

Matériaux magnétiques dans les machines électriques

Un courant électrique crée un champ magnétique H

Une matière aimantée crée aussi (comme le courant) un champ magnétique H .

Les matériaux qui peuvent s'aimanter facilement sont appelés matériaux **ferromagnétiques** (le fer, le nickel et le cobalt)

Les matériaux qui ne peuvent pas s'aimanter sont appelés matériaux non ferromagnétiques ou linéaires (le cuivre, l'aluminium, l'argent, l'or, le bois, le PVC, ...etc).

Comment aimanter un matériau : On prend du fer par exemple on le place dans un champ magnétique très élevé : un cylindre en fer placé à l'intérieur d'une bobine parcouru par un courant I continu. Ce courant crée un champ magnétique H à l'intérieur de la bobine et le fer s'aimante. En retirant le fer (appelé aussi le noyau de la bobine) on se rend compte qu'il garde son aimantation et devient source d'un champ magnétique. Autrement dit, le fer, une fois aimanté, garde cette aimantation et on l'appelle ainsi **un aimant permanent**. On définit alors une loi d'aimantation $J = f(H)$ où J est l'aimantation du matériau. Il existe donc une relation entre les trois grandeurs magnétiques : l'induction B , le champ H et l'aimantation J de la forme $B = \mu_0 H + J$

Le comportement des matériaux ferromagnétiques en alternatif :

Le courant alternatif I à $f = 50$ Hz, dont la période est $T = 1/f$, est positif sur $T/2$ et négatif sur $T/2$. Le champ magnétique H qu'il crée dans la bobine est aussi alternatif (positif sur $T/2$ et négatif sur $T/2$), l'induction magnétique $B = \mu_0 \mu_r H$ est également alternative (positive sur $T/2$ et négative sur $T/2$). En visualisant les grandeurs B et H à l'oscilloscope on remarque qu'elles décrivent une courbe fermée appelée **boucle d'hystérésis**, figure 1. Cette boucle est cyclique c'est-à-dire sur une seconde elle est décrite 50 fois.

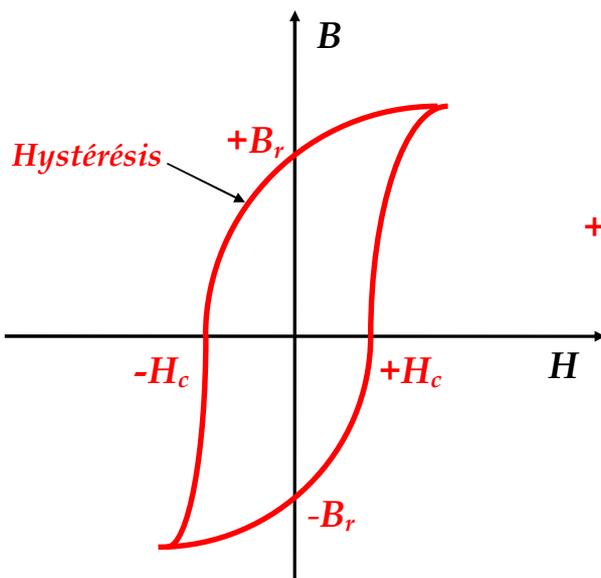


Figure 1 : $B(H)$ en courant alternatif

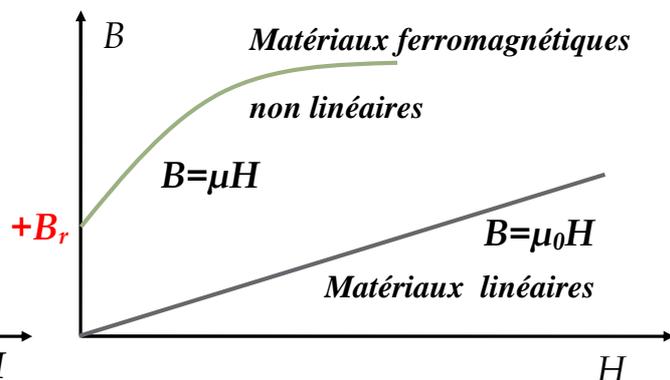


Figure 2 : $B(H)$ en courant continu

La surface de la boucle (le produit $B \times H$) représente l'énergie dissipée sous forme de chaleur dans le fer par unité de volume et par cycle, d'où le nom de pertes par hystérésis.

NB En courant continu $B(H)$ ne décrit pas de boucle : pas d'hystérésis donc pas de pertes par hystérésis.

Les matériaux non ferromagnétiques, figure 2, ont un comportement linéaire : $B = \mu_0 H$ est une droite qui passe par l'origine et dont la pente $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ est très faible.

