

# Actionneurs électriques

## 1. Introduction

Master Spécialisé 1

Mécatronique

Faculté des Sciences de Tétouan

Février-Juin 2014

# Projet du cours

## **Contenu**

Circuits magnétiques , transformateurs, puissance , triphasé, principes et caractéristiques des moteurs (continus, alternatifs, pas à pas, moteurs spéciaux), régime statique et régime dynamique.

Régulation, entraînement, freinage, asservissement.

## **Méthodologie :**

Résolution de problèmes (séances de TD), cours remis et préparé en séparé.

Exposés d'étudiants en guise de TP

Évaluation continue (Tests et participation en classe, présence)

## **Références :**

*Electrotechnique, Théodore Wildi*

*Electrotechnique, notions de base, Luc Lasne*

*Manuel de génie électrique, (groupe d'auteurs), Dunod, Col Sciences Sup*

*Exercices et problèmes d'électrotechnique, Luc Lasne, Col Sciences Sup*

*Aide mémoire électrotechnique, Pierre Mayé, usine nouvelle*

*Machines électriques, cours et problèmes Claude Chevasseau*

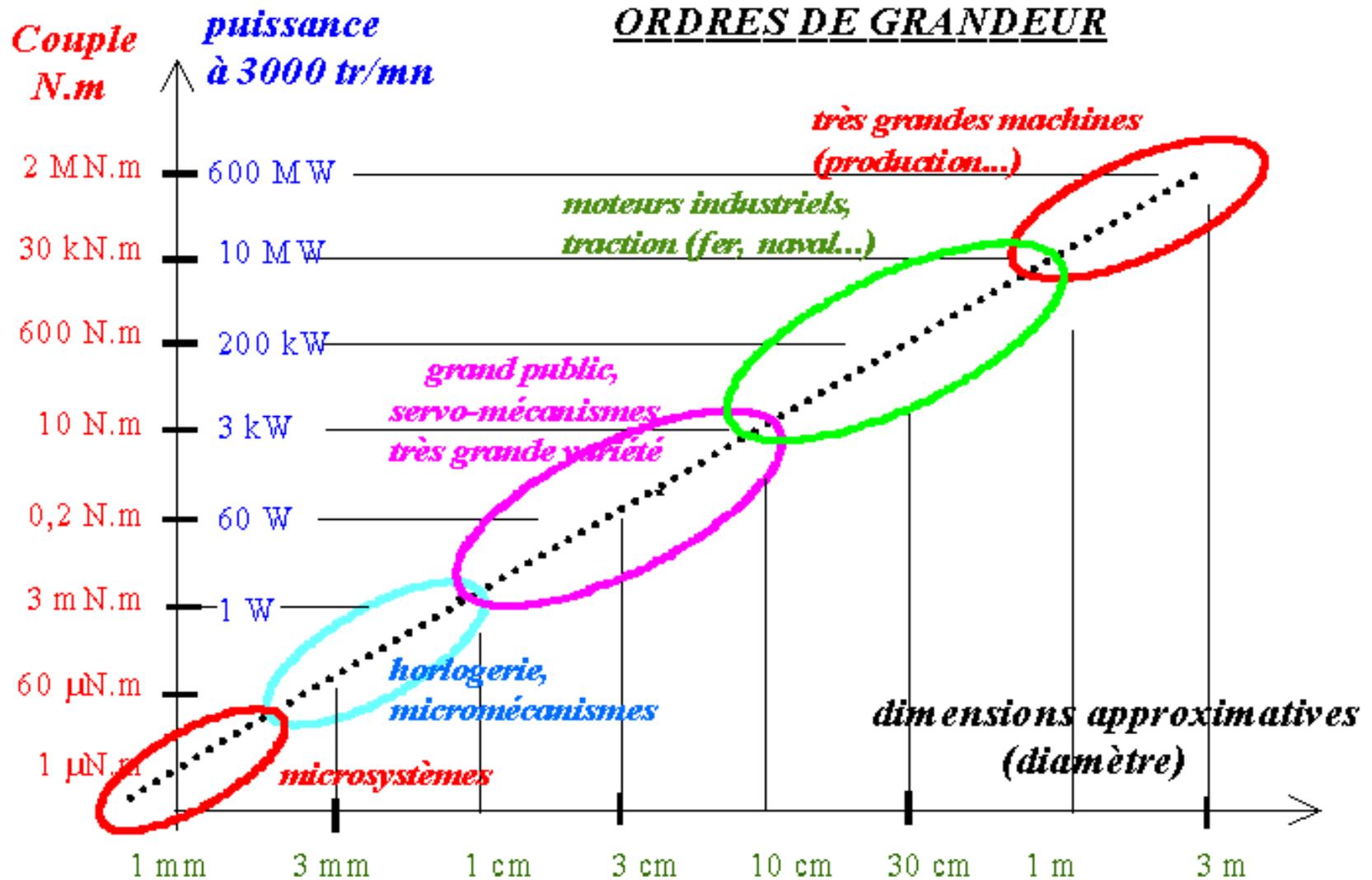
*Electric Machines and Electromechanics, Shaum*

