

Matériaux en Electrotechnique

INTRODUCTION

Matériaux conducteurs

- conducteurs électriques
- le cuivre et l'aluminium pour les conducteurs électriques.

Matériaux semi-conducteurs

- Interrupteurs électroniques de puissance
- le silicium pour les composants d'électronique de puissance.

Matériaux magnétiques

- circuits magnétiques, aimants permanents
- le fer pour les circuits magnétiques.

Matériaux isolants

- isolants électriques
- la silice (oxyde de silicium), le bois et les dérivés du pétrole pour les isolants électriques.

Le choix de ces matériaux dépend, en premier lieu de leurs **propriétés électriques** (**résistivité, perméabilité, constante diélectrique...**) et de leur coût, mais aussi de leurs **propriétés physiques et mécaniques** (**densité, dilatation, point de fusion, sensibilité à la corrosion, dureté, élasticité...**).

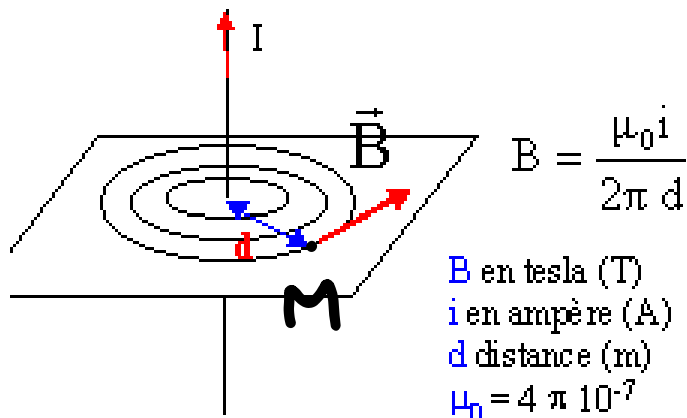
Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

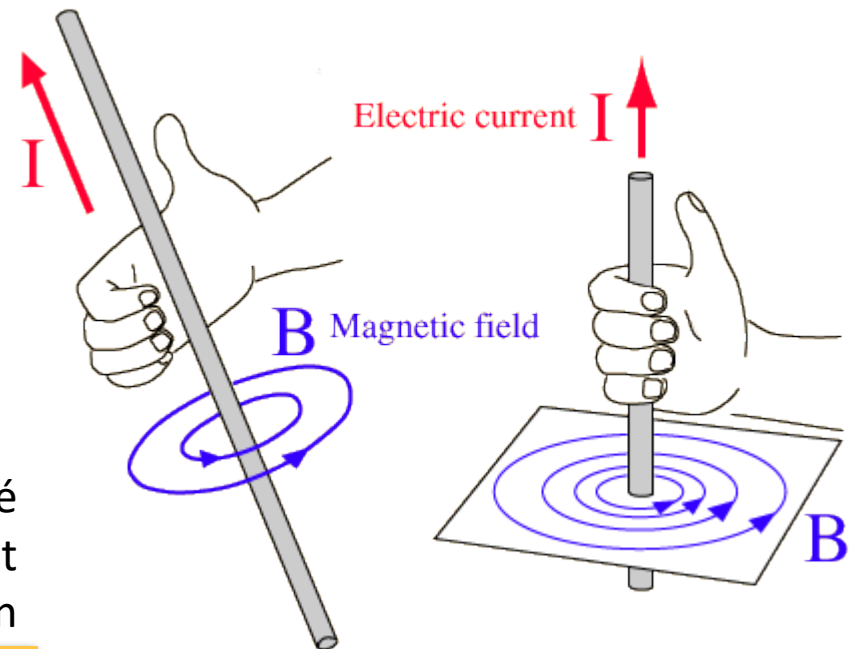
1) Rappels

A. Induction **B** et excitation **H**

Dans le vide, l'Induction **B** est créée par un circuit électrique parcouru par un courant **I**. En un point donné **M** de l'espace, on a toujours une relation du type :



On dit que le milieu magnétique caractérisé par μ_0 , est excité par le circuit électrique **I** et on définit ainsi le vecteur excitation magnétique **H** qui vérifie la relation : **$B = \mu_0 H$**



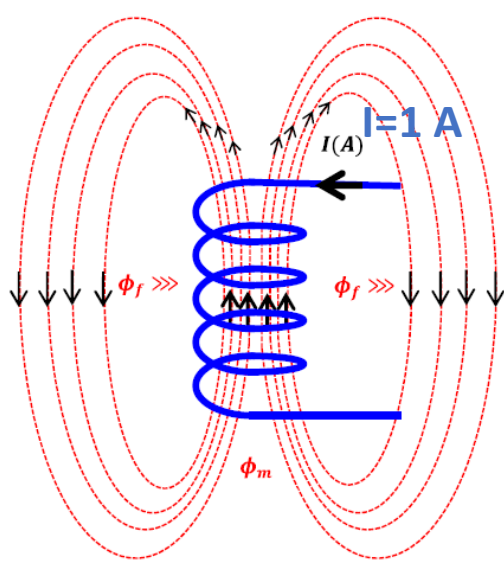
Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