Les matériaux ferromagnétiques ont un comportement non linéaire : $B = \mu_0 \mu_r H$ n'est pas une droite, figure 2. Aux faibles valeurs de H la courbe est linéaire (droite) et aux valeurs élevées de H la courbe n'est plus linéaire, en outre B n'augmente presque plus, mêmes si l'on augmente le champ H et on dit alors que le **matériau est saturé** (ou saturation du matériau). En électrotechnique il faut éviter de travailler au delà de la saturation du matériau, parce qu'on dépense beaucoup d'énergie (ainsi il faut augmenter le courant pour augmenter H) sans améliorer l'induction magnétique B . Dans ce cas on limite le fonctionnement du matériau au deçà de la saturation (partie linéaire de la caractéristique). On définit dans ce cas **la loi de comportement** :

$$B = \mu_0 H + B_r$$

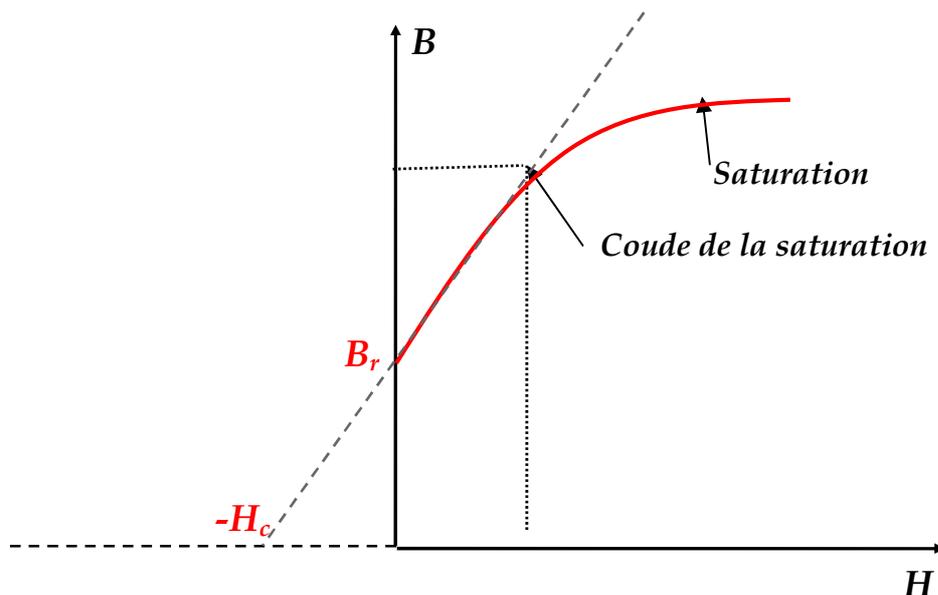


Figure 3 : loi de comportement des matériaux ferromagnétiques

Lorsque le champ magnétique extérieur vaut $H = 0$, l'induction magnétique vaut $B = B_r$, appelée **induction rémanente**

Si on inverse le sens du champ magnétique H , l'induction magnétique B décroît (désaimantation du matériau) et lorsque pour $B = 0$ alors $H = H_c$ est appelé le **champ coercitif**

Application dans les machines électriques :

On peut classer les matériaux ferromagnétiques en deux catégories :

- 1) Ceux qui possèdent une induction rémanente B_r et un champ coercitif H_c importants sont appelés les **matériaux ferromagnétiques durs**
- 2) Ceux qui possèdent une induction rémanente B_r et un champ coercitif H_c faibles sont appelés les **matériaux ferromagnétiques doux**

Les **matériaux durs** ont une surface de la boucle d'hystérésis élevée, ils présentent beaucoup de pertes d'énergie par hystérésis, on ne peut pas donc les utiliser dans les circuits magnétiques fonctionnant en courants alternatifs. En revanche, on les utilise dans les **aimants permanents** à cause de leur champ coercitif important : ils ne se **désaimantent** pas facilement.

Exemple :

Les aimants permanents des machines à courants continus, les aimants permanents des machines synchrones (MSAP) ...etc

Les **matériaux doux** ont une surface de la boucle d'hystérésis très petites, ils présentent donc de faibles pertes d'énergie par hystérésis, leur utilisation est recommandée dans **les circuits à courants alternatifs**.

Exemple : **Circuits magnétiques des machines asynchrones, des machines synchrones, des transformateurs, ...etc**

En plus des pertes d'énergie par hystérésis en alternatif, les circuits magnétiques présentent également des pertes par courants de Foucault (ce sont des courants induits). En effet, la force électromotrice induite (par la variation du flux magnétique) fait circuler dans le fer des courants qui ne sont limités que par la faible résistance de ce fer. Pour réduire ces courants, le fer doit être constitué de tôles minces isolées les unes des autres par de minces couches de verni (matériau isolant de grande résistivité) afin d'augmenter la résistance au passage de ces courants induits. Par conséquent, les pertes d'énergie par courants de Foucault sont réduites.

Les pertes par hystérésis + les pertes par courants de Foucault = pertes fer

Exemple de matériaux durs : NdFeB 52 MGOe $H_c = 891300$ A/m (c'est une valeur élevée, le matériau ne se désaimante pas facilement).

Exemple de matériaux doux : US Steel Type 2-S 0.024 inch thickness (acier US du type 2-S dont l'épaisseur des tôles est 0,024 inch)

Extrait de la librairie du logiciel FEMM