*Collection Techniques d'ingénieurs*

# Définition et contexte

- Actionneur = organe produisant une action
- Contexte de la mécatronique :
  - Robotique : organes d'une chaîne de contrôle assurant une fonction mécanique (conversion d'énergie électrique en énergie mécanique)
  - Domestique : domotique (automatismes appliqués au bâtiment : alarmes, lèves rideaux..),
  - industrie automobile
  - Aéronautique et militaire
  - Traitement de l'information : entraînement, asservissement de position, (têtes de lecture, impression, déplacement)

# Domaines des puissances



# Liens utiles

Tous les fabricants :

<http://www.directindustry.fr/cat/moteurs-moto-reducteurs-contrôle-moteur-D.html>

Groupe industriel

<http://www.givoyer.com/moteurs.html>

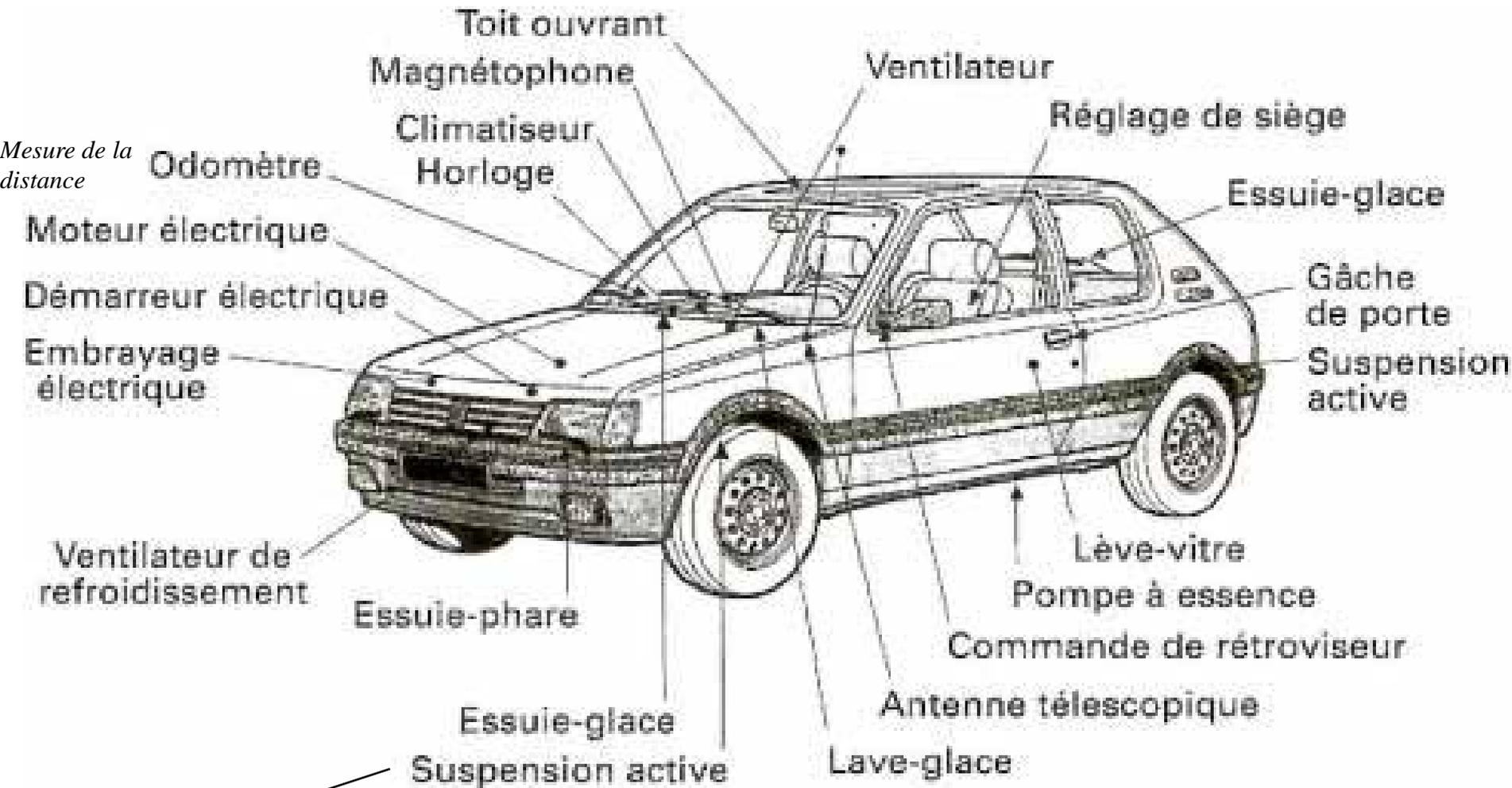
Recherche par item (entreprises, produits, annonces)

<http://equipement-electrique-electronique.europages.fr/annuaire-entreprises/did-14/hc-14530/Moteurs-electriques-et-pieces.html>

