

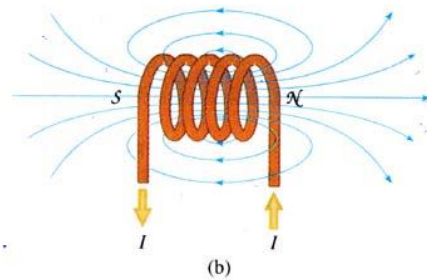
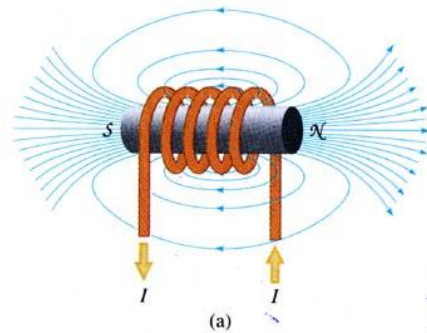
CHAPITRE 4 – BOBINE À NOYAU DE FER (BNF)

CHAPITRE 4 – BOBINE A NOYAU DE FER (BNF)

1- COMPORTEMENT DE LA BNF NON SATUREE

2- COMPORTEMENT DE LA BNF SATUREE

le noyau de fer ne sert qu' à canaliser le flux magnétique



Sans ferromagnétisme il n'y aurait pas d'électricité industrielle (**alternateurs, transformateurs, moteurs**).

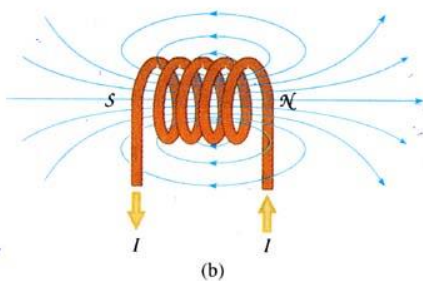
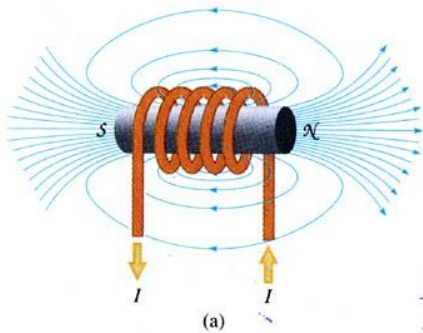
Toutes les machines d'électrotechniques classiques comportent un circuit presque totalement constitué de fer. L'espace d'air (entrefer) qui sépare la partie fixe (stator) de la partie tournante (rotor) est réduit au minimum.

CHAPITRE 4 – BOBINE A NOYAU DE FER (BNF)

