

# Bulletin de l'Union des Physiciens

Association de professeurs de Physique et de Chimie

---

---

## Créations et mesures de champs magnétiques

par M. BARBASTE,  
L.T.E., 33405 Talence

et R. MOREAU,  
I.P.R. Bordeaux.

---

Dans la plupart des établissements, les manipulations portant sur les mesures de champs magnétiques sont essentiellement faites avec la « Balance de Cotton ». Il nous a semblé intéressant de faire part des réalisations relativement simples et peu onéreuses des appareils suivants :

\* « Appareil à bobines plates » pour lequel nous nous bornerons à donner :

- une vue d'ensemble assez explicite toutefois,
- des indications sommaires sur les différentes parties, le lecteur étant capable d'imaginer et d'innover à son tour.

\* « Teslamètre à effet Hall ».

Les résultats obtenus avec les élèves de Terminale E lors de séances de travaux pratiques ont été suffisamment encourageants pour nous inciter à construire cinq exemplaires de l'ensemble expérimental précédent.

### APPAREIL A BOBINES PLATES (fig. 1)

#### I. Les bobines plates ( $B_1$ ) et ( $B_2$ ).

Chaque bobine (fig. 2) est formée :

- de deux plaques ( $180 \times 180$ ) en PVC gris d'épaisseur 5 mm percées en leur centre d'un trou de diamètre 20 mm ;
- d'un cylindre en carton de longueur 25 mm, de diamètre 130 mm et d'épaisseur 15 mm, découpé dans ces tubes sur les-

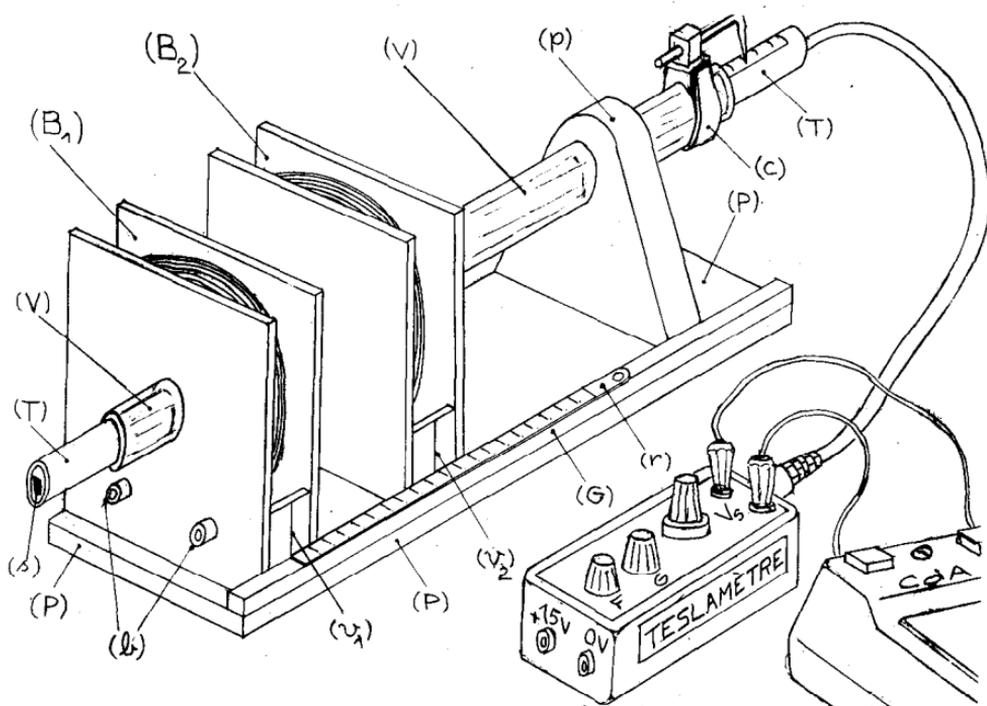


Fig. 1

quels sont enroulées les feuilles de papier d'emballage ou sulfurisé des fleuristes... Les deux plaques sont collées de part et d'autre avec de la colle néoprène ;

- d'un bobinage en fil de cuivre verni 12/10 à spires jointives, sur six couches ; afin de maintenir les couches bien appliquées sur le cylindre et entre elles, on étalera de la colle par endroit ;
- de deux bornes (b) rouge et noire soudées aux extrémités du fil.

Il va de soi que les enroulements et les trous percés dans les plaques sont coaxiaux.

Entre les plaques est collée une plaquette en PVC portant un trait vertical ( $v_1$ ) pour ( $B_1$ ), ( $v_2$  pour ( $B_2$ ). Chaque trait est situé dans le plan médiateur de la bobine.

La bobine ( $B_1$ ) est fixée au support par l'intermédiaire d'une baguette de bois (invisible sur la fig. 1) collée (ou vissée) aux plaques et au support.

La bobine ( $B_2$ ), par contre, peut être déplacée.

