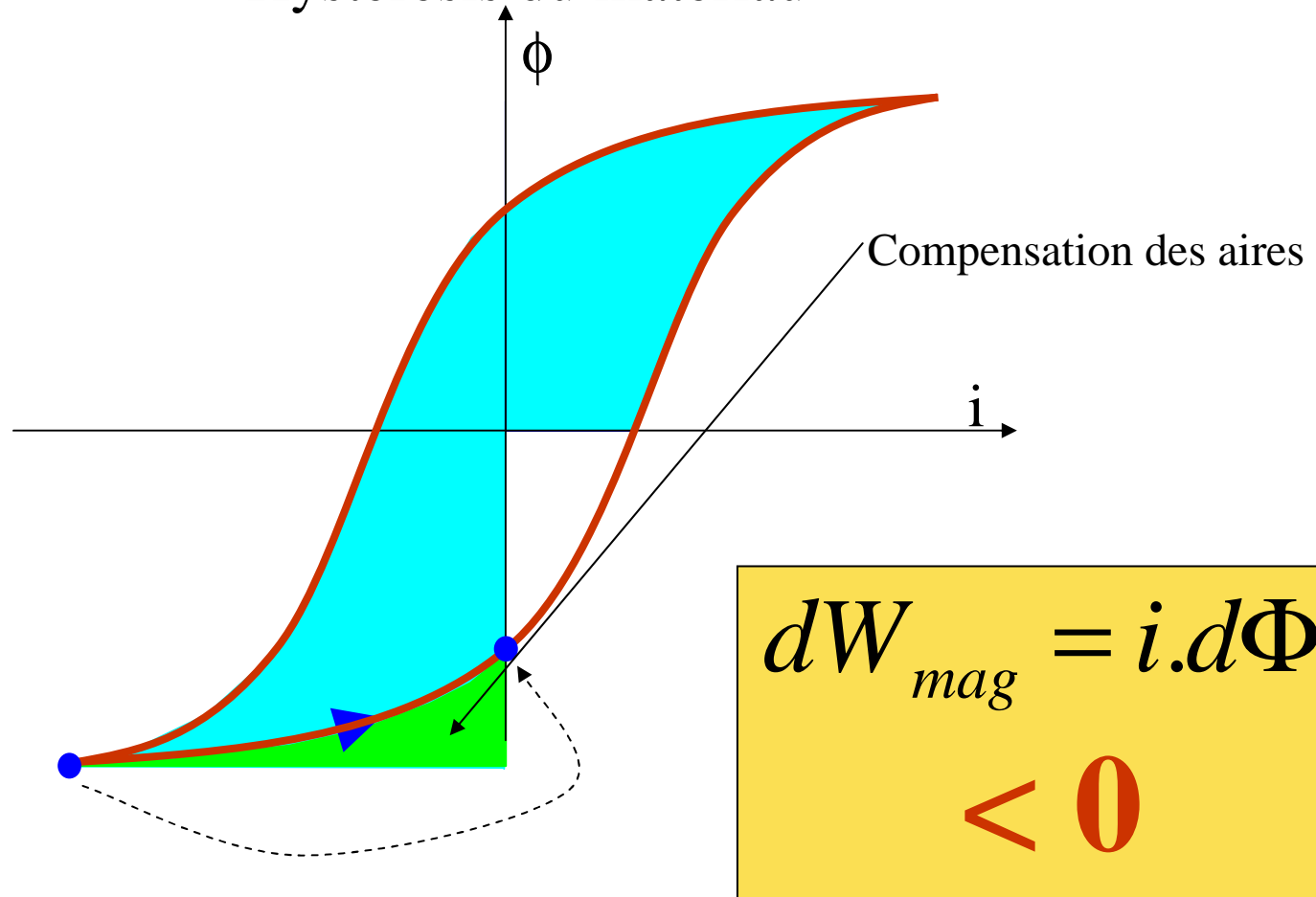
Hystérésis du matériau



$$dW_{mag} = i.d\Phi$$
$$< 0$$

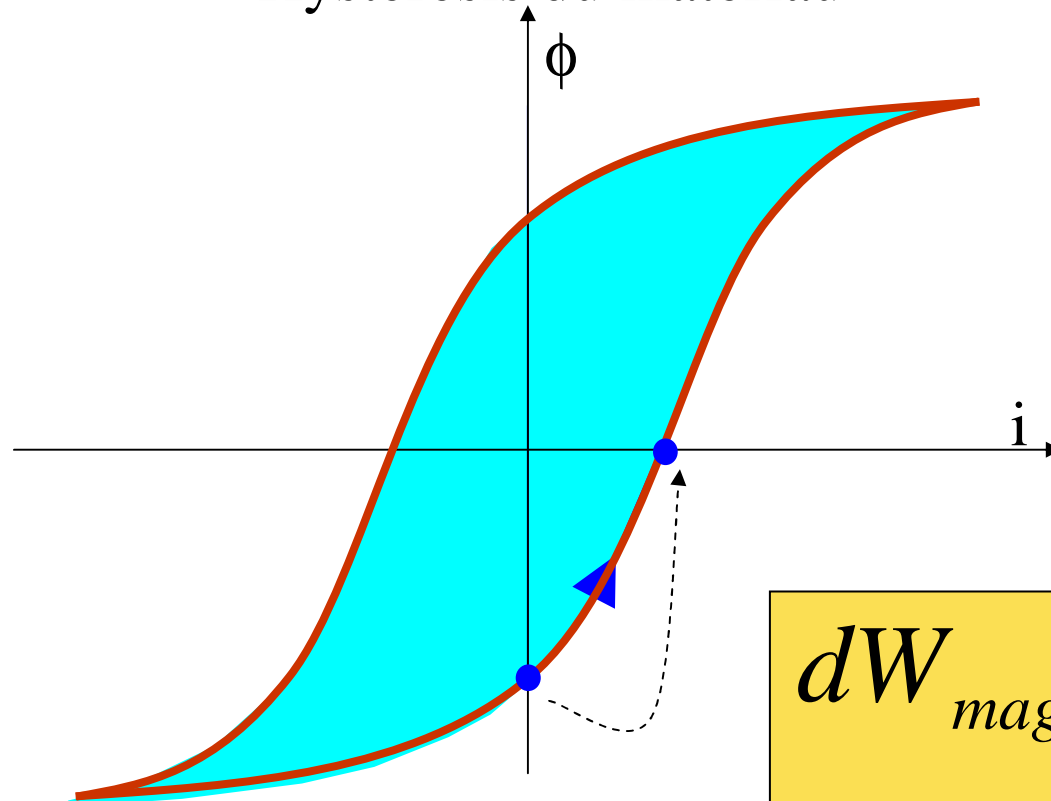
Pertes fer

Hystérésis du matériau



Pertes fer

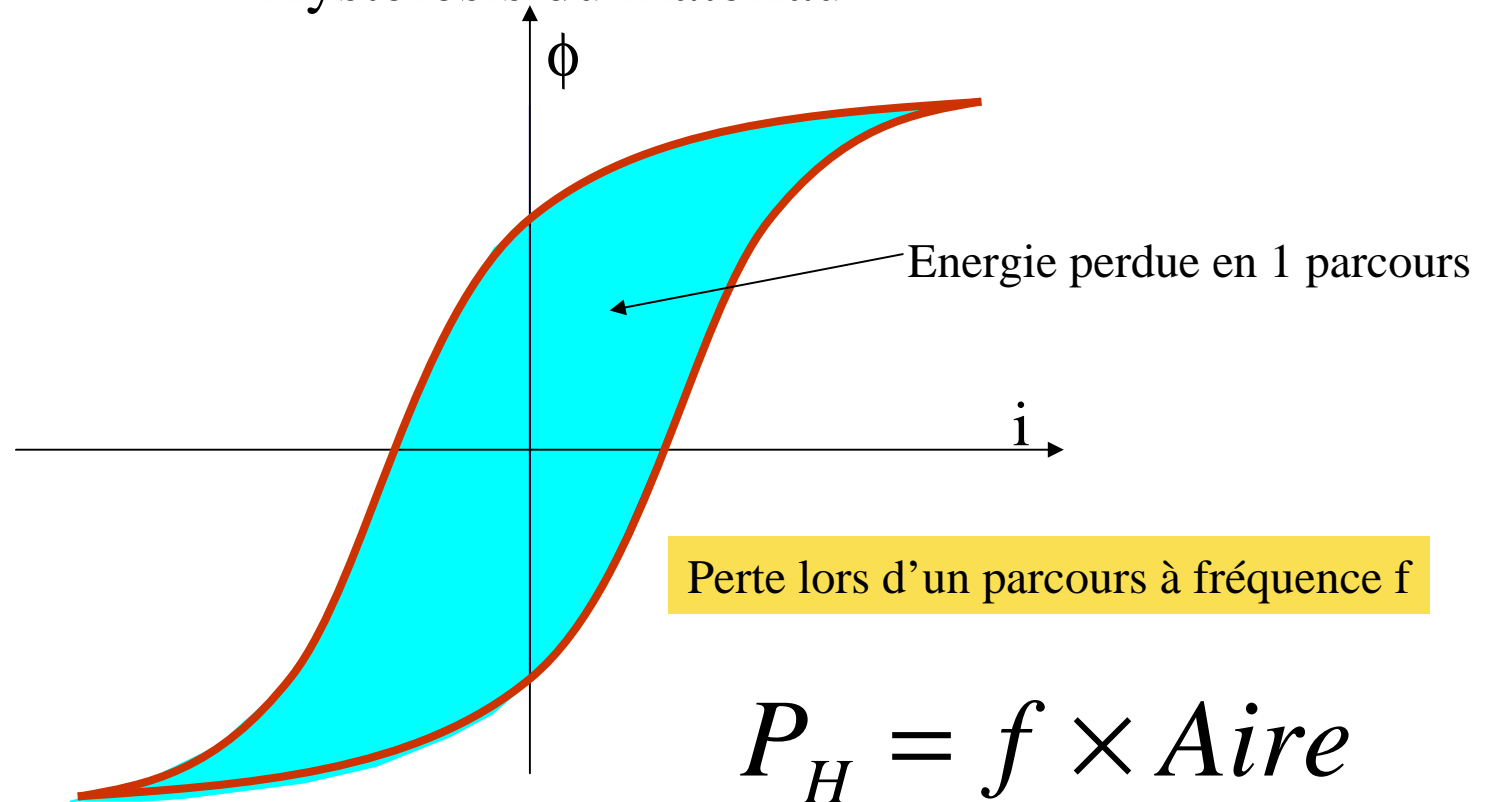
Hystérésis du matériau



$$dW_{mag} = i.d\Phi$$
$$> 0$$

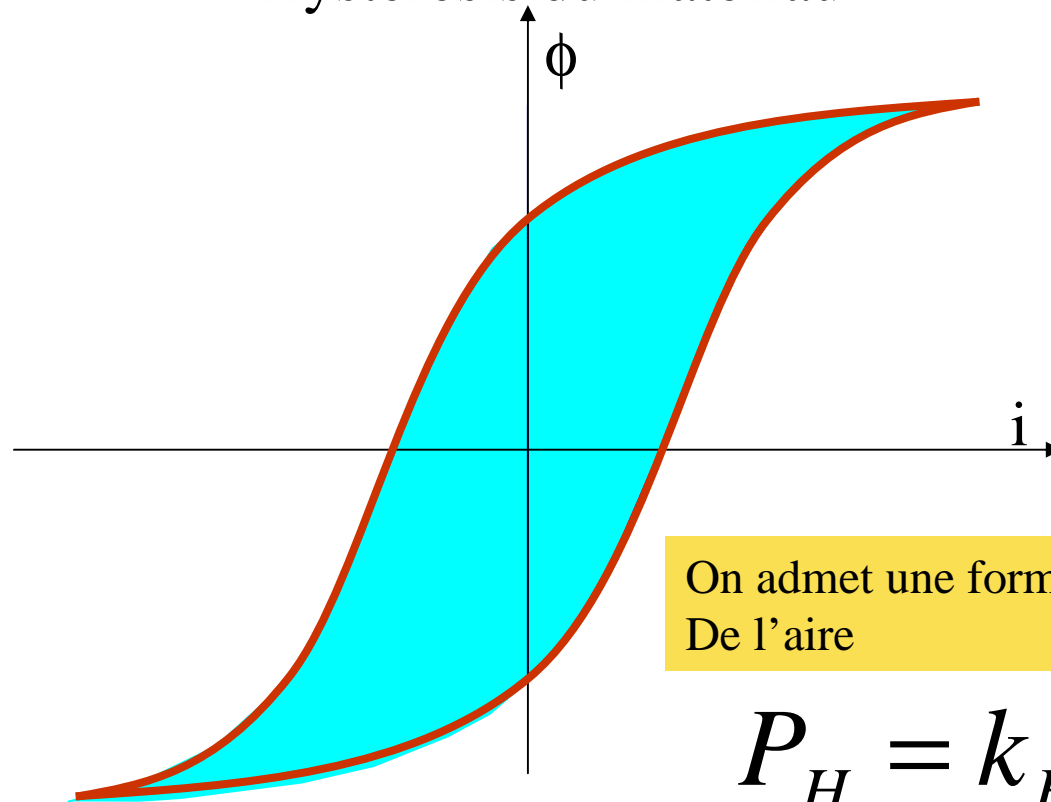