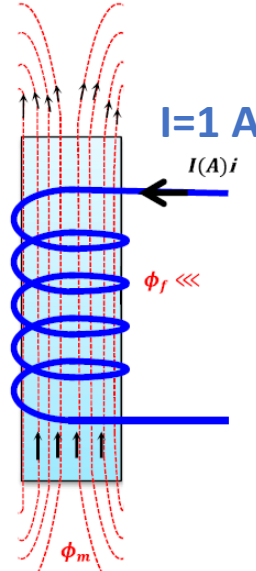
1) Rappels

B. Substance ferromagnétique

Certaines substances dites **ferromagnétiques**, très souvent à base de fer, ont une perméabilité très élevée : $B = \mu_0 \mu_r H$ avec perméabilité relative $\mu_r = \mu / \mu_0 \approx 10^3$ à 10^5 .



$B = 0,63 \text{ mT}$ dans le vide



$B = 1 \text{ T}$ dans fer doux

- ✓ Ces matériaux canalisent les lignes de champs
- ✓ ils perdent leurs propriétés magnétiques au-dessus de la température de Curie : (770°C pour le fer)
- ✓ Leur perméabilité relative diminue fortement quand H augmente - **saturation** - et dépend des états magnétiques antérieurs - **hystérésis magnétique**.

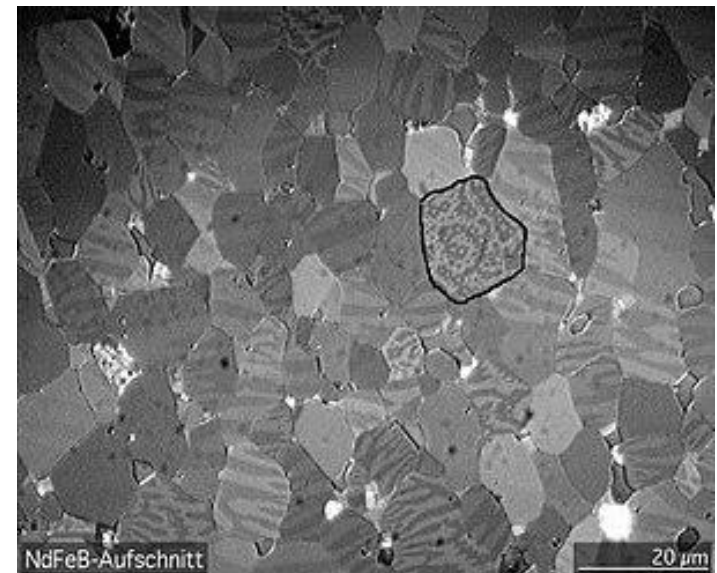
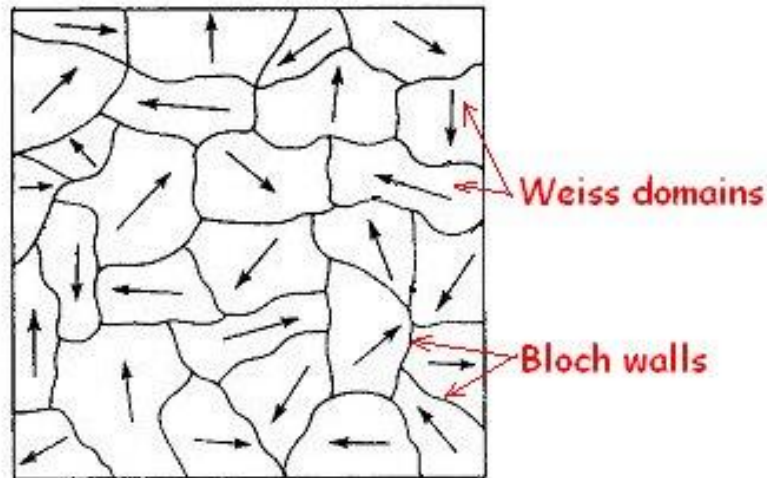
Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

B. Substance ferromagnétique

Le point central du **ferromagnétisme**, est que la matériau est constitué de nombreux petits domaines, de taille caractéristique entre 0,1 μm et 1 μm , qui présentent tous un certain moment dipolaire, dirigé dans une direction quelconque ce sont les **domaines de Weiss**. Ces domaines sont séparés par des zones de forte variation de l'aimantation microscopique ce sont les **parois de Bloch**. Chaque domaine crée un champ magnétique. Pour un matériau qui n'est pas aimanté, les champs magnétiques de chaque petit domaine s'annulent en moyenne. L'ensemble ne présente alors aucun champ magnétique macroscopique.



