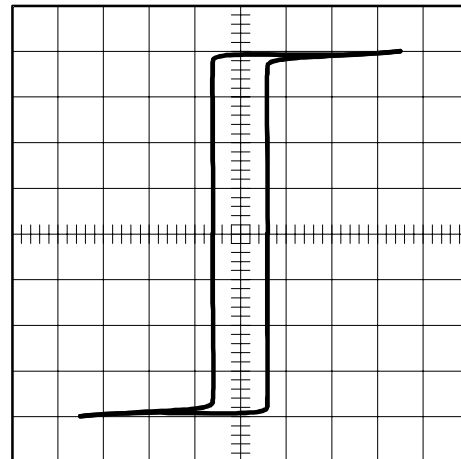
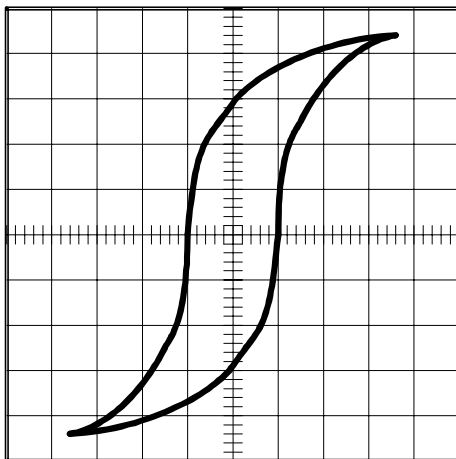


Chapitre 10b

Cycle d'hystérésis



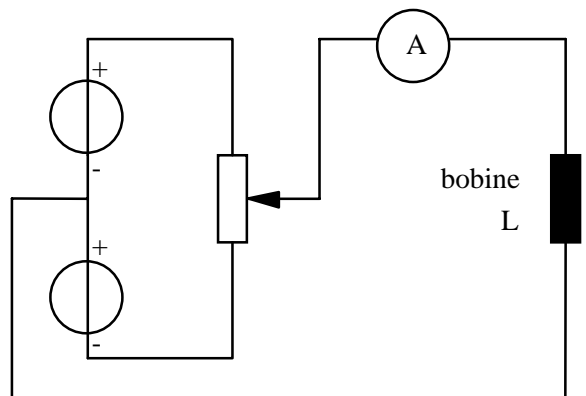
10.30 Introduction :

Pour exprimer la saturation du noyau magnétique, nous allons procéder à une expérience. Augmenter l'intensité de champ magnétique H et calculer l'induction B d'une bobine avec noyau.

Récapitulation des relations importantes		
Formules	Unités	Noms
$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$	$[T] = \left[\frac{V \cdot s}{m \cdot A} \right] \cdot \left[\frac{A}{m} \right] = \left[\frac{V \cdot s}{m^2} \right]$	Champ d'induction magnétique
$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$	$[Wb] = [T] \cdot [m^2]$	Flux magnétique
$F = B \cdot I \cdot l$	$[N] = [T] \cdot [A] \cdot [m]$	Force électromagnétique

Cette expérience est réalisée au moyen d'une bobine , ou inductance L , raccordée sur une source de tension de polarité variable.

Schéma électrique :



La bobine est constituée de 150 spires de fil de cuivre, bobinées autour d'un noyau magnétique d'une longueur l de 15 [cm] et sa résistance ohmique vaut 25 [Ω] . Le noyau a été choisi dans la catégorie des matériaux magnétique (voir introduction de ce chapitre).

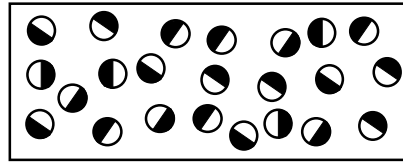
Cette bobine est raccordée sur deux sources de tension continue et le potentiomètre nous permet de varier la tension aux bornes de la bobine entre + 100 [V] et - 100[V].

Pour bien comprendre le déroulement de l'expérience, nous l'avons décomposée en 5 phases successives. A chaque phase, nous étudierons l'évolution de l'induction magnétique ainsi que le comportement du noyau de notre bobine.

Pour chaque phase, un tableau de mesure nous permettra de tracer la courbe d'aimantation.

10.31 Phase 1 :

En faisant varier la tension U de 0 à 100 [V], le courant va augmenter ainsi que le champ d'induction magnétique B .



Au départ, nous pouvons nous représenter cet état comme une multitude de petits aimants ayant pris une orientation quelconque et dont l'augmentation d'un champ magnétique extérieur va faire varier la position.