Pertes fer

Hystérésis du matériau



Pertes fer

Hystérésis du matériau

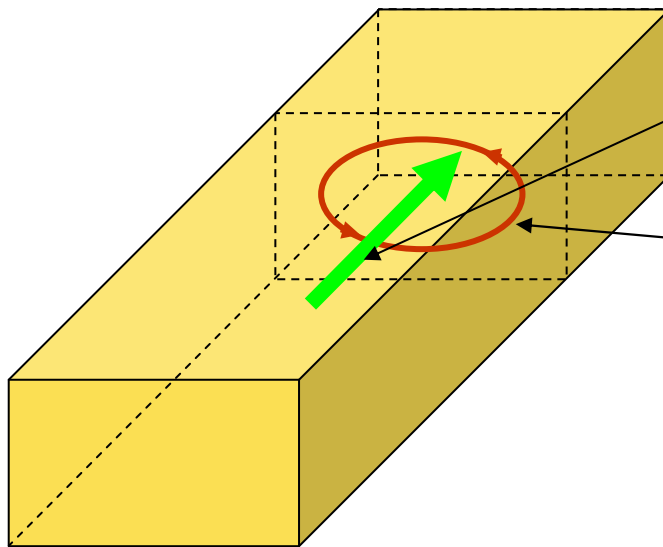


On admet une forme empirique
De l'aire

$$P_H = k_H \cdot f \cdot B_M^2$$

Pertes fer

Courants de Foucault



Induction magnétique

$$B = B_M \sin(\omega.t)$$

Ligne de courants de Foucault