1- COMPORTEMENT DE LA BNF NON SATUREE

2- COMPORTEMENT DE LA BNF SATUREE

le noyau de fer ne sert qu' à canaliser le flux magnétique

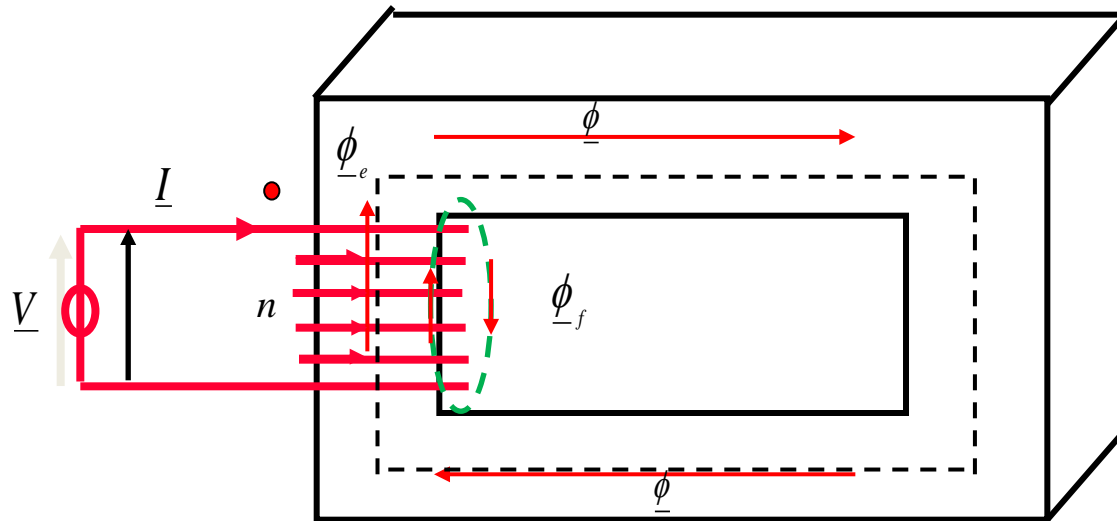


Un matériau est dit magnétique lorsque, sous l'action d'un champ magnétique H , il engendre une induction magnétique B à l'origine d'un flux magnétique

Constitution d'une BNF

Circuit magnétique formé d'un empilement de tôles magnétiques minces isolées entre elles par une couche de vernis

Bobine de n spires



$$v(t) = V_{\max} \sin(\omega \times t + \theta_u) \rightarrow n \times I = \mathfrak{R} \times \phi$$

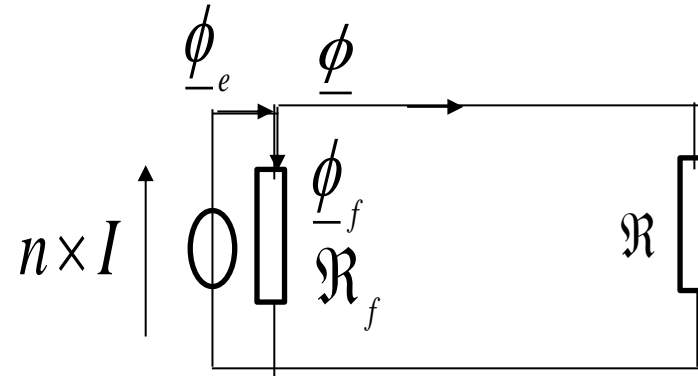
ϕ_e flux embrassé par l'enroulement

ϕ flux dans le fer

ϕ_f flux de fuite

Etude de fonctionnement

Circuit électromagnétique équivalent d'une BNF



La loi des nœuds donne: $\phi_e = \phi + \phi_f$

En pratique: $\phi \gg \phi_f \rightarrow \mathcal{R} \ll \mathcal{R}_f$

La loi des nœuds donne: $nI = \mathcal{R}\phi$

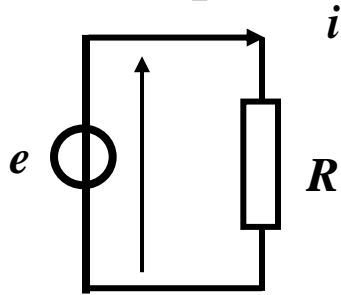
Inductance propre du circuit

$$n\phi = Li \quad \phi = \frac{Li}{n} \quad ni = \mathcal{R} \frac{Li}{n}$$

$$L = \frac{n^2}{\mathcal{R}}$$

Analogie circuit électrique/circuit magnétique

Circuit électrique:



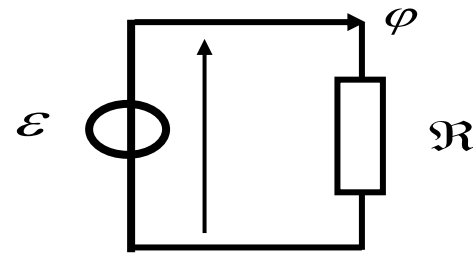
Expression: $e = Ri$

Force électromotrice : e (V)

Résistance électrique : $R(\Omega)$

Courant électrique : i (A)

Circuit magnétique:



Expression: $\varepsilon = \mathfrak{R}\phi$

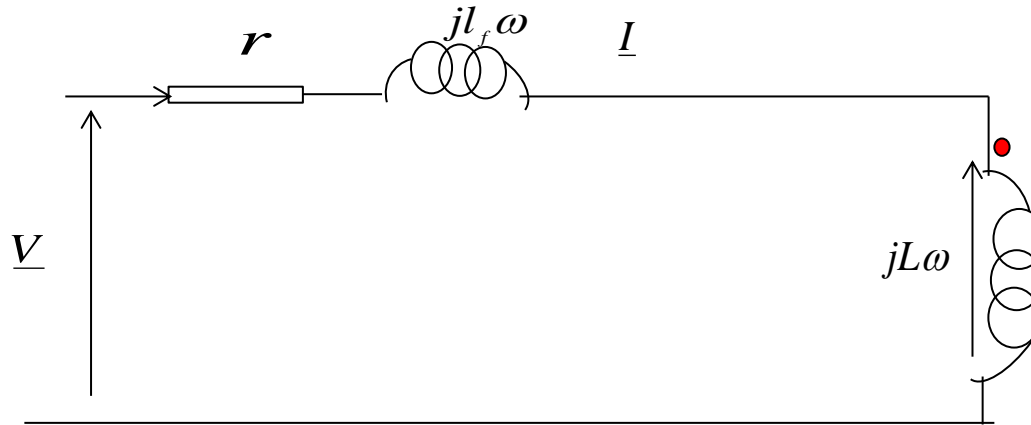
Force magnétomotrice : ε (At)

Réductance magnétique: $\mathfrak{R}(At * Wb^{-1})$

Flux magnétique : ϕ (Wb)

1- COMPORTEMENT DE LA BNF NON SATURÉE

Modèle électrique linéaire de la bobine



r : résistance de l'enroulement
 l_f : inductance de fuite
 L : inductance propre de la BNF

Une bobine est parfaite si on néglige les phénomènes d'hystérésis, la saturation et les courants de Foucault

La loi des mailles donne:

$$v = ri + n \frac{d}{dt} \phi_e = ri + L \frac{d}{dt} i(t) + l_f \frac{d}{dt} i(t)$$

1- COMPORTEMENT DE LA BNF NON SATURÉE

Modèle électrique linéaire de la bobine

La caractéristique $B(H)$ est linéaire

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad \mu_0 \text{ Perméabilité de l'air} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ S.I.}$$

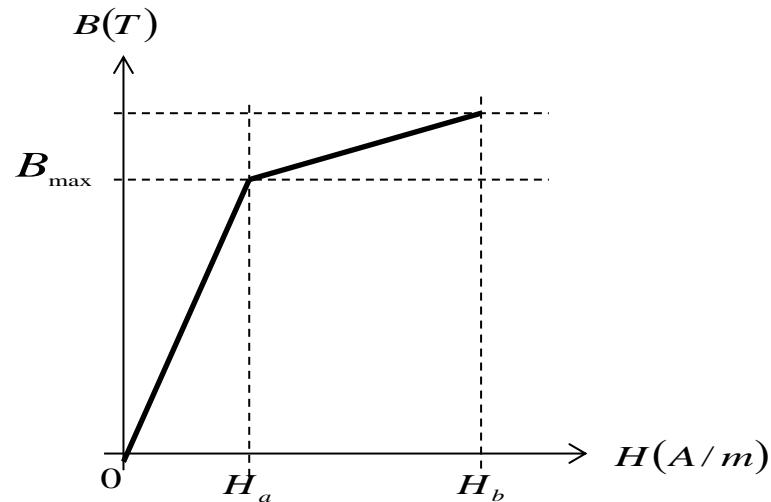
μ_r Perméabilité relative μ Perméabilité absolue

B Induction ou densité du flux magnétique, exprimée en Tesla (T)

H Intensité du champ magnétique, exprimée en (At/m)

2- COMPORTEMENT DE LA BNF SATURÉE

Influence de la saturation



Zone linéaire : dans cette zone, $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$ avec μ_r constante. C'est cette zone qui est généralement exploitée pour les transformateurs et les machines tournantes.

Saturation du milieu ferromagnétique : lorsque H devient trop grand, B ne varie presque plus. Le matériau magnétique est dit saturé. On a toujours $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$, mais μ_r n'est plus constant.