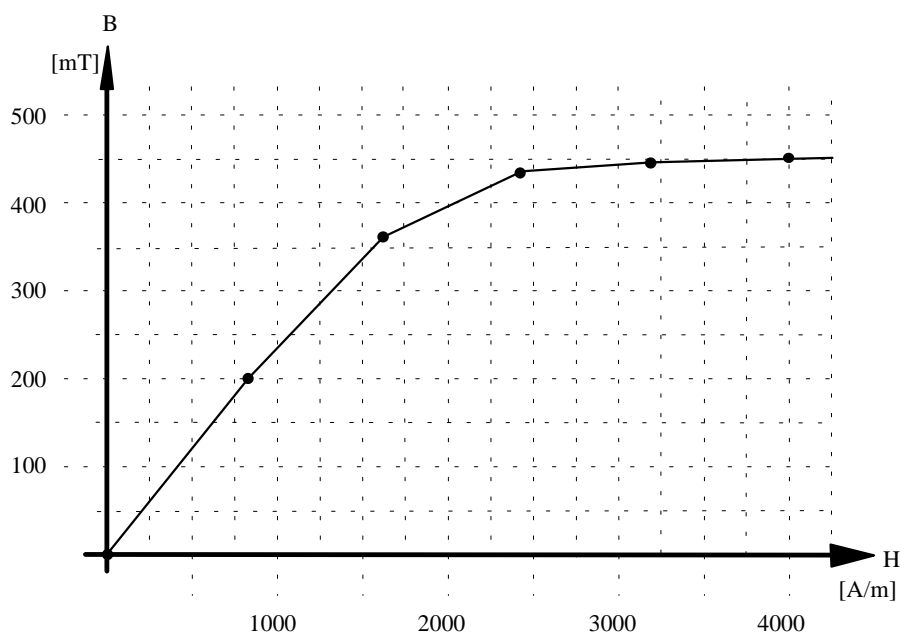
Tableau de mesure :

U [V]	R [Ω]	I [A]	N	l [m]	H [A/m]	μ_0	μ_r	B [T]
0	25	0	150	0.15	0	$1.25 \cdot 10^{-6}$	200	0
20	25	0.8	150	0.15	800	$1.25 \cdot 10^{-6}$	200	0.2
40	25	1.6	150	0.15	1600	$1.25 \cdot 10^{-6}$	180	0.36
60	25	2.4	150	0.15	2400	$1.25 \cdot 10^{-6}$	145	0.435
80	25	3.2	150	0.15	3200	$1.25 \cdot 10^{-6}$	112	0.448
100	25	4	150	0.15	4000	$1.25 \cdot 10^{-6}$	90	0.45

Nous parlerons de SATURATION, au moment où l'augmentation de l'intensité de champ magnétique H ne modifie plus le champ d'induction magnétique B .

L'orientation de ces petits aimants ne se fait pas de façon linéaire, mais de façon exponentielle, comme pour la charge du condensateur.

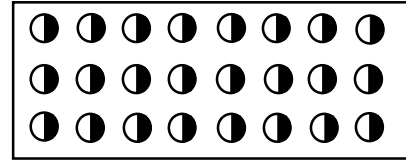
Nous pouvons tracer un diagramme du champ d'induction magnétique B en fonction de l'intensité du champ magnétique $B = f(H)$.



10.31 Phase 2 :

En faisant varier la tension U de 100 [V] à 0 [V], nous constatons que le champ d'induction magnétique B décroît, mais lorsque le courant est à 0, le noyau conserve un certain champ d'induction magnétique B .

Nous pouvons nous représenter cet état comme une multitude de petits aimants conservant tous la même orientation et dont la diminution d'un champ magnétique extérieur ne modifie plus les positions.



Remarque : Pour cette phase ainsi que les suivantes, il n'est plus possible d'utiliser les valeurs issues de calculs. Les résultats ne sont plus identiques en raison de l'induction rémanente et des caractéristiques du noyau.

Les valeurs d'induction doivent être mesurées et mises en évidence au moyen d'un instrument de mesure tel qu'un teslamètre.