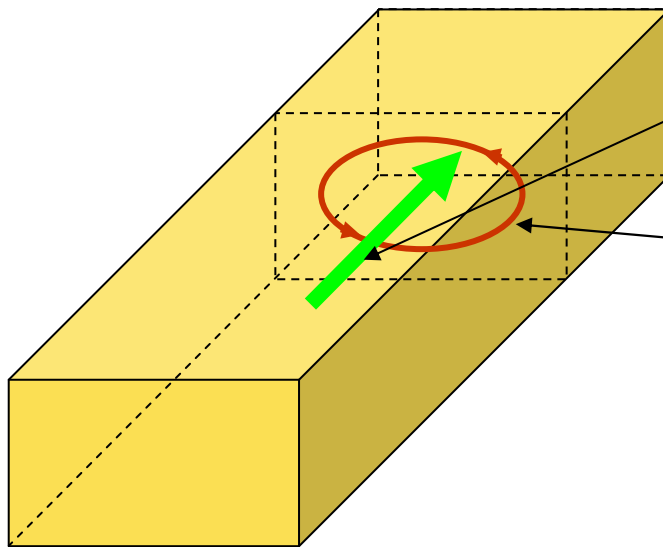
•f.e.m. induite par B:

$$e_F = \frac{d\phi}{dt} = S_F B_M \cdot \omega \cdot \cos(\omega.t)$$

Surface de la boucle de courant

Pertes fer

Courants de Foucault



Induction magnétique

$$B = B_M \sin(\omega.t)$$

Ligne de courants de Foucault

•f.e.m. induite par B:

$$e_F = \frac{d\phi}{dt} = S_F B_M .\omega.\cos(\omega.t)$$

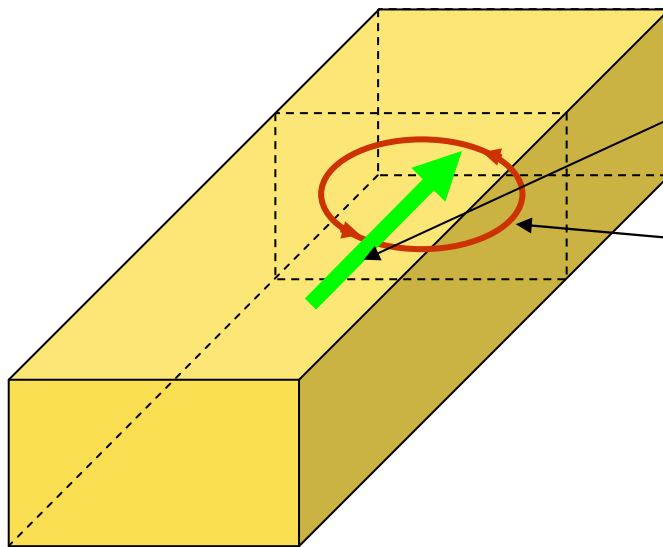
•Soit en pertes joules

$$p_F(t) = \frac{e_F^2}{r_F}$$

Résistance de la ligne de courant

Pertes fer

Courants de Foucault



Induction magnétique

$$B = B_M \sin(\omega.t)$$

Ligne de courants de Foucault

•f.e.m. induite par B:

$$e_F = \frac{d\phi}{dt} = S_F B_M .\omega.\cos(\omega.t)$$

•Soit en pertes joules

$$p_F(t) = \frac{e_F^2}{r_F} = \frac{S_F^2}{r_F} B_M^2 .\omega^2 \cos^2(\omega.t)$$

Pertes fer

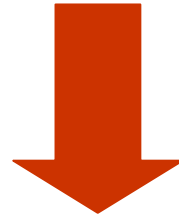
Courants de Foucault

$$p_F(t) = \frac{e_F^2}{r_F} = \frac{S_F^2}{r_F} B_M^2 \omega^2 \cos^2(\omega.t)$$

Pertes fer

Courants de Foucault

$$p_F(t) = \frac{e_F^2}{r_F} = \frac{S_F^2}{r_F} B_M^2 \cdot \omega^2 \cos^2(\omega.t)$$



$$P_F = k_F \cdot B_M^2 \cdot f^2$$

Pertes fer

Pertes totales

$$P_{Fer} = k_H \cdot f \cdot B_M^2 + k_F \cdot f^2 \cdot B_M^2$$

Bobine fictive équivalente

Besoin d'un modèle linéaire

Bobine fictive équivalente

Besoin d'un modèle linéaire

Courant absorbé sinusoïdal

$$i'(t) = I' \sqrt{2} \cos(\omega.t - \varphi)$$

Valeur efficace $I' = I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$

Bobine fictive équivalente

Besoin d'un modèle linéaire

Courant absorbé sinusoïdal

$$i'(t) = I' \sqrt{2} \cos(\omega.t - \varphi)$$

Valeur efficace $I' = I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$

Puissance active conservée

Bobine réelle



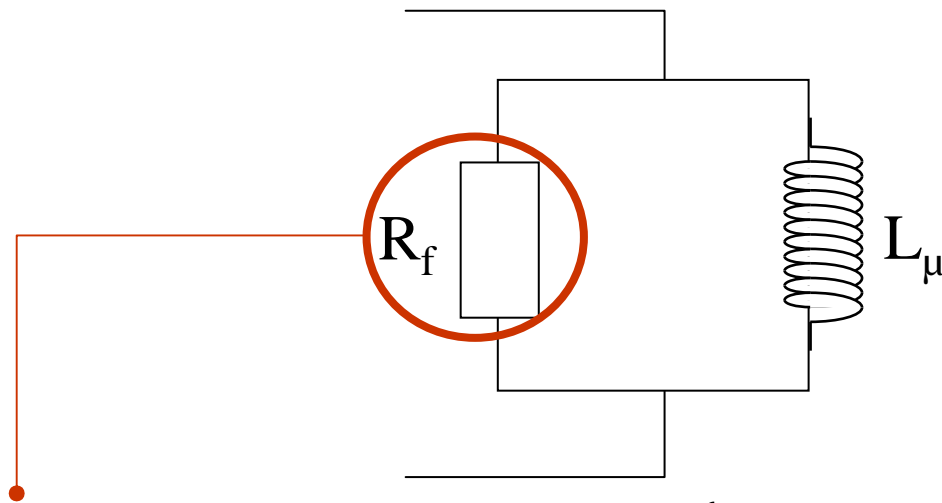
Bobine fictive

$$P = V . I_1 \cos(\varphi_1)$$

$$P = V . I \cos(\varphi)$$

Bobine fictive équivalente

Schéma équivalent



$$P_{Fer} = \frac{V^2}{R_f} = k_H \cdot f \cdot B_M^2 + k_F \cdot f^2 \cdot B_M^2$$