Circuit magnétique non saturé

$B = f(H)$ linéaire

$$l; S_{fer}; n; \mu_0; \mu_r; B$$

$$\varphi = BS_{fer}$$

$$\mathcal{R}_{fer} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S_{fer}}$$

$$i = \frac{\varphi}{n} \mathcal{R}_{fer}$$

Circuit magnétique saturé

$B = f(H)$ non linéaire

$$l_{fer}; S_{fer}; n; \mu_0; \mu_r'; B$$

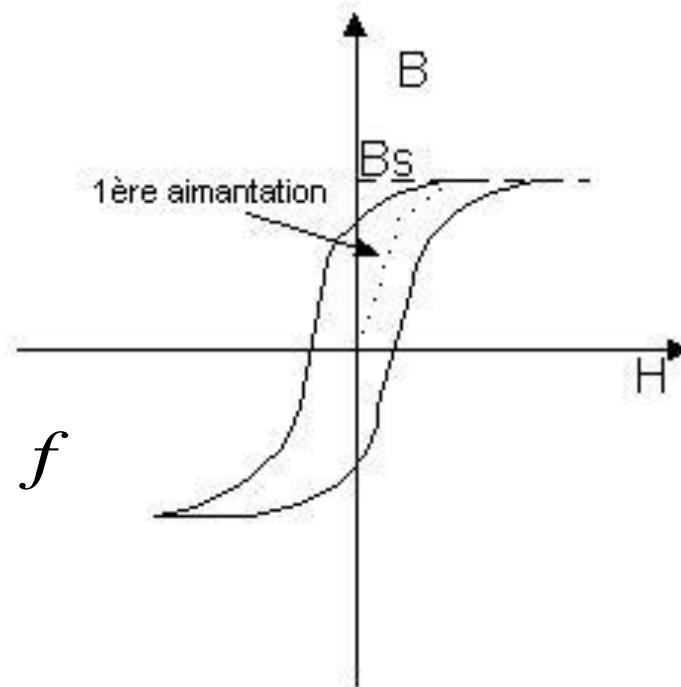
$$dB = \mu_0 \times \mu_r' \times dH_{fer}$$

$$H'_{fer} = \frac{1}{\mu_0 \times \mu_r'} \int_a^b dB$$

$$ni = H'_{fer} l_{fer}$$

$$i = \frac{H'_{fer} l_{fer}}{n}$$

Influence du cycle d'hystérésis



$$p_H = k_H B_{\max}^2 \times f$$

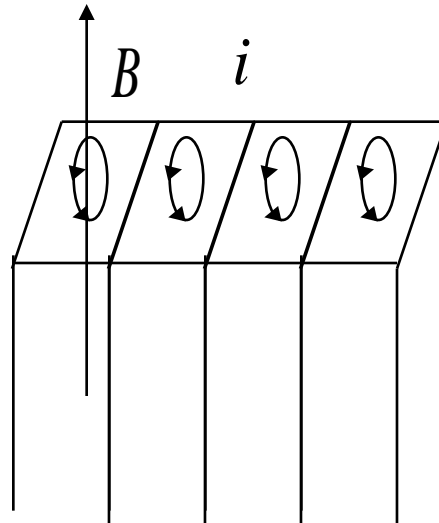
L'épaisseur du cycle d'hystérésis influe sur la puissance active consommée par la bobine

Pertes par courants de Foucault

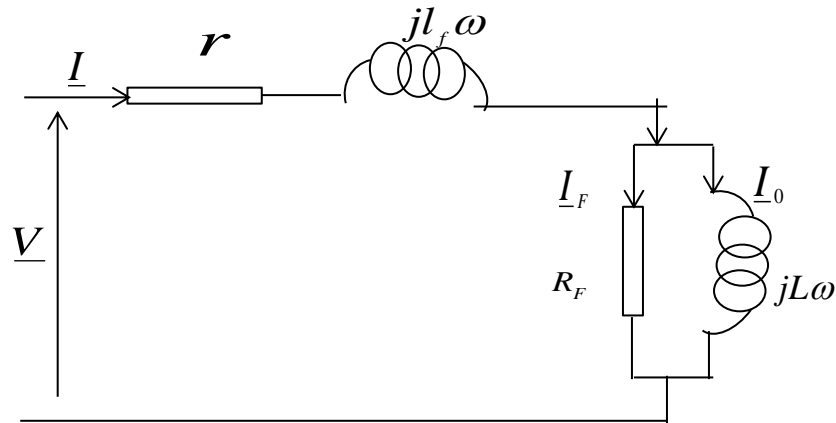
$$p_F^W = q^{W/kg} \times M^{kg} \times \left(\frac{f^{Hz}}{50} \right) \times (B_{\max}^T)^2$$

$$p_F = \frac{V^2}{R_F} \quad p_F = k_F \frac{B_{\max}^2 \times f^2}{\rho}$$

Moyens de réduction des pertes par courants de Foucault



Modèle électrique équivalent d'une BNF



r : résistance de l'enroulement

l_f : inductance de fuite

L : inductance propre de la BNF

R_F : résistance modélisant les pertes par courants de Foucault

Exercice 1.4. Une BNF a été soumise à un essai électrique, on a mesuré les valeurs suivantes : $V = 220 \text{ V}$, $I = 0,3 \text{ A}$, $P = 10 \text{ W}$, $f = 50 \text{ Hz}$.