# Principes généraux

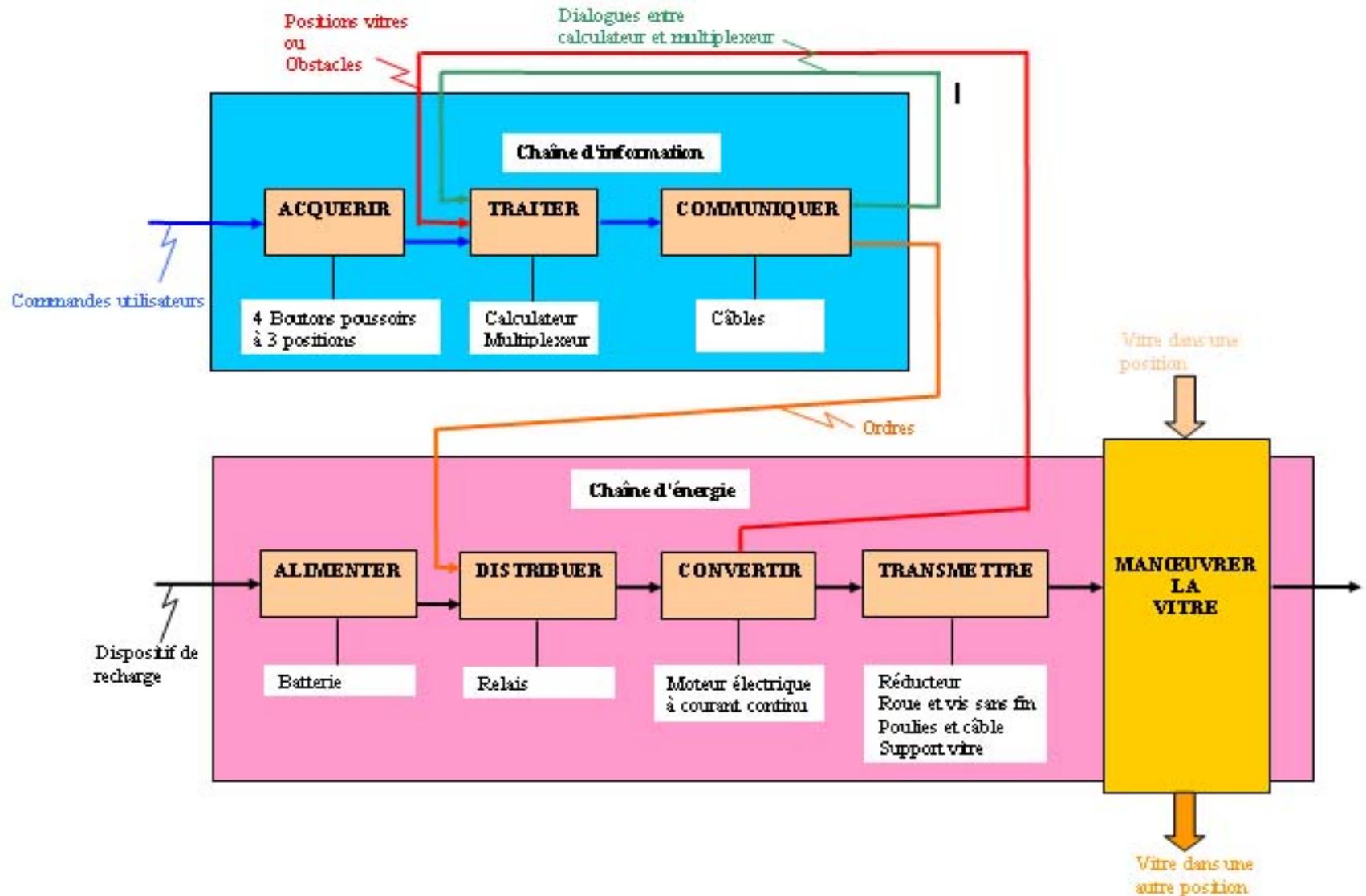
- Interactions entre champs magnétiques
- Interaction entre champ magnétique (pièces polaires) et courant électrique (enroulements)
- Canalisation des lignes de champ par des circuits magnétiques (fer)
- Transmission du mouvement
- Circuit de commande
- Circuit de puissance