Dissipent les pertes fer

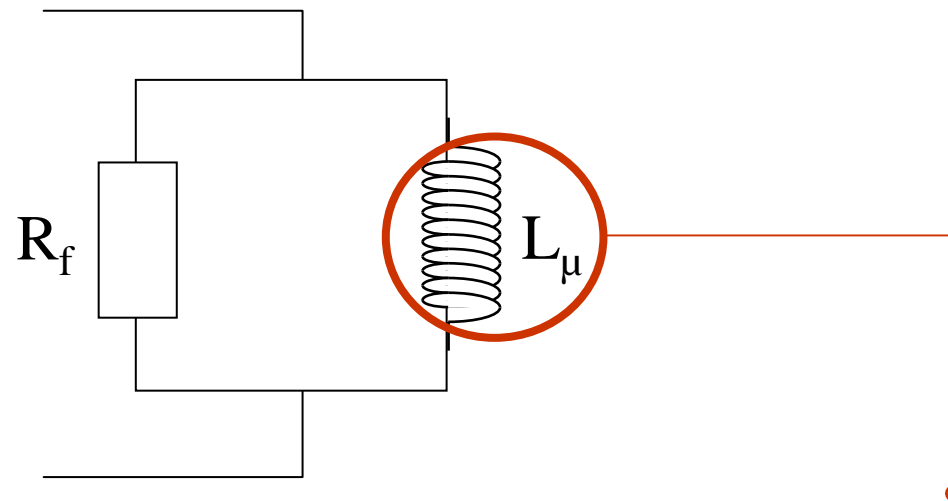
$$V = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot S \cdot B_M$$