On néglige la résistance de l'enroulement et les fuites magnétiques.

Calculer le facteur de puissance, le courant magnétisant I_0 , le courant I_F , la résistance R_F et l'inductance L .

Exercice 1.4

Facteur de puissance $P = VI \cos \varphi \rightarrow \cos \varphi = \frac{P}{VI} = \frac{10}{220 \times 0,3} = 0,15$

Courant magnétisant $I_0 = I \sin \varphi = 0,3 \times \sin(\arccos 0,15) = 296 \text{ mA}$

Courant créant les pertes fer $I_F = I \cos \varphi = 0,3 \times 0,15 = 45 \text{ mA}$

On a donc $R_F = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{10} = 4,84 \text{ k}\Omega$

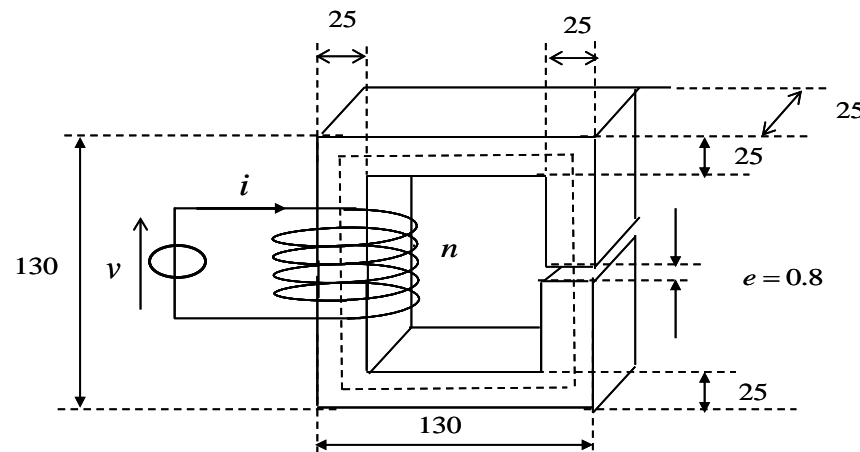
$$V = L\omega I_0 \rightarrow L = \frac{V}{\omega I_0} = \frac{220}{314 \times 0,296} = 2,36 \text{ H}$$

Exercice 2.4 : Un système électromagnétique est destiné à placer une induction magnétique de 1.4 T dans un entrefer. Le circuit magnétique de section carrée $25 \times 25 \text{ mm}^2$. La loi d'aimantation du circuit magnétique est la suivante :

- Tracer le schéma électromagnétique du système
- Calculez la valeur du courant i qui doit circuler dans la bobine ?

Les côtes sont données en millimètres $n = 1200$ spires; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ S.I}$

Exercice 2.4



B (T)	0	0,5	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
H (A/m)	0	220	490	760	1300	2450	4700	11500

Exercice 2.4

Flux magnétique dans le noyau et dans l'entrefer

$$\phi = 1.4 \times 25 \times 25 \times 10^{-6} = 0.875 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\phi = B \times S$$

Champs magnétique d'excitation dans l'entrefer

$$H_e = \frac{1.4}{4\pi \times 10^{-7}} = 1.11 \times 10^6 \text{ At / m}$$

$$H_e = \frac{B}{\mu_0}$$

Champs magnétique d'excitation dans le fer H (voir tableau)

$$B_{fer} = 1.4(\text{Tesla}) \rightarrow H = 2450(\text{At / m})$$

Force magnétomotrice dans l'entrefer

$$\mathcal{E}_e = H_e \times e = 1,11 \times 10^6 \times 0,8 \times 10^{-3} = 888 At$$