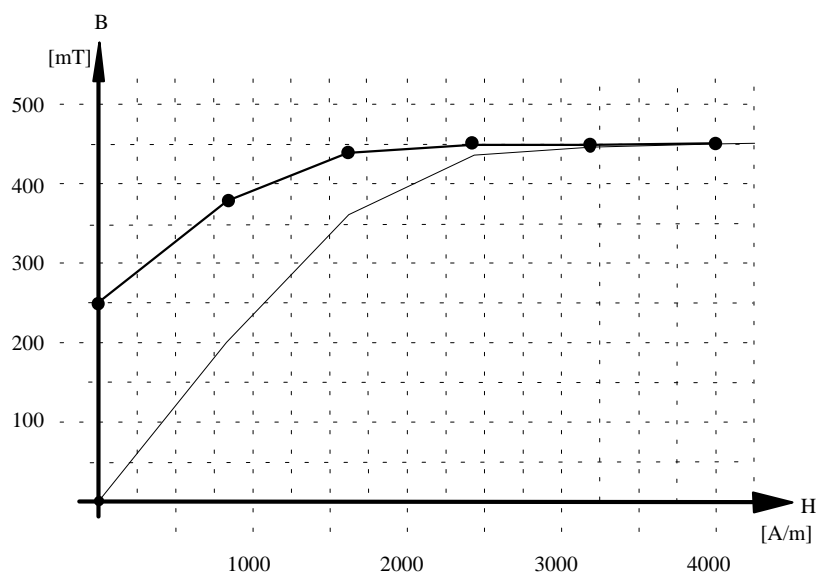
Tableau de mesure :

U [V]	H [A/m]	B [mT]
100	4000	450
80	3200	450
60	2400	450
40	1600	440
20	800	380
0	0	250

Nous parlerons de rémanence au moment où la diminution de l'intensité du champ magnétique H ne modifie plus le champ d'induction magnétique B .

L'orientation de ces petits aimants ne se fait pas de façon linéaire, mais de façon exponentielle, comme pour la décharge du condensateur.

Nous pouvons tracer un diagramme du champ d'induction magnétique B en fonction du champ magnétique $B = f(H)$



Le point constitué du champ d'induction magnétique B et de l'axe des y , représentant l'induction rémanente B_r , pour une intensité du champ magnétique H à la valeur 0.

Symbole de la grandeur :	B_r
Symbole de l'unité :	[T] tesla

Comme son nom l'indique, il s'agit de l'induction qui subsiste dans le noyau, due à l'orientation des particules magnétiques.

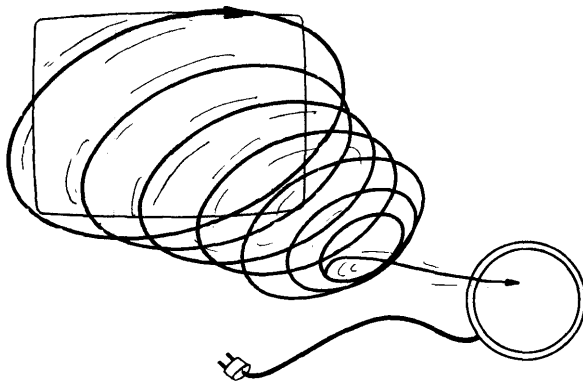
Application pratique :

Du tournevis aimanté à tous les supports magnétiques d'information comme les cassettes vidéo ou les disquettes d'ordinateur.

Ce champ d'induction magnétique rémanente peut être modifié par la température (point de Curie) . En effet, la température modifie la disposition des petits aimants constituant les matériaux magnétiques. Cette application est utilisée pour les mini-disques audio et les supports magnéto-optiques. Elle n'est pas applicable aux tournevis ou aux cassettes vidéo pour les démagnétiser !!!

La méthode la plus simple pour désaimanter votre tournevis sera de le soumettre à un champ magnétique de polarité variable et dont l'intensité diminue lentement.

Exemple :

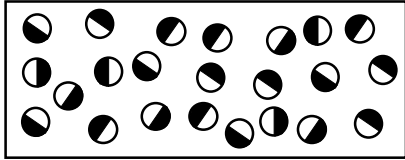


Cette façon de faire est utilisée pour démagnétiser les tubes image des téléviseurs couleur. En effet, le balayage de l'écran par le faisceau d'électrons est commandé par un champ magnétique. Si ce champ vient à être perturbé par l'aimantation rémanente d'une pièce métallique, l'image va perdre de sa qualité les couleurs seront faussées.

C'est pour cela qu'avant la mise en service d'un téléviseur couleur, il faut toujours le démagnétiser. Cette opération est effectuée au moyen d'une bobine que l'on éloigne régulièrement de l'écran. L'effet du champ magnétique décroissant va démagnétiser le tube image.

10.32 Phase 3 :

En faisant varier la tension U de 0 [V] à - 100 [V], nous constatons que le champ d'induction magnétique B passe à la valeur zéro.