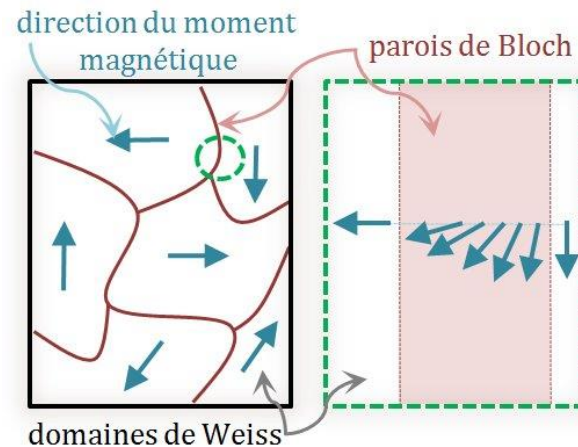
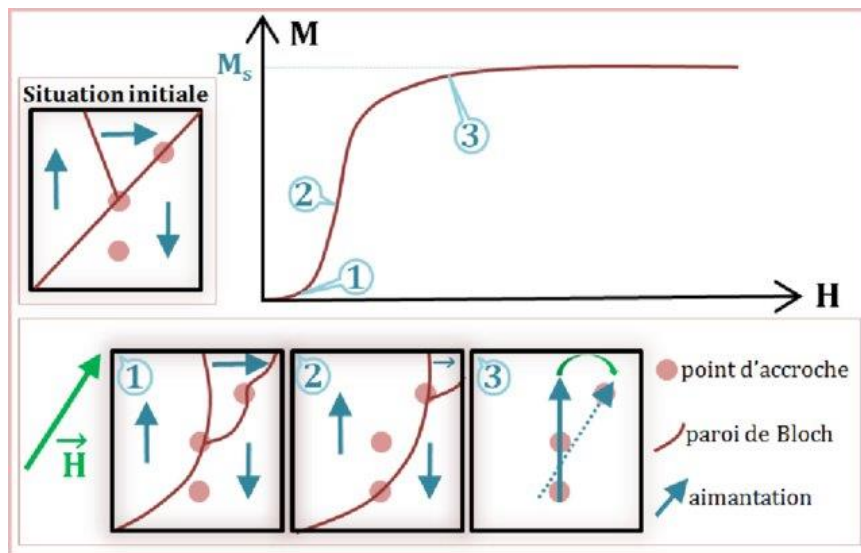
Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

B. Substance ferromagnétique

Ces matériaux leur perméabilité relative diminue fortement quand H augmente - **saturation** - et dépend des états magnétiques antérieurs - **hystérésis magnétique** .



Représentation schématique de la structure en domaines d'un matériau ferromagnétique



Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

B. Substance ferromagnétique

Mouvement du domaine magnétique dynamique électromagnétique de grains orientés de fer doux (alliage fer-silicium).



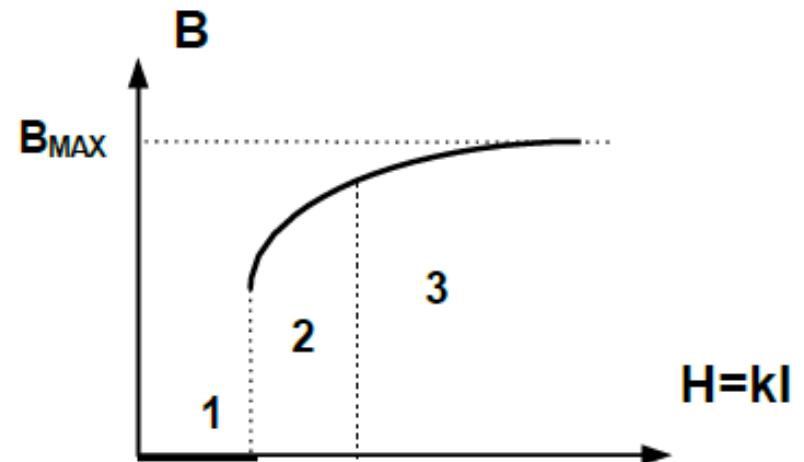
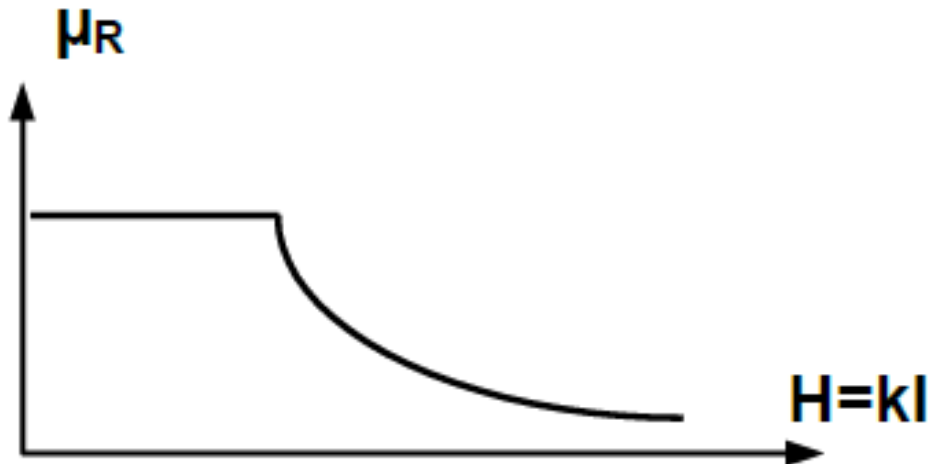
Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