# Exemple de système intégrant des actionneurs électriques



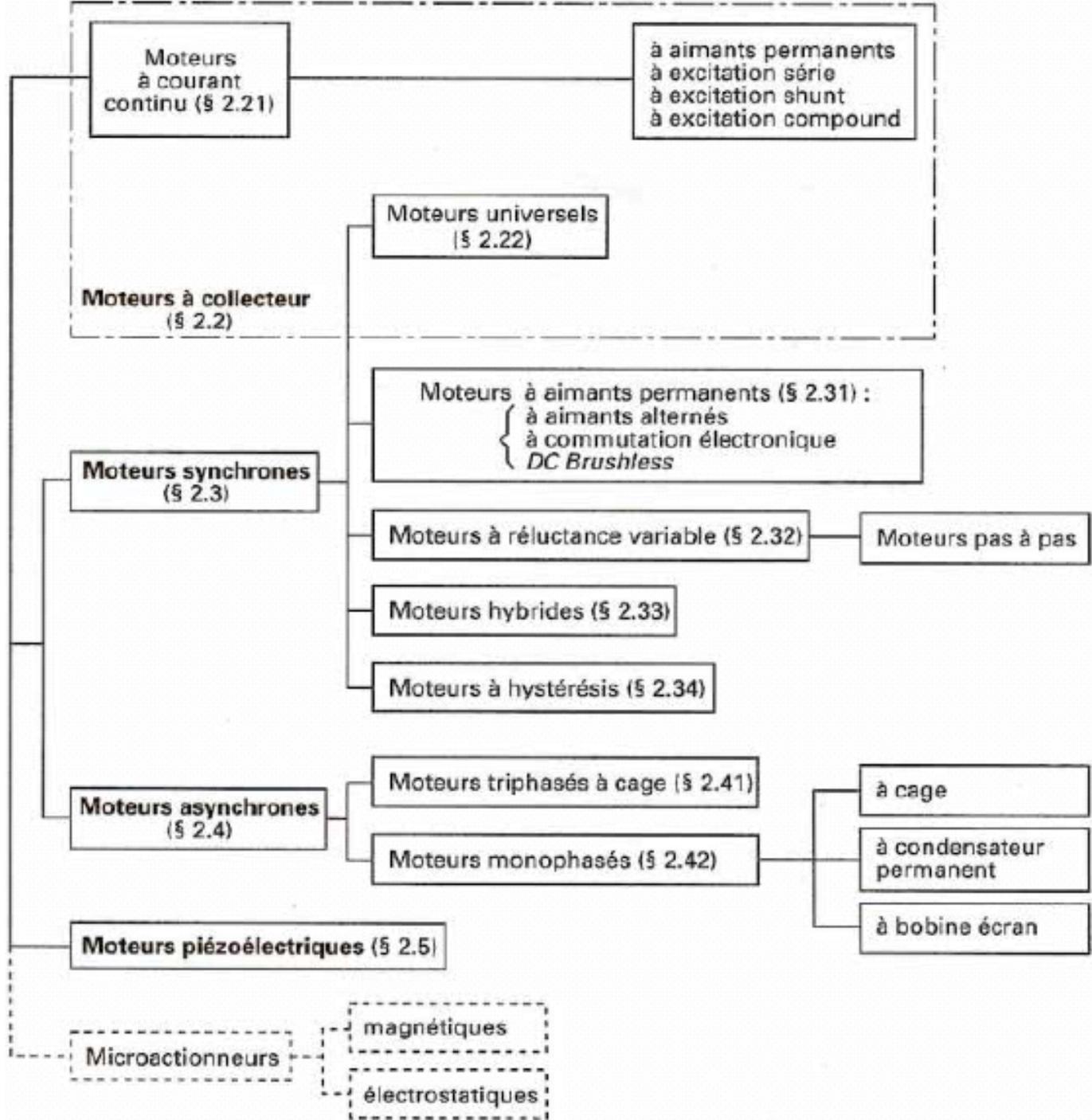
Voir vidéo

# Lève vitre séquentiel



# Classification des moteurs

Réf. TI  
D 3 720 page 3



# Rappel et lois fondamentales

*Manifestations du magnétisme* : forces des aimants, interaction entre courants électriques, action d'un courant sur un aimant, boussole (Oersted, 1820). Tout **mouvement de charges électriques** s'accompagne de l'apparition d'un champ de forces dites magnétiques qui agissent à distance même dans le vide. Le champ magnétique est donc de nature électrique

Propriétés :

1. Conservation du flux à travers une surface fermée
2. Lignes de champ : des courbes fermées
3. Théorème d'Ampère

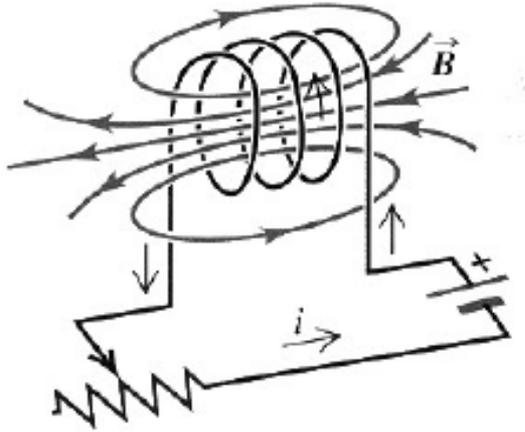
$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_C I \quad ; \quad \vec{B} = \mu(\text{matériau}) \vec{H}$$

Application au calcul des champs

$$\vec{H}_{fil} = \frac{I}{2\pi r} \quad ; \quad \vec{H}_{tore} = \frac{NI}{2\pi R}$$

# Lois fondamentales

## Inductance

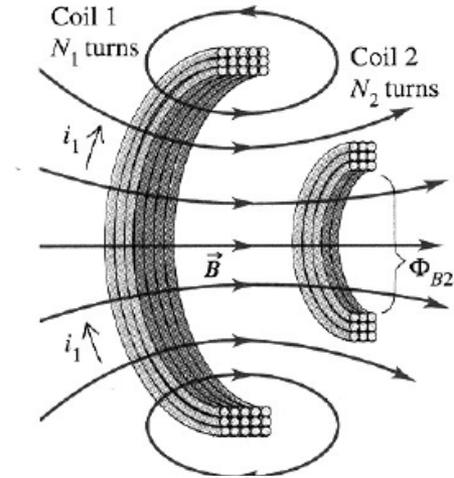


$$L = \frac{N \cdot \Phi_B}{i} \quad [\text{V} \cdot \text{s} / \text{A} = \text{Wb} / \text{A} = \text{H}]$$