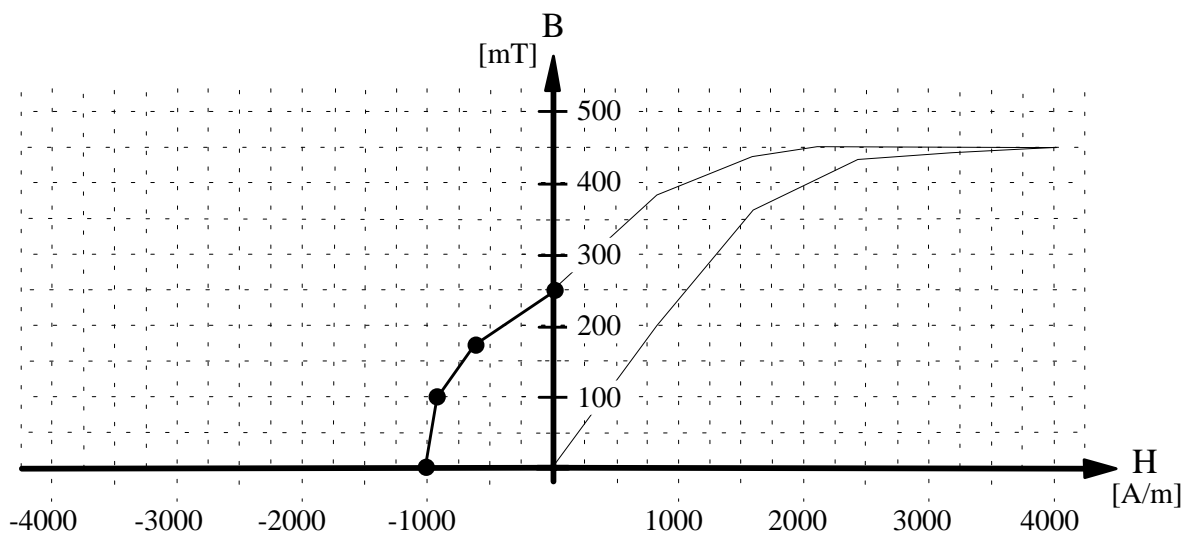


Cette valeur est obtenue au moment où les petits aimants se trouvent soumis à une certaine intensité de champ magnétique H provoquant une orientation quelconque des éléments.

Tableau de mesure :

U [V]	H [A/m]	B [mT]
0	0	250
-20	-800	100
-25	-1000	0.00

Nous pouvons tracer le diagramme du champ d'induction magnétique B en fonction de l'intensité du champ magnétique $B = f(H)$.



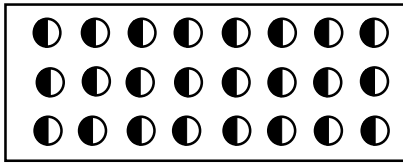
Nous parlons de CHAMP COERCITIF H_c au moment où le champ d'induction magnétique B est nul.

Symbole de la grandeur : H_c

Symbole de l'unité :

$$\left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

Nous avons supprimé le champ d'induction magnétique B . En continuant de varier la tension de la valeur du champ coercitif H_c à -100 [V], nous constatons que le champ d'induction magnétique B ne varie plus à partir d'une certaine valeur.