C. Saturation du circuit magnétique

Les machines électriques fonctionnent dans la zone utile « 2 » (**légèrement saturée**). En zone saturée « 3 », le courant **I** créant **B** est trop élevé (**échauffement de la machine**). En zone linéaire « 1 », le champ B est trop faible.



Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

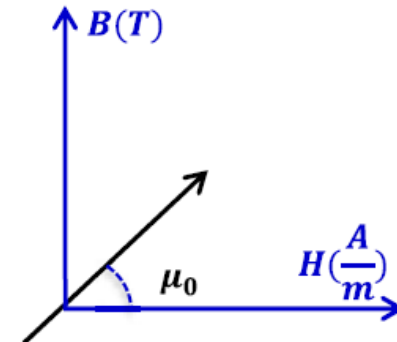
D. Hystérésis du circuit magnétique

Nous avons constaté que l'importance du champ magnétique et donc l'induction était proportionnelle à l'intensité du courant électrique ainsi qu'au nombre de spires.

Induction dans le vide (\approx air) :

$$B_0 = \mu_0 \times N \times I / l_g$$

Induction dans le vide B_0 = Perméabilité du vide μ_0 \times Nombre de spires N \times Intensité I / longueur l_g du solénoïde
 B s'exprime en Tesla (T)

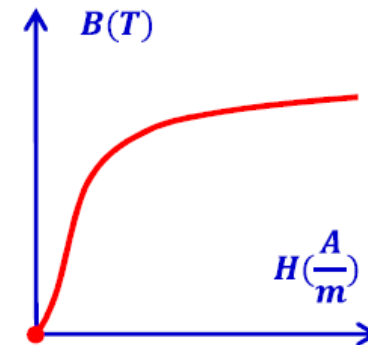


Avec un noyau :

Un noyau magnétique est fourni avec son μ_r qui est une valeur relative donc sans unité. Un noyau de forte perméabilité (fer doux ≈ 10000 ; **Mu-métal** ≈ 150000)

$$B = B_0 \times \mu_r$$

Induction de la bobine avec noyau B = Induction dans le vide ou air B_0 \times Perméabilité relative du noyau μ_r



Matériaux en Electrotechnique

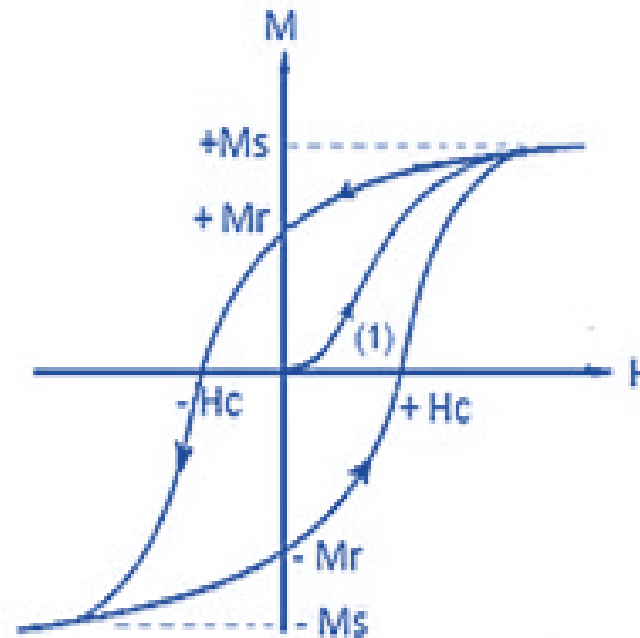
MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

D. Hystérésis du circuit magnétique

Lorsque l'on applique un champ magnétique externe sur un matériau ferromagnétique, les moments magnétiques s'orientent dans la même direction que le champ. Par la suite, même lorsque le champ est supprimé, une partie de l'alignement est conservée : le matériau s'est aimanté. En appliquant un champ magnétique opposé suffisamment intense, les moments magnétiques se renversent mais l'aimantation ne suit pas le chemin initial. Il y a un **cycle d'hystérésis**.

Cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique : (1) Courbe de 1^{re} aimantation. Les intersections H_c et M_r sont respectivement le champ coercitif et l'aimantation rémanente.

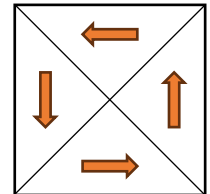
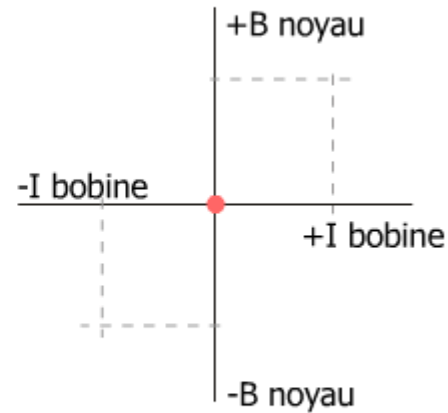
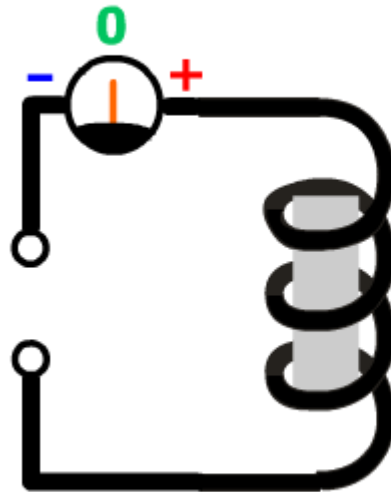


Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

D. Hystérésis du circuit magnétique

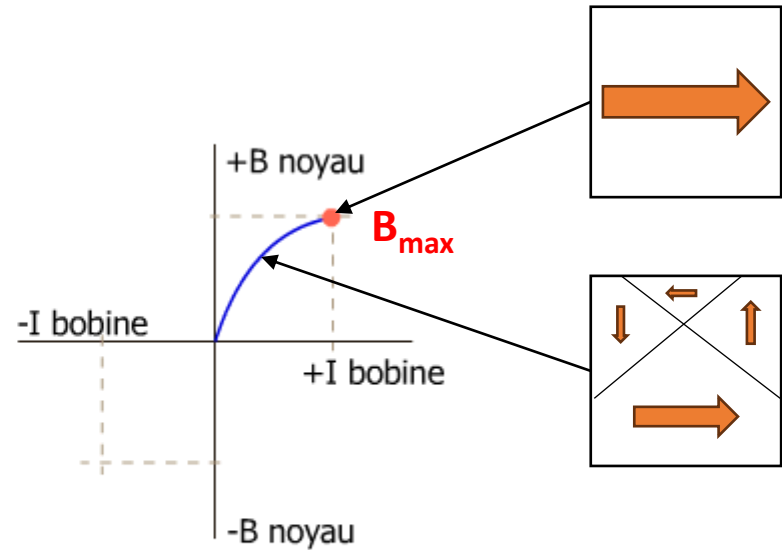
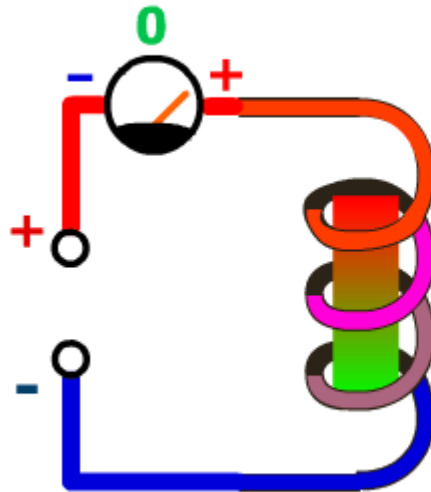


Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

D. Hystérésis du circuit magnétique

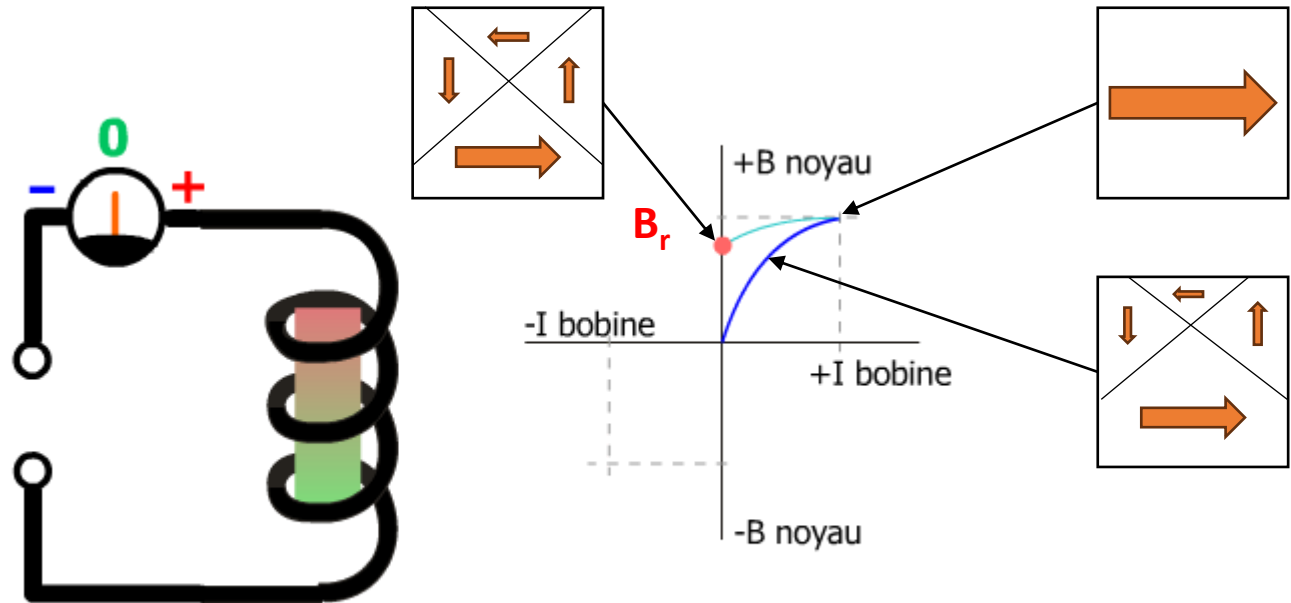


Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

D. Hystérésis du circuit magnétique

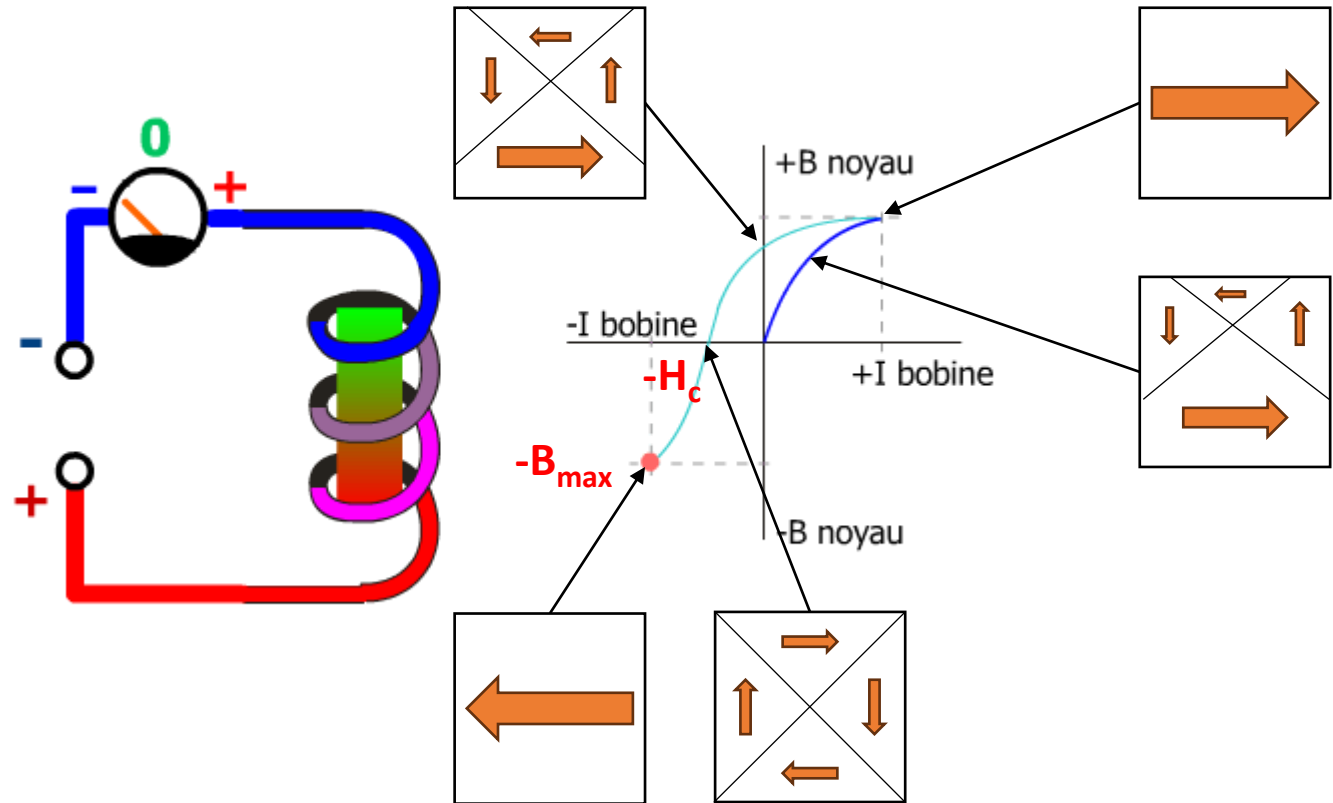


Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

D. Hystérésis du circuit magnétique

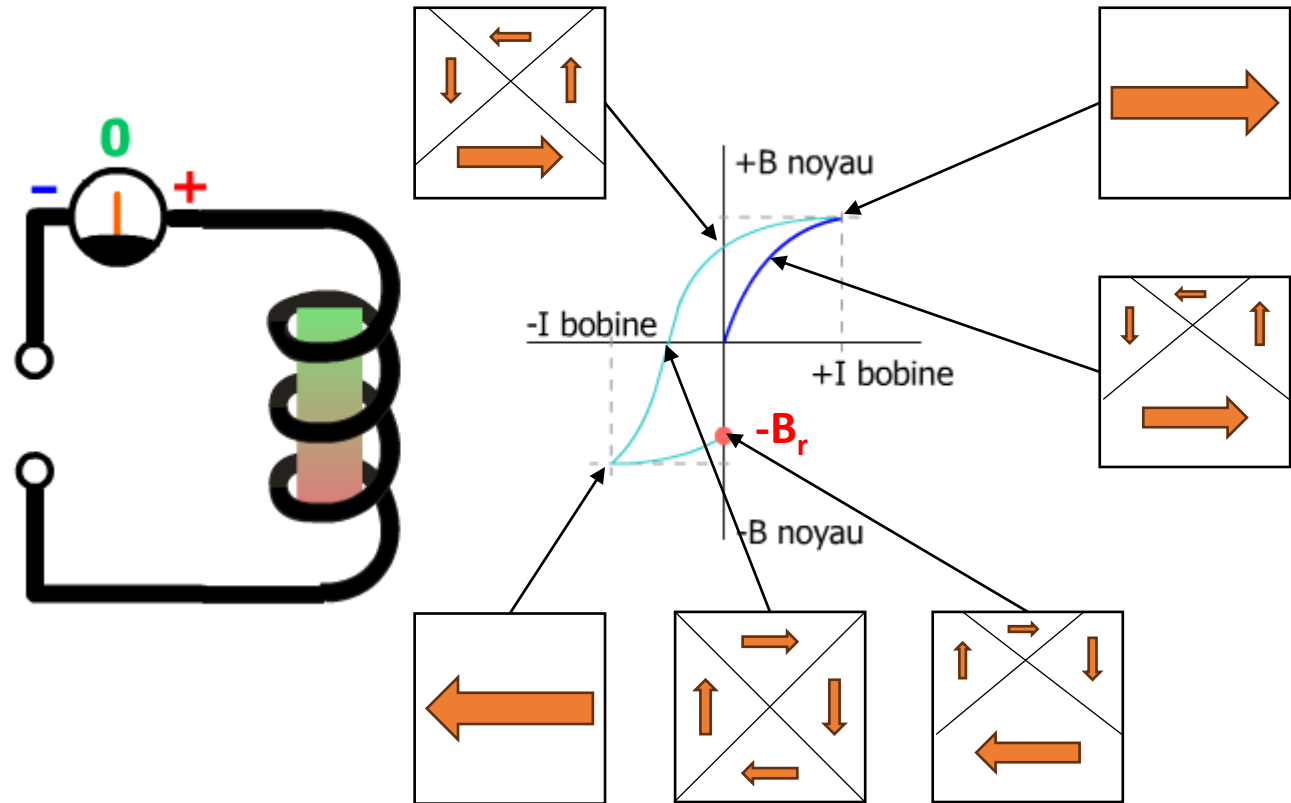


Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