*fém induite (Faraday, Lenz)*

$$\varepsilon = -N_1 \frac{d\phi_B}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

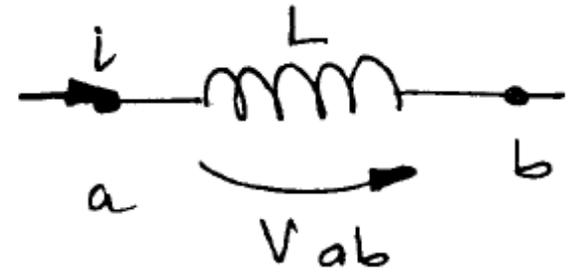
## Inductance mutuelle



$$M = \frac{N_2 \cdot \Phi_{B2}}{i_1} = \frac{N_1 \cdot \Phi_{B1}}{i_2} \quad [\text{H} = \text{V} \cdot \text{s} / \text{A}]$$

$$\varepsilon_2 = -M \cdot \frac{di_1}{dt} \quad \varepsilon_1 = -M \cdot \frac{di_2}{dt} \quad [\text{V}]$$

# Energie magnétique



Tension aux bornes : 
$$V_{ab} = L \frac{di}{dt} + Ri$$

Puissance consommée : 
$$P_L = V_{ab} i = Li \frac{di}{dt}$$

le signe de  $V_{ab}$  (et donc de  $P$ ) dépend du sens de la variation du courant !

Energie magnétique d'un système d'inductances : 
$$W = \frac{1}{2} \sum_{i,j} L_{ij}(x_k) I_i I_j$$

Actions mises en jeu : 
$$A = \frac{\partial W}{\partial x_k}$$

$x_k$  est le degré de liberté du système,  $A$  (Force ou couple selon le cas)

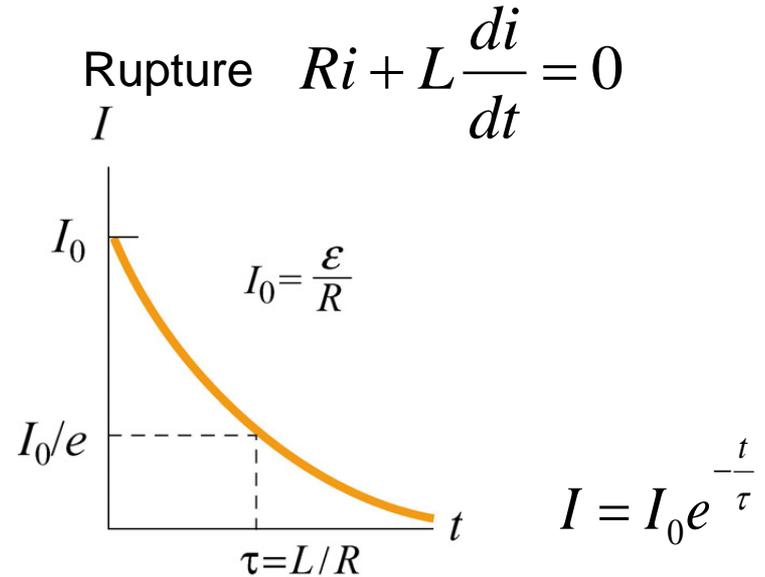
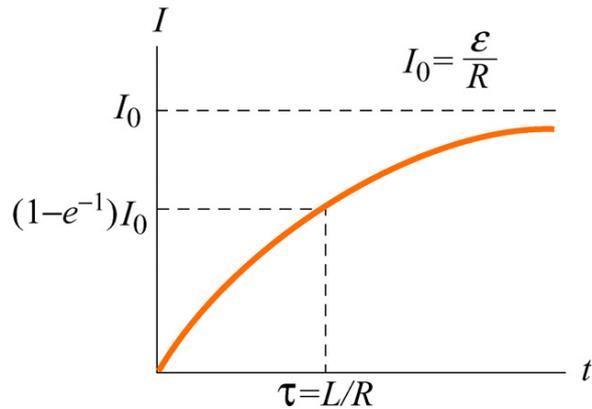
Elle est emmagasinée **dans l'unité de volume** avec la densité (dans le vide):

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad \left[ \text{J/m}^3 \right]$$

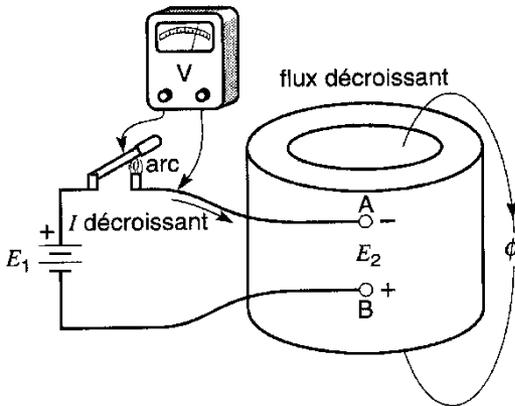
En présence de matière ?