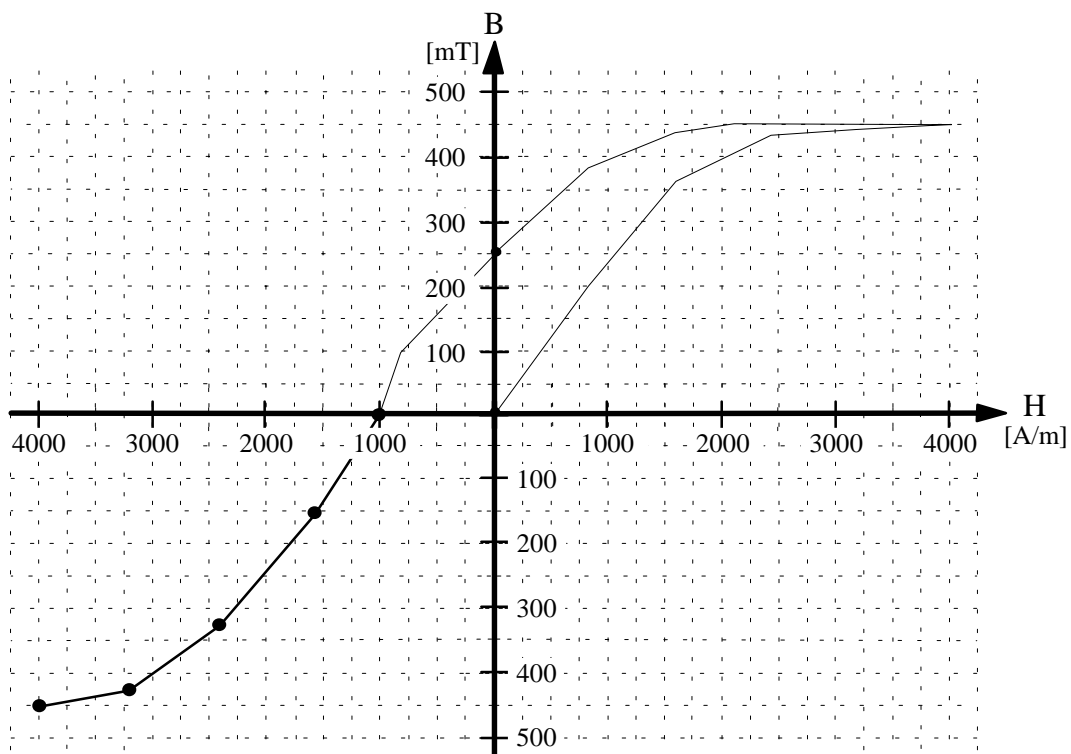


Nous pouvons représenter cet état comme une multitude de petits aimants ayant pris tous la même orientation et dont l'augmentation d'un champ magnétique extérieur ne modifie plus les positions.

Tableau de mesure :

U [V]	H [A/m]	B [mT]
-25	-1000	0.00
-40	-1600	-150
-60	-2400	-325
-80	-3200	-425
-100	-4000	-450

Nous pouvons tracer le diagramme du champ d'induction magnétique B en fonction de l'intensité du champ magnétique $B = f(H)$.

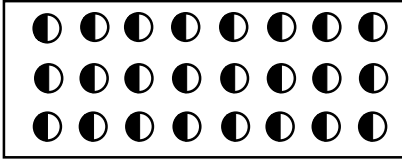


Nous parlerons de SATURATION, au moment où l'augmentation de l'intensité du champ magnétique H ne modifie plus le champ d'induction magnétique B .

Nous sommes dans la situation inverse à celle de la première phase de notre expérience.

10.33 Phase 4 :

En faisant varier la tension U de -100 à $0[V]$, nous constatons que le champ d'induction magnétique B décroît. Mais lorsque le courant est à zéro le noyau conserve un certain champ d'induction magnétique B .



Nous pouvons nous représenter cet état comme une multitude de petits aimants conservant tous la même orientation et dont la diminution d'un champ magnétique extérieur ne modifie plus les positions.

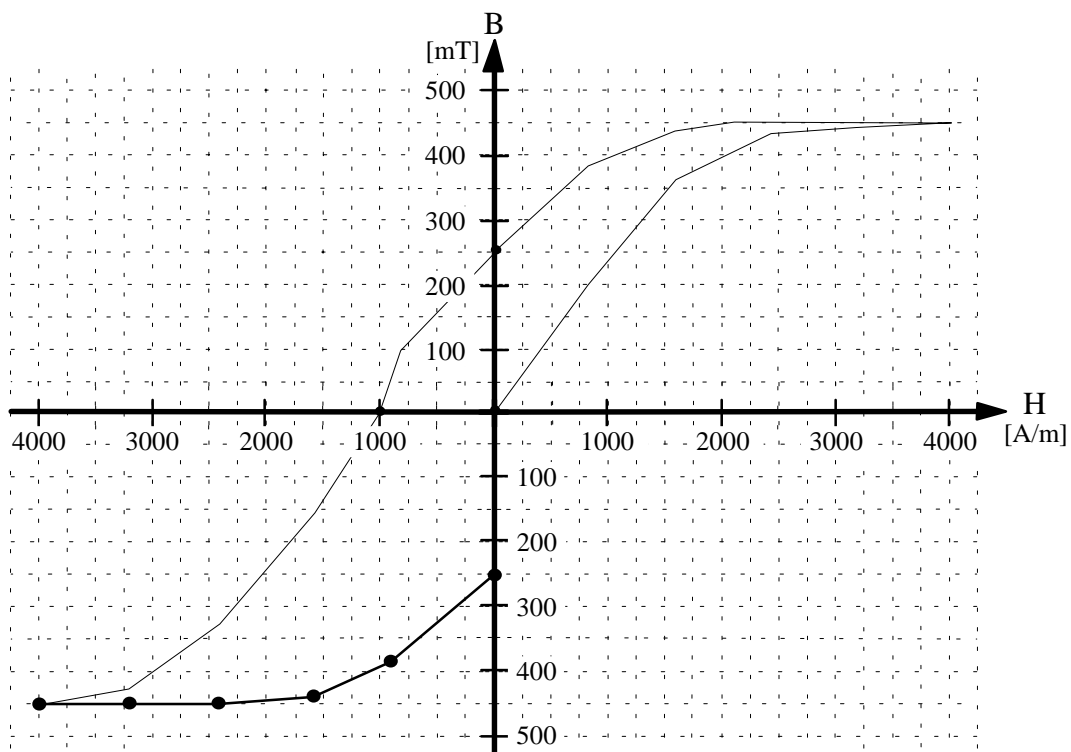
Tableau de mesure :