Force magnétomotrice dans le fer $(f. m. m)_{fer} = H \times l$

$$\mathcal{E}_{fer} = H_{fer} \times l = 2450 \times (80 + 25) \times 4 \times 10^{-3} = 1029 At$$

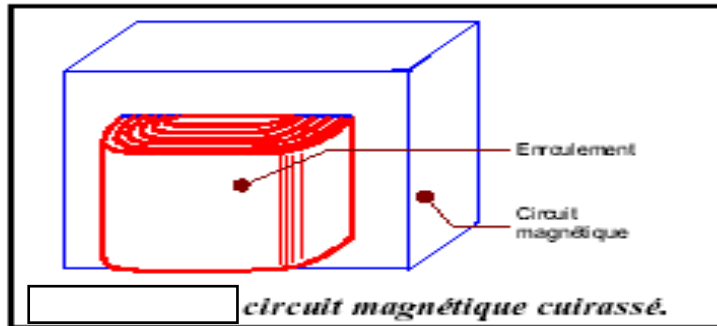
Force magnétomotrice totale

$$\mathcal{E}_{tot} = \mathcal{E}_{fer} + \mathcal{E}_e = 888 + 1029 = 1917 At$$

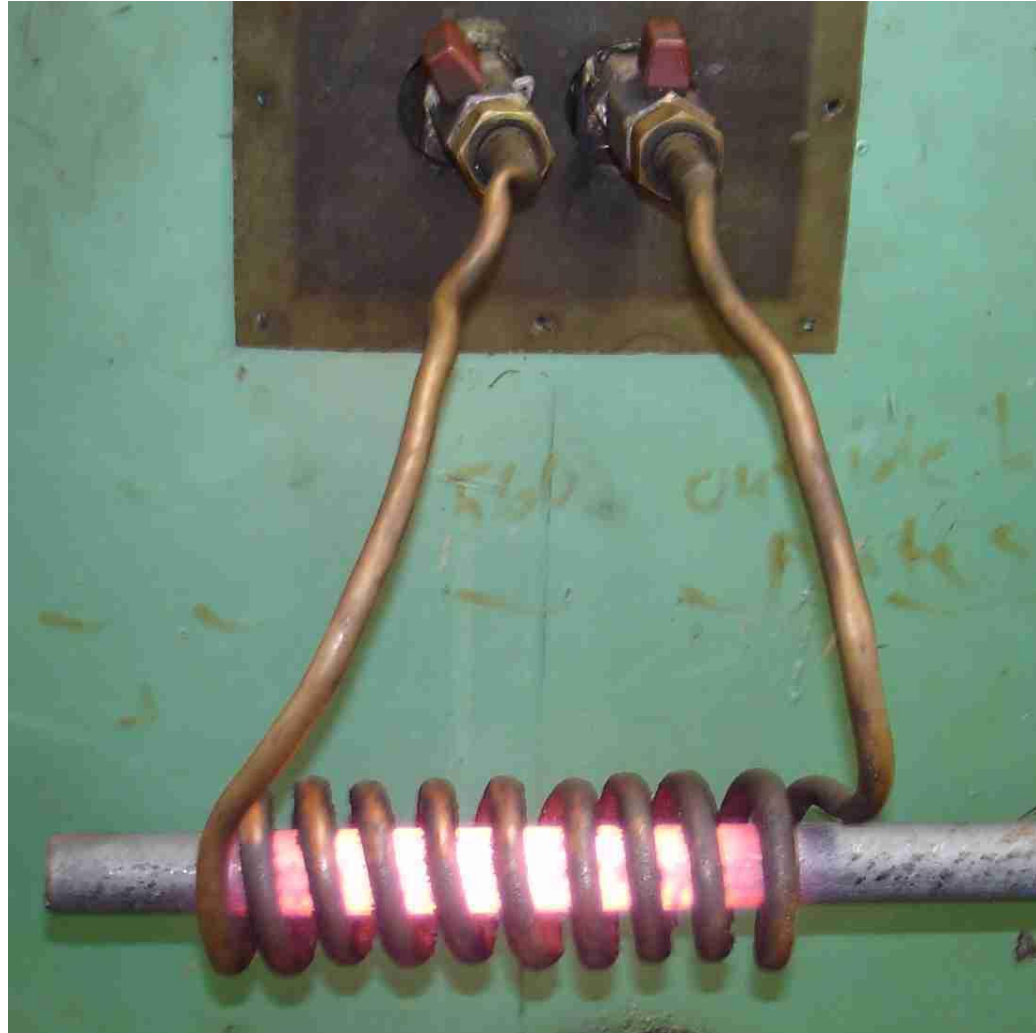
$$\mathcal{E}_{tot} = n \times I = 1200 \times I = 1917 At$$