# Etablissement et rupture du courant dans une inductance

Etablissement  $Ri + L \frac{di}{dt} = U$

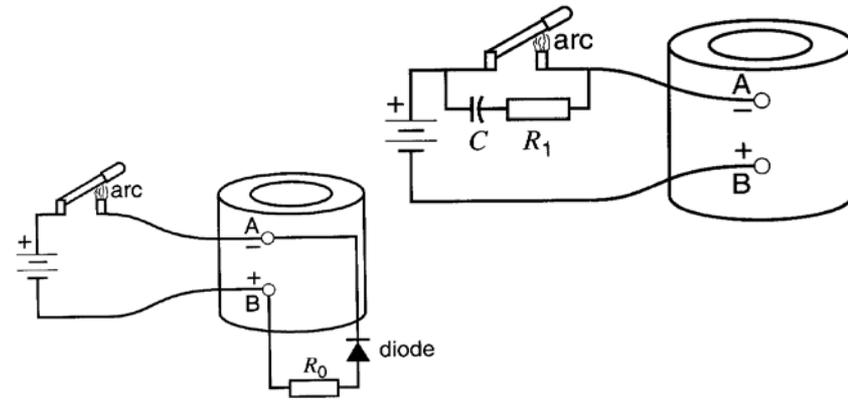


Inconvénient : arc électrique à l'ouverture des circuits inductifs.



Interrupteur actionné : forte tension ( $dI/dt$  grand) donc arc et usure des contacts. L'énergie emmagasinée dans la bobine est dissipée (Joule) dans l'arc.

Remèdes :



# Détermination graphique du courant dans une inductance

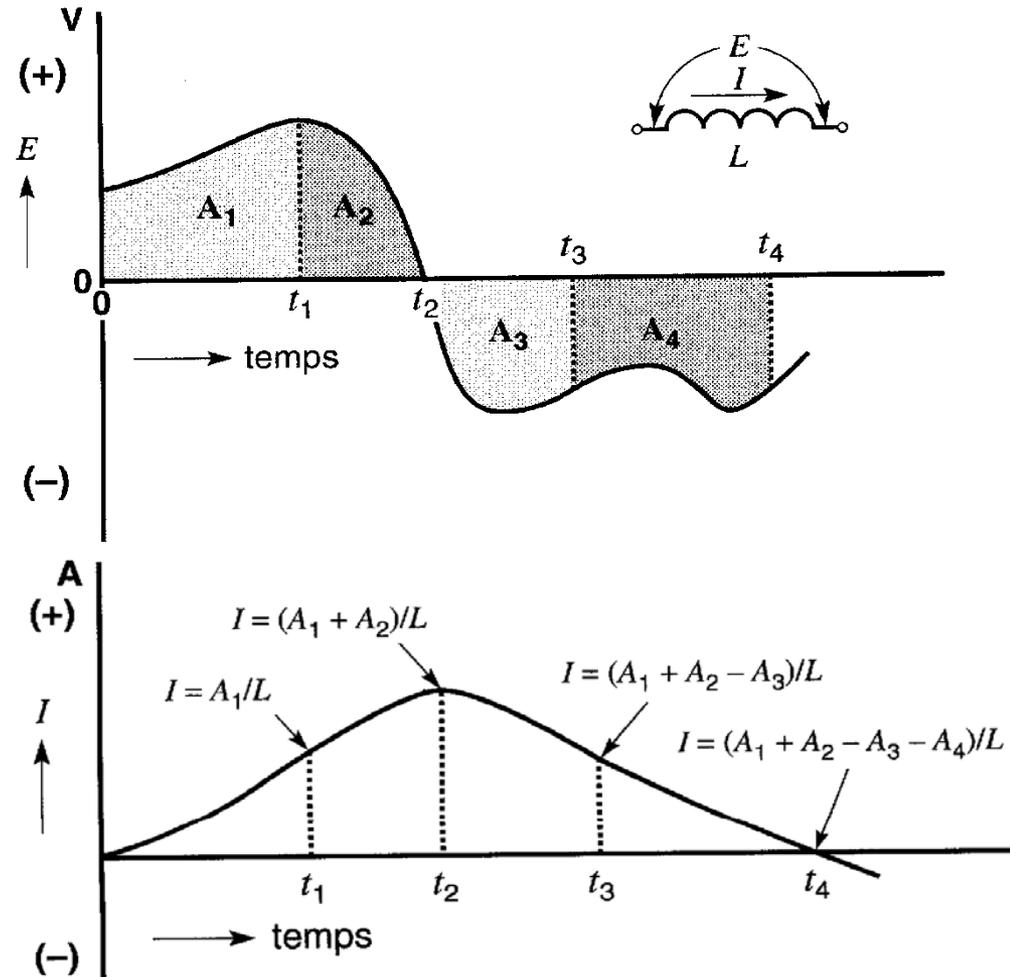
Méthode des Volts. Secondes

$$I = \int \frac{V dt}{L}$$

Il suffit de compter les surfaces algébriquement.