U [V]	H [A/m]	B [mT]
-100	-4000	-450
-80	-3200	-450
-60	-2400	-450
-40	-1600	-440
-20	-800	-380
0	0	-250

Nous parlerons de REMANENCE au moment où la diminution de l'intensité du champ magnétique H ne modifie plus le champ d'induction magnétique B .

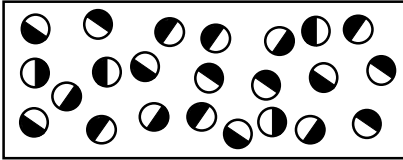
Nous sommes dans la situation inverse que lors de la phase 2 de notre expérience.

Nous pouvons tracer le diagramme du champ d'induction magnétique B en fonction de l'intensité du champ magnétique $B = f(H)$.



10.34 Phase 5 :

En faisant varier la tension U de 0 à 100 [V], nous constatons que le champ d'induction magnétique B passe par la valeur zéro.



Cette valeur est obtenue au moment où les petits aimants se trouvent soumis à une certaine intensité de champ magnétique H provoquant une orientation quelconque des éléments.

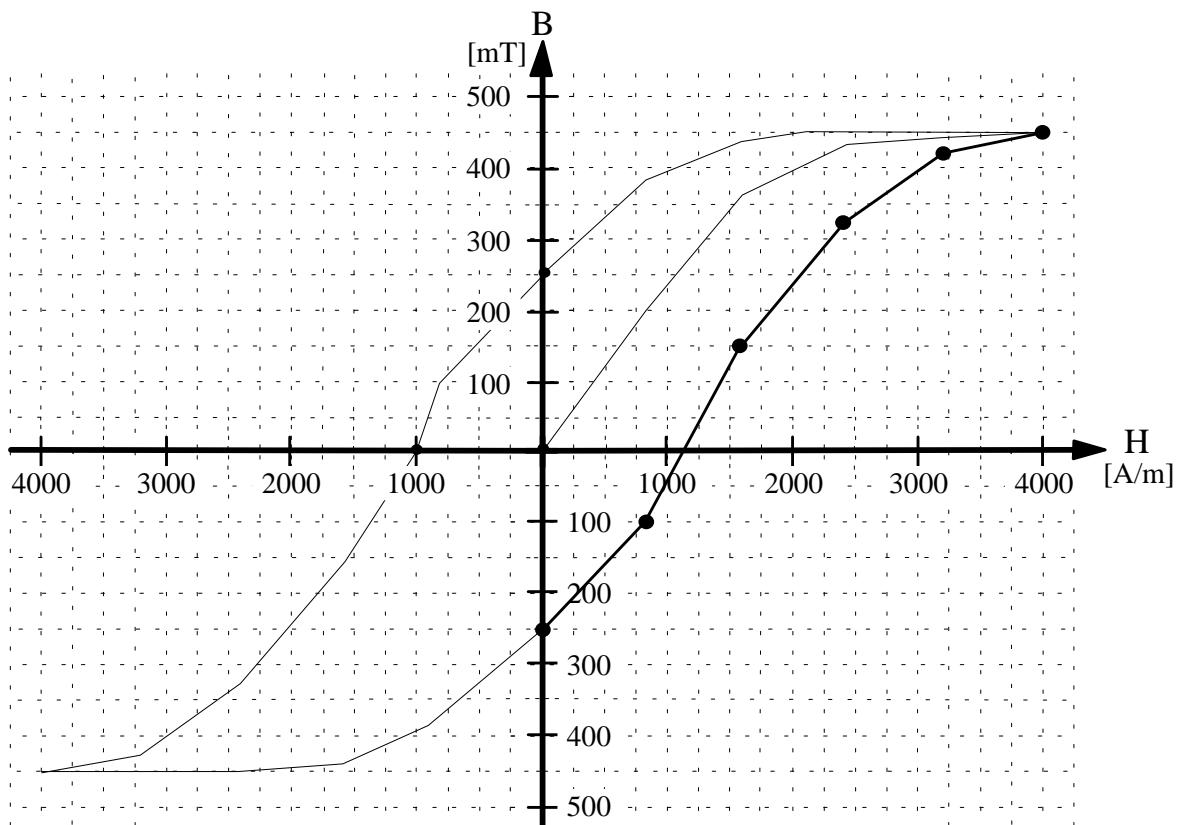
Tableau de mesure :