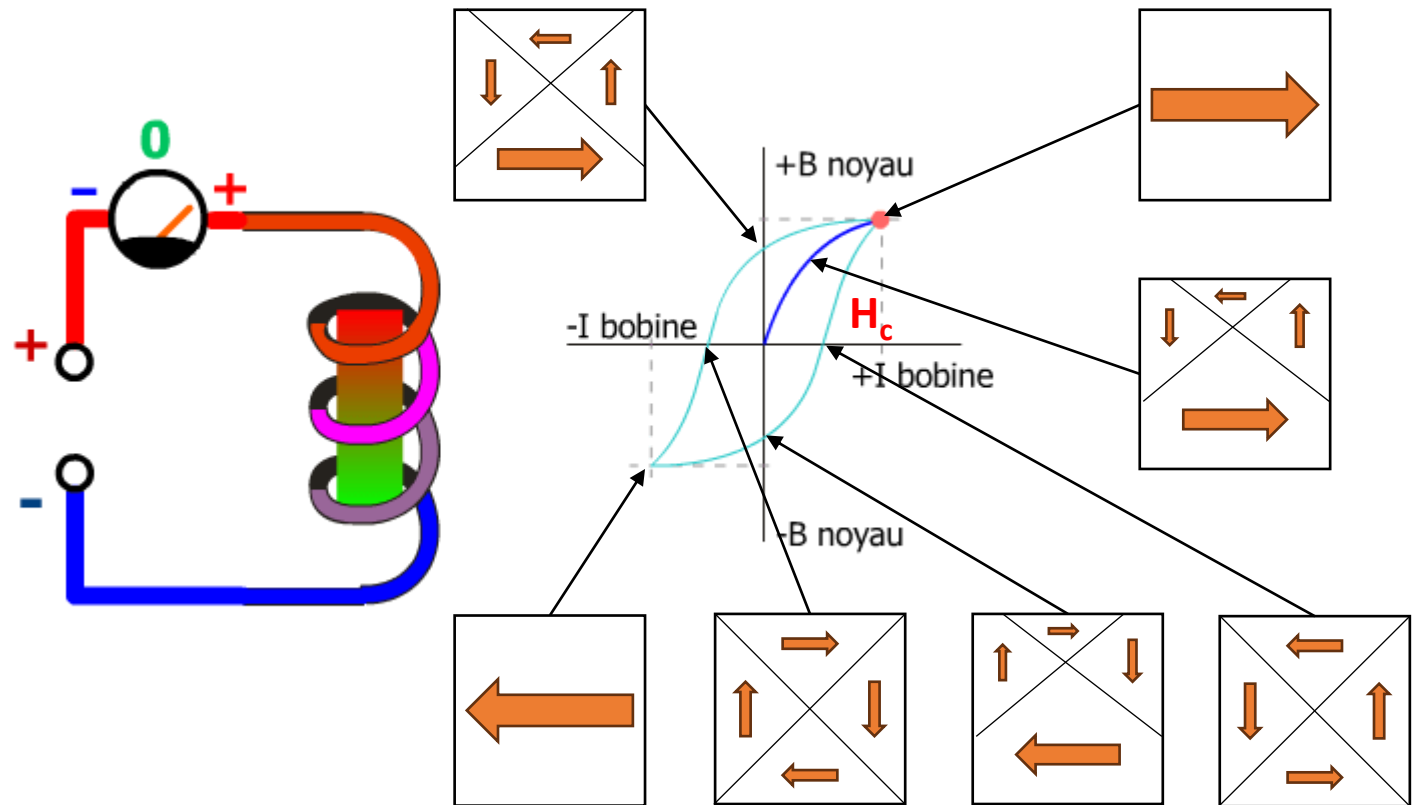
1) Rappels

D. Hystérésis du circuit magnétique



MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

D. Hystérésis du circuit magnétique



Matériaux en Electrotechnique

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

1) Rappels

E. Cycle d'hystérésis -- pertes par hystérésis

Si on applique à un matériau magnétique une excitation **H** alternative, on obtient dans le plan « **B,H** » un ***cycle d'hystérésis***. La surface du cycle rend compte de la difficulté à réaimanter le circuit magnétique. Cela se traduit par des pertes proportionnelles à la fréquence **f** de l'excitation **H** :

pertes par hystérésis:

$$P_{hys} = C_h \times f \times B_m^2$$

C_h dépend du matériau et est proportionnel à la surface du cycle : pour diminuer les pertes, il faut diminuer la surface du cycle.