Ici, on a supposé :

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$



# Magnétisme dans la matière

La fém. induite dans une inductance en présence de noyau de fer est plus grande que sans noyau :

$$B_{fer} \gg B_0 \quad \frac{B_{fer}}{B_0} = \mu_r \quad \vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$$

$$\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H} \quad \vec{H} \quad \text{Champ d'excitation magnétique}$$

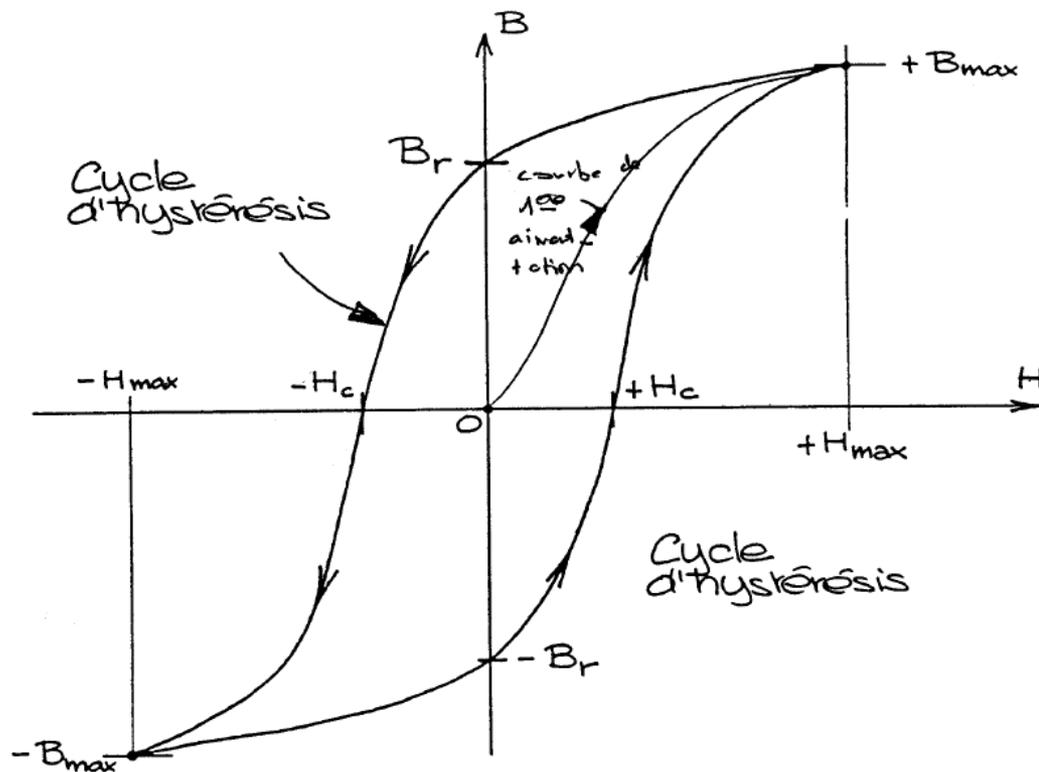
$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \vec{M} \quad \text{Aimantation de la matière}$$

Matériau linéaire isotrope

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} = \mu \cdot \vec{H} \quad [\text{V} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = \text{Wb} / \text{m}^2 = \text{T}]$$

$\mu_r$  Très grand dans les matériaux ferromagnétiques

# Matériaux ferromagnétiques



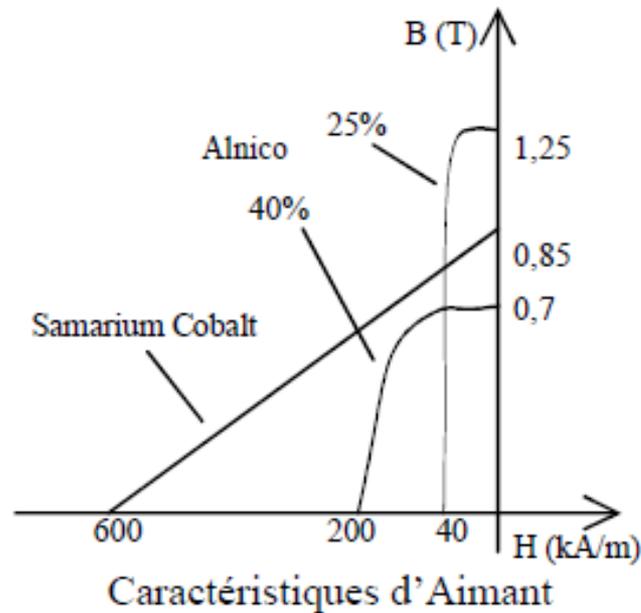
*Matériau dur : Cycle large, aimants*

*Matériau doux : cycle étroit*

Matériaux	Composition	$B_r$ [T]	$H_c$ [A / m]
Acier au carbone	98 % Fe ; 0.86 % Co ; 0.9 % Mn	0.95	3600
Alnico 2	55 % Fe; 10 % Al; 17 % Ni; 12 % Co; 6 % Cu	0.76	42000
Alnico 5	51 % Fe; 8 % Al; 14 % Ni; 24 % Co; 3 % Cu	1.25	44000

