

## Physique des solides

Magnétisme

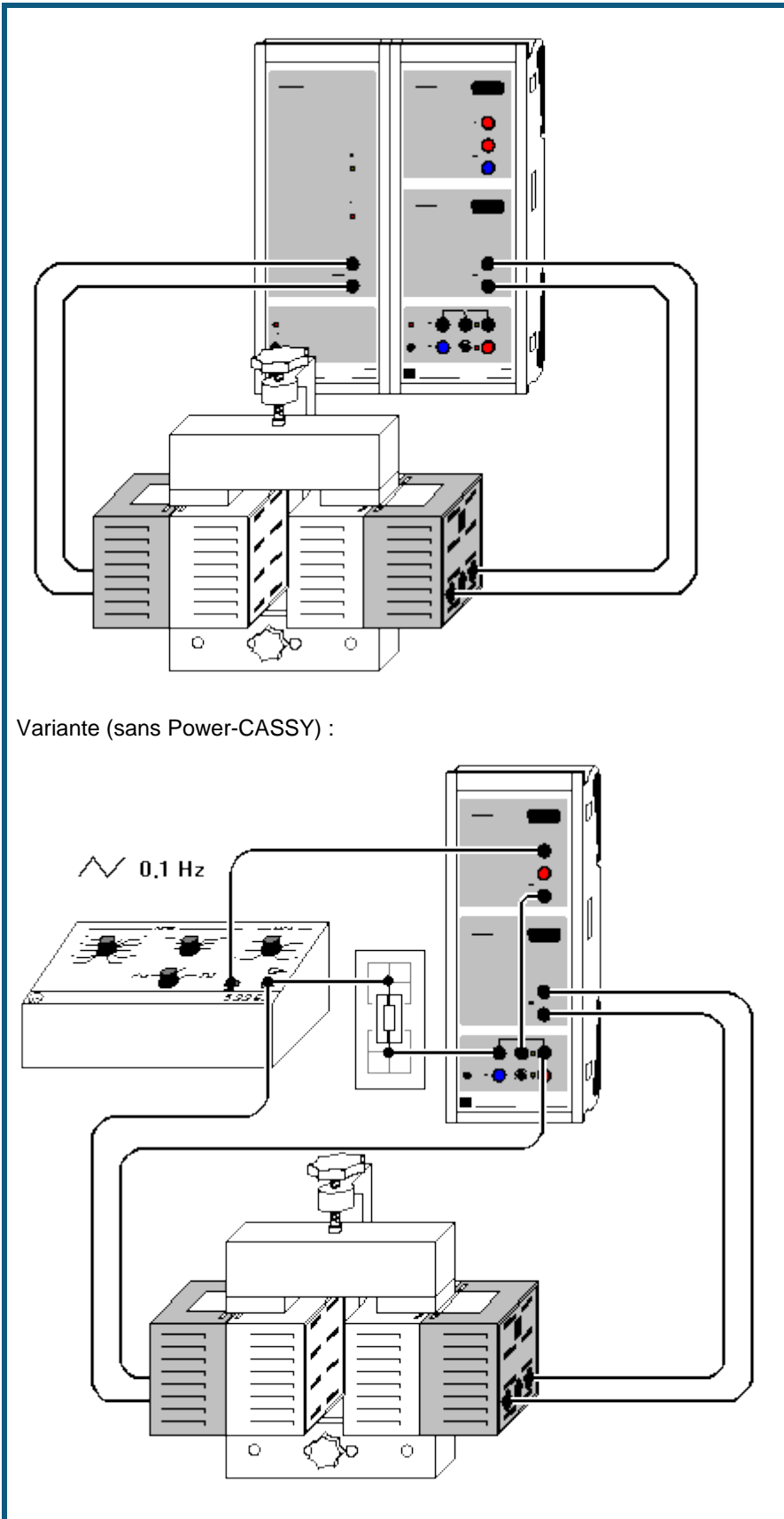
*Hystérésis ferromagnétique*

Tracé de la courbe de première aimantation et d'hystérésis d'une substance ferromagnétique

### Description tirée de CASSY Lab 2

Pour charger des exemples et des paramétrages, merci de bien vouloir utiliser l'aide de CASSY Lab 2.

## Hystérésis du noyau de fer d'un transformateur



## Description de l'expérience

Dans un noyau de transformateur (aimant ferromagnétique), le champ magnétique

$$H = N_1/L \cdot I$$

est proportionnel au courant  $I$  de la bobine et à la densité des spires  $N_1/L$  de la bobine primaire. Mais la densité de flux magnétique générée ou induction magnétique

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad (\text{avec } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am})$$

n'est pas proportionnelle à  $H$ . Par contre, elle atteint une valeur de saturation  $B_s$  pour un champ  $H$  croissant. La perméabilité relative  $\mu_r$  de l'aimant ferromagnétique dépend de son prétraitement magnétique et de l'intensité du champ magnétique  $H$ . Lorsque l'aimant ferromagnétique est démagnétisé, on a pour  $H=0$  A/m aussi l'intensité de champ magnétique  $B = 0$  T. Normalement, un aimant ferromagnétique conserve encore pour  $H = 0$  A/m une densité de flux magnétique  $B$  résiduelle différente de 0 T (rémanence).