U [V]	H [A/m]	B [mT]
0	0	-250
20	800	-100
40	1600	150
60	2400	325
80	3200	425
100	4000	450

Nous parlerons de CHAMP COERCITIF au moment où le champ d'induction magnétique B est nul.

Nous sommes dans la situation inverse que lors de la phase 3 de notre expérience.

Nous pouvons tracer le diagramme du champ d'induction magnétique B en fonction de l'intensité du champ magnétique $B = f(H)$.



10.35 Récapitulation :

Dans la dernière phase, nous avons supprimé le champ d'induction magnétique B. En continuant à élever la tension U jusqu'à 100 [V], nous constatons que le champ d'induction magnétique B ne varie plus à partir d'une certaine valeur.

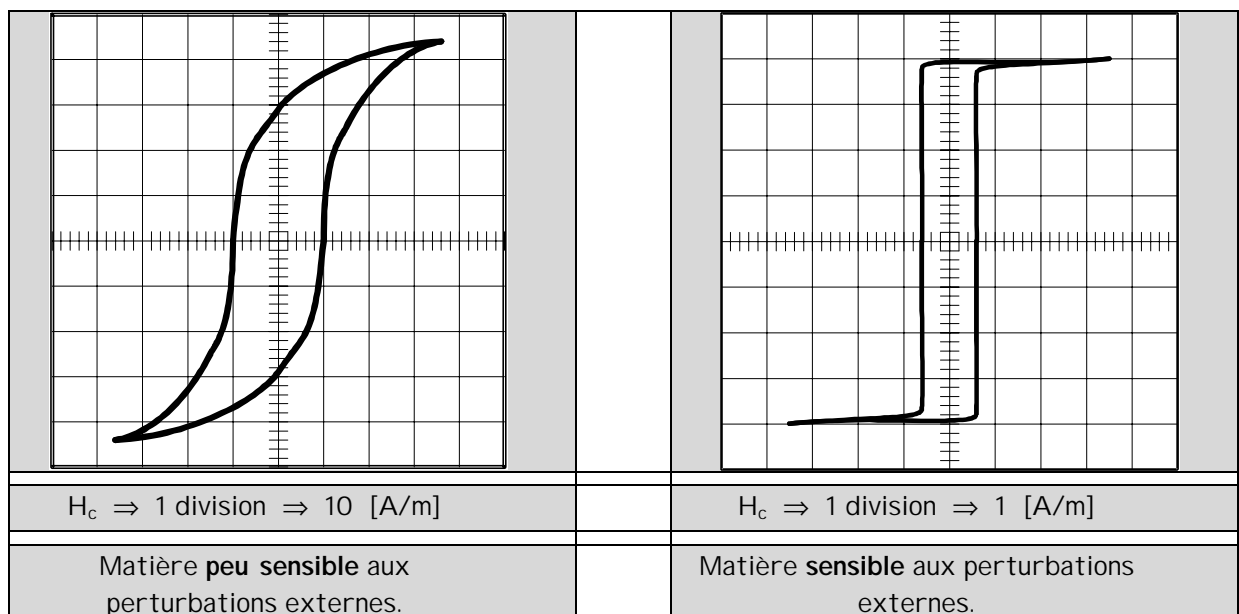
La dernière courbe que nous venons de tracer représente le cycle d'hystérésis complet du noyau de notre bobine. Le cycle d'hystérésis est toujours symétrique, l'orientation des particules magnétiques élémentaire étant identique dans les deux sens.

Chaque matière possède une propre courbe d'Hystérésis, qui détermine ses caractéristiques et définit son application.