$$P_{Fer} \equiv \frac{K}{1 + \frac{1}{f}}$$

Bobine fictive équivalente

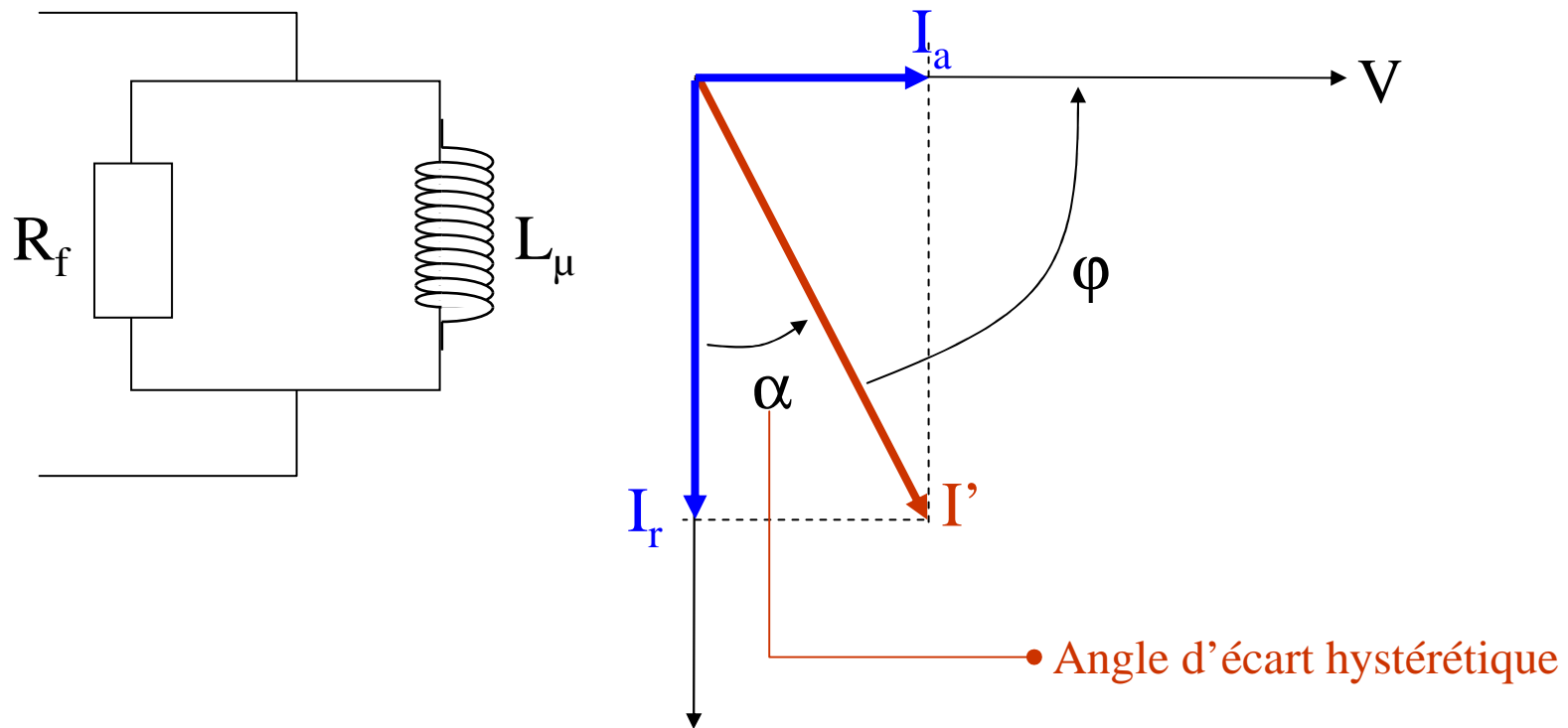
Schéma équivalent



$$L_\mu \cdot \omega = \frac{V^2}{Q} = \frac{V^2}{\sqrt{S^2 - P^2}} = \frac{V^2}{\sqrt{(VI')^2 - P^2}} \quad \leftarrow Q = \frac{V^2}{L_\mu \cdot \omega}$$

Bobine fictive équivalente

Représentation de Fresnel



Bobine fictive équivalente

Grandeurs magnétiques

Flux et induction

$$\phi_c = \frac{1}{N} \int v \cdot dt \quad \text{avec} \quad v(t) = V \sqrt{2} \cos(\omega \cdot t)$$

$$\longrightarrow B'(t) = B(t) = B_M \sin(\omega \cdot t)$$

Inchangé

Bobine fictive équivalente

Grandeurs magnétiques

Champ magnétique

$$H'l = N.i' \quad \text{avec} \quad i'(t) = V\sqrt{2} \cos(\omega.t - \varphi)$$

$$\longrightarrow H'(t) = \frac{NI'\sqrt{2}}{l} \sin\left(\omega.t + \frac{\pi}{2} - \varphi\right)$$

Bobine fictive équivalente

Grandeurs magnétiques

Champ magnétique

$$H'l = N.i' \quad \text{avec} \quad i'(t) = V\sqrt{2} \cos(\omega.t - \varphi)$$

$$\Rightarrow H'(t) = \frac{NI'\sqrt{2}}{l} \sin\left(\omega.t + \frac{\pi}{2} - \varphi\right) = H'_M \sin(\omega.t + \alpha)$$

Sinusoidal

Angle d'écart hystérétique

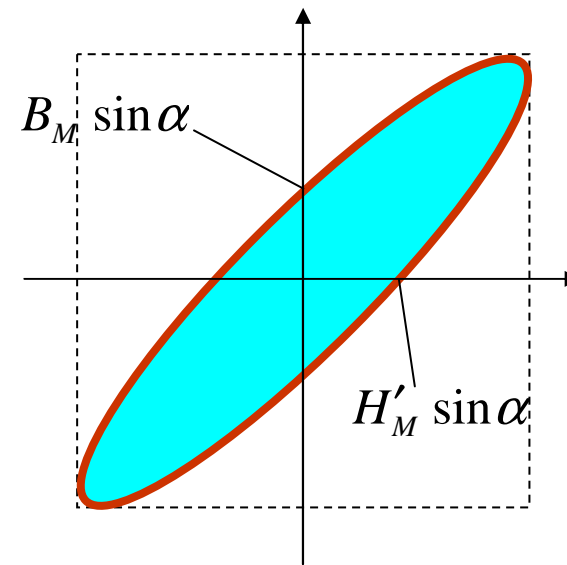
Bobine fictive équivalente

Cycle d'hystérésis

$$B'(t) = B(t) = B_M \sin(\omega.t)$$
$$H'(t) = H'_M \sin(\omega.t + \alpha)$$

- Aire = Energie volumique totale perdue par cycle.
- Perméabilité magnétique devient alors complexe:

$$\underline{\underline{\mu}} = \frac{\underline{\underline{B}}}{\underline{\underline{H'}}} = \frac{B_M}{H'_M} e^{-j\alpha}$$