Il est donc d'usage de représenter l'induction magnétique  $B$  en fonction de l'intensité du champ  $H$  croissante puis décroissante dans un cycle d'hystérésis. Le cycle d'hystérésis diffère de ladite courbe d'aimantation initiale qui commence à l'origine du système de coordonnées et que l'on ne peut mesurer que pour un matériau complètement démagnétisé ( $H = 0$  A/m,  $B = 0$  T).

Dans l'exemple pris en compte,  $H$  et  $B$  ne sont pas mesurés directement puisqu'on utilise à la place les grandeurs qui leur sont proportionnelles courant primaire  $I = L/N_1 \cdot H$  et flux magnétique  $\Phi = N_2 \cdot A \cdot B$  à travers la bobine secondaire ( $N_2$  : nombre de spires de la bobine secondaire;  $A$  : section de l'aimant ferromagnétique). Le flux magnétique  $\Phi$  est calculé sous forme d'intégrale de la tension  $U$  induite dans la bobine secondaire.

## Matériel requis

1	<a href="#">Power-CASSY</a>	524 011
1	<a href="#">Sensor-CASSY</a>	524 010 ou 524 013
1	<a href="#">CASSY Lab 2</a>	524 220
1	noyau en U avec joug	562 11
1	agrafe d'assemblage avec pince à ressort	562 121
2	bobines à 500 spires	562 14
4	câbles d'expérience, 100 cm, noirs	500 444
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	

## Variante (sans Power-CASSY)

1	<a href="#">Sensor-CASSY</a>	524 010 ou 524 013
1	<a href="#">CASSY Lab 2</a>	524 220
1	noyau en U avec joug	562 11
1	agrafe d'assemblage avec pince à ressort	562 121
2	bobines à 500 spires	562 14
1	générateur de fonctions S12	522 621
1	résistance STE 1 $\Omega$ , 2 W	577 19
1	segment de plaque à réseau	576 71
1	câble d'expérience, 50 cm, noir	500 424
7	câbles d'expérience, 100 cm, noirs	500 444
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	

## Montage expérimental (voir schéma)



Le courant de la bobine primaire du transformateur alimente le Power-CASSY. Le flux magnétique  $\Phi$  se calcule à partir de la tension d'induction  $U$  de la bobine secondaire mesurée par l'entrée B du Sensor-CASSY.

Une alternative consiste à réaliser l'expérience aussi sans Power-CASSY, en se servant du générateur de fonctions S12. Celui-ci doit être réglé sur triangle, la fréquence sur environ 0,1 Hz et l'amplitude sur environ 2 V. Pour relever la courbe d'aimantation initiale, le déclenchement est assuré à  $I = 0$  A. Afin de saisir exactement cet instant là, le courant est amené au transformateur par le relais avant le relevé de la courbe et circule à travers une résistance de 1  $\Omega$ .

## Procédure expérimentale

■ Charger les paramètres

- Eventuellement corriger l'offset à l'entrée B, pour ce faire, sélectionner **Corriger** dans les [paramétrages UB](#), entrer 0 V comme première valeur prescrite puis cliquer sur **Corriger l'offset**

- Démagnétiser le noyau de fer, par ex. en tapant plusieurs fois assez fort dessus avec la face frontale du joug sur les deux faces frontales du noyau en U
- Lancer la mesure avec 
- Arrêter la mesure après une période du cycle d'hystérésis ou pour  $\Phi = 0$  Vs (il n'y a alors pas besoin de procéder à la démagnétisation la prochaine fois) en réappuyant sur 
- Si le cycle d'hystérésis évolue dans le deuxième et le quatrième quadrants, l'inversion de la polarité des raccords sur l'une des deux bobines peut être d'une grande aide
- Si pendant la mesure, l'instrument d'affichage  $U_B$  est surmodulé (affichage clignotant), augmenter la gamme de mesure dans les [paramétrages UB](#)

### Exploitation

Comme l'aire d'une boucle d'hystérésis  $B(H)$

$$\int B \cdot dH = \frac{E}{V}$$

correspond précisément à la perte d'énergie  $E$  pour une inversion d'aimantation par volume  $V$  de la substance démagnétisée, la surface encadrée dans le graphe  $\Phi(I)$

$$\int \Phi \cdot dI = \int N_2 AB \cdot \frac{L}{N_1} \cdot dH = \frac{N_2}{N_1} V \int B \cdot dH = \frac{N_2}{N_1} \cdot E$$

donne pour  $N_1=N_2$  exactement la perte d'énergie  $E$  pour l'inversion de l'aimantation.

Dans le graphe, cette perte d'énergie peut se calculer par l'«[intégration du pic](#)» d'une boucle d'hystérésis.