$$I = \frac{1917}{1200} \cong 1.6 A$$

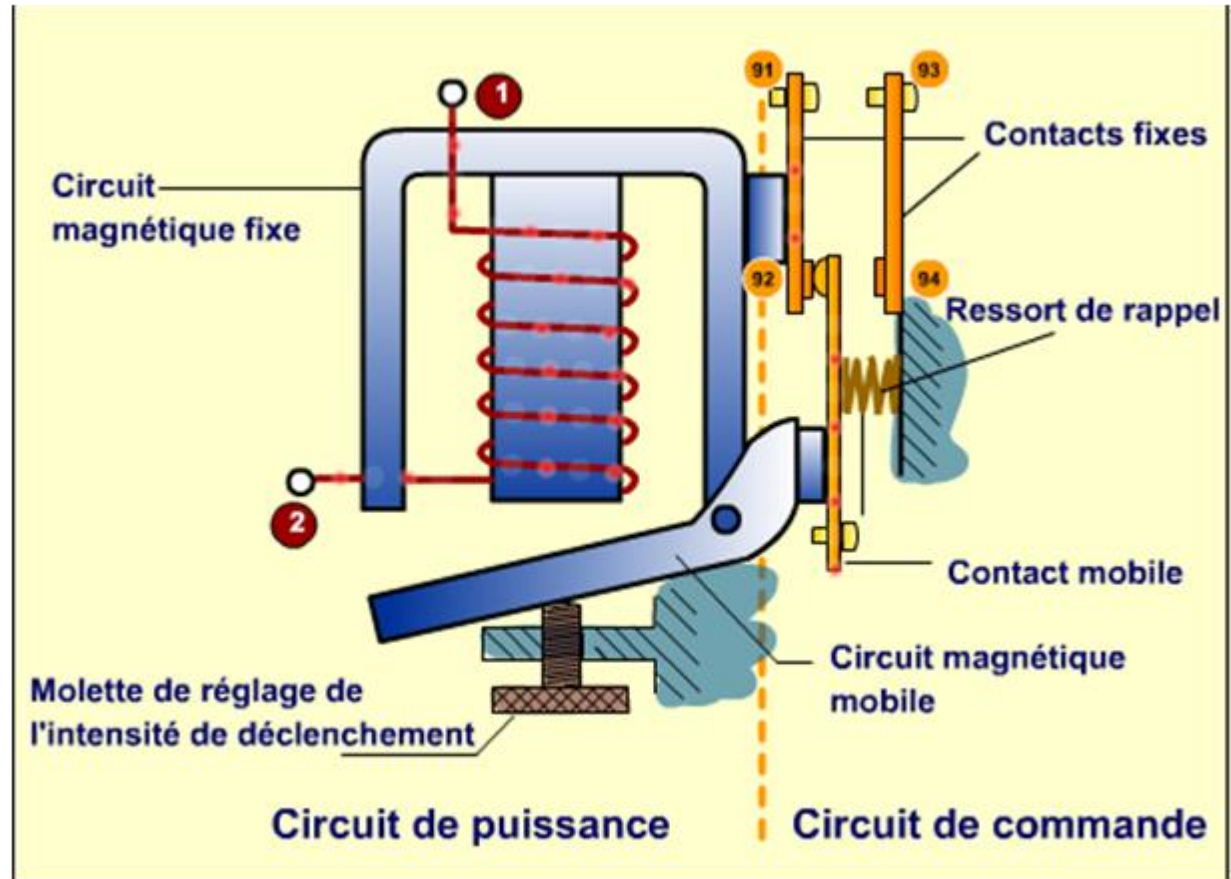
Applications



Applications



Relais magnétique





Levage de boîtes de conserves



Train à sustentation magnétique

FIN