Bobine fictive équivalente

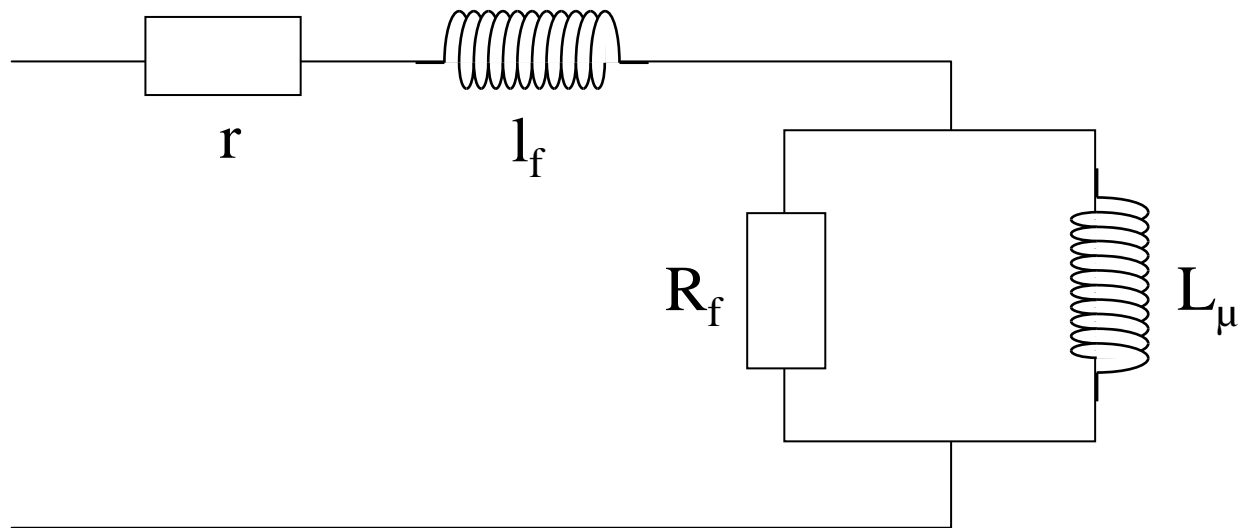
Limites du modèle

- Éléments du schéma valable à (V,f) donné
- Puissances actives non conservées.

Bobine réelle		Bobine fictive
$Q = V . I_1 \sin(\varphi_1)$	\neq	$Q = V . I \sin(\varphi)$

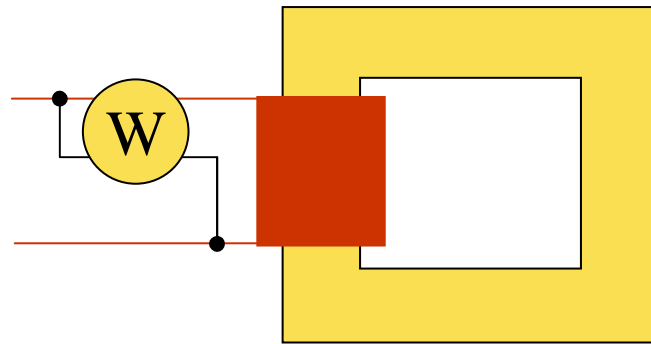
Bobine fictive équivalente

Modèle fictif complet



Mesure des pertes

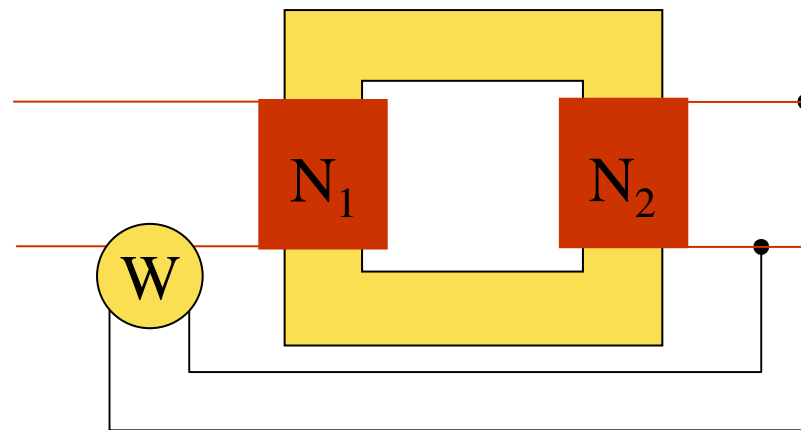
Mesure directe



On mesure $P = r.I^2 + P_{Fer}$

Mesure des pertes

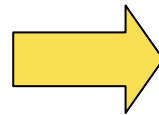
Méthode d'Epstein



Nécessité de
2 enroulements

On mesure $P = \langle v_2 \cdot i_1 \rangle$

et $v_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} = \frac{N_2}{N_1} (v_1 - r_1 \cdot i_1)$



$$P = \left\langle \frac{N_2}{N_1} \cdot v_1 i_1 - \frac{N_2}{N_1} \cdot r_1 i_1^2 \right\rangle$$

$$P = \frac{N_2}{N_1} P_{tot} - \frac{N_2}{N_1} P_{joule}$$