# Applications

## Aimants



### Ferrite (oxyde de fer)

Saturation à  $\approx 0,6$  T

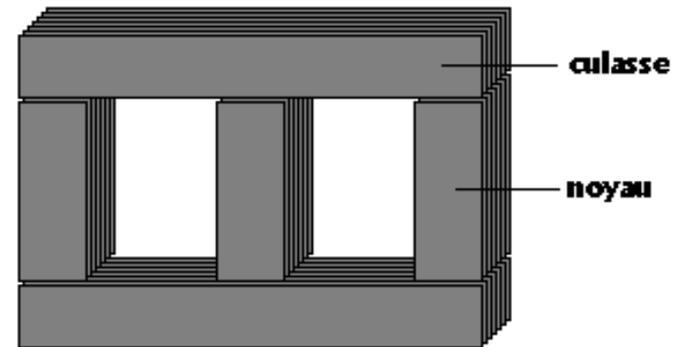
$B_r = 0,4$  T -  $H_c = 200$  kA/m

### Samarium-Cobalt (Sm-Co)

saturation à  $\approx 1$  T

$B_r = 0,8$  T -  $H_c = 500$  kA/m

## Tôles de Transformateurs



### FeSi 3,5% de Si

Saturation à 2 T -  $B_r = 0$  -  $H_c = 0$

$\mu_r = 7000$  à 50 Hz

### FeSi à grains orientés

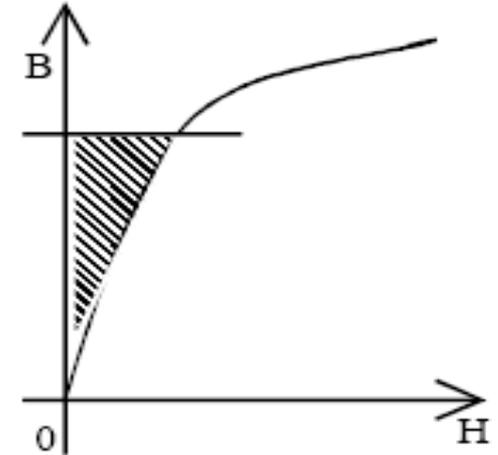
saturation à 3 T -  $B_r = 1,4$  T -  $H_c = 8$  A/m

$\mu_r > 40\ 000$  à 50 Hz

# Energies magnétiques en présence de matière

Énergie magnétisante : énergie nécessaire pour produire B dans un matériau. Dans l'unité de volume :

$$e_m = \int_0^B H dB$$



Energie « stockable » dans un milieu de perméabilité  $\mu$   
(Si le matériau est linéaire, loin de la saturation)

$$e_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu}$$

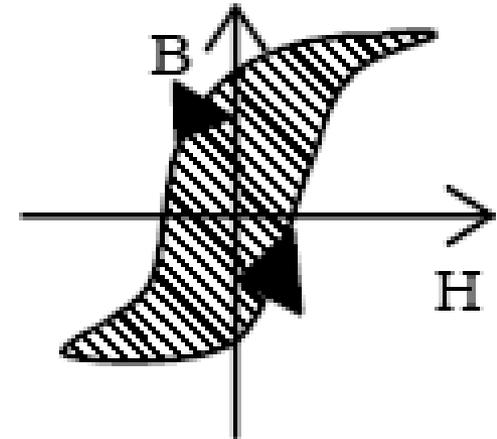
Pertes par Hystérésis :  
 $f$  fréquence

$$P_h = \alpha B_m^2 \cdot f$$

Pertes par courants de Foucault :  
effet Joule des courants induits  
(champ sinusoïdal) :

$$P_f = \beta B_m^2 \cdot f^2 \cdot e^2 \quad e = \text{épaisseur}$$

$$B = B_m \sin 2\pi ft$$



Circuit feuilleté dans les transformateurs

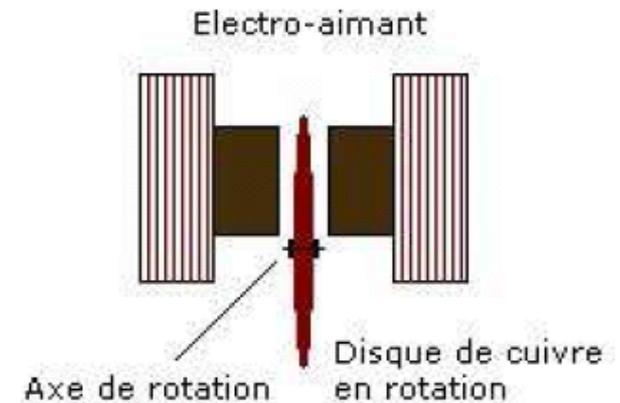
# Exploitation des courants de Foucault

Freinage et entraînement par courants de Foucault. La vitesse de rotation du disque métallique diminue lorsque l'électroaimant est sous tension : les courants qui prennent naissance s'opposent à la cause (rotation). Freinage des camions et trains aux grandes vitesses.

Inversement, si le disque est immobile et l'aimant tourne, les courants induits prennent naissance et sont soumis à la force de Laplace qui fait tourner le disque dans le même sens. Transmission de mouvement sans frottement mécanique

Four à induction : Pièces métalliques dans un champ magnétique de haute fréquence. Métallurgie.

Inconvénients : échauffement des transfo et des installations électriques.



*Frein à courants de Foucault sur un train rapide japonais*