10.36 Energie W d'hystérésis :

L'orientation des petits aimants, changeant lors de chaque phase du cycle d'hystérésis conduit à un échauffement de la matière. Cet échauffement va provoquer une perte d'énergie W qui sera, suivant les applications, très gênante.

Exemples de courbes d'Hystérésis :



10.37 Entraînement

1. Tracer sur une feuille quadrillée la courbe d'aimantation du matériau dont les caractéristiques sont les suivantes :

H		39	117	195	312	585	780	975		[A/m]
B		90	254	400	540	690	730	750		[mT]

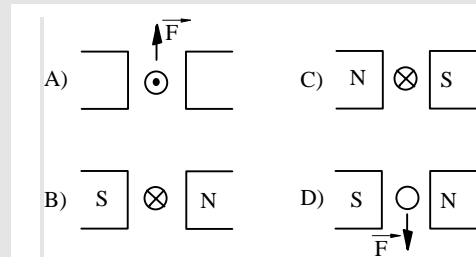
2. Calculer la perméabilité relative du matériau pour plusieurs points de la courbe et établir une constatation.
3. Calculer la force à laquelle est soumis un conducteur parcouru par un courant de 20 [A] lorsqu'il est placé dans l'entrefer d'un électroaimant où règne une induction de 1.5[T].

Le côté de l'électroaimant est de 14 [cm], et on admet la perpendicularité des lignes de force.

4. Calculer la longueur l des conducteurs de la planchette de démonstration des forces électromagnétiques, sachant qu'un dynamomètre (appareil de mesure des forces) indique 10 [N].

Un ampèremètre mesure un courant de 80 [A] et un fluxmètre nous donne 10 [μ Wb]. Le diamètre de l'aire est de 4 [mm]. Cette expérience est réalisée dans un milieu qui est l'air, avec des grandeurs perpendiculaires les unes aux autres.

5. Compléter le dessin en indiquant soit :
la direction du déplacement du conducteur,
le sens du courant qui le parcourt,
ou le pôle de l'aimant



6. Tracer l'allure d'un matériau donnant les valeurs suivantes lors d'un essai en laboratoire :

H	39	117	195	312	585	780	975	[A/m]
B	0.09	0.254	0.40	0.54	0.69	0.73	0.75	[T]

Calculer la perméabilité relative de ce matériau.

7. On désire obtenir une induction de 1.5 [T] dans un tore magnétique fermé en fer, dont le diamètre moyen est de 30 [cm].
Quel doit-être le nombre de spires si le courant est de 6 [A]
et la perméabilité relative de 1040 ?

8. Tracer le cycle d'hystérésis d'un matériau donnant les valeurs suivantes lors d'un essai en laboratoire :

H	39	117	195	312	585	780	975	[A/m]
B	0.09	0.254	0.40	0.54	0.69	0.73	0.75	[T]

H	975	780	585	312	195	117	39	[A/m]
B	0.75	0.74	0.70	0.68	0.64	0.60	0.55	[T]

H	-39	-117	-195	-312	-585	-780	-975	[A/m]
B	0.40	0.254	-0.40	-0.60	-0.69	-0.73	-0.75	[T]

Vous savez que le cycle d'Hystérésis est symétrique.
Donner le champ d'induction rémanent.
Donner l'intensité du champ magnétique coercitif.

9. Pour avoir une induction de 1.2 [T] dans une bobine à noyau magnétique en fer doux, il faut un champ de 550 [A·m⁻¹].

Il faut 11400 [A·m⁻¹] pour obtenir la même induction dans une bobine avec un noyau en fonte.

Calculer la perméabilité relative des deux matériaux.

10. Une bobine de 1 [m] de longueur comporte 2500 spires et elle est parcourue par un courant de 4 [A] .
Calculer l'intensité du champ et l'induction magnétique à l'intérieur de la bobine.

11. Nous reprenons la même bobine pour essayer différents matériaux magnétiques. Que va devenir l'induction si nous utilisons des noyaux de perméabilité suivante ?

a) 150 b) 20000 c) bois d) cuivre

Réponses :

2. 1899 [A/m] 3. 4.2 [N] 4. l = 15.7 [cm]
5. A) Nord - Sud B) il monte C) il descend D) le courant sort du conducteur
7. N = 180 spires
9. Fer $\mu_r = 1736$ fonte $\mu_r = 84$
10. H = 10'000 [A/m] B = 12.56 [mT]
11. a) B = 1.875 [T] b) B = 250 [T] c) et d) matériaux non magnétiques $\mu_r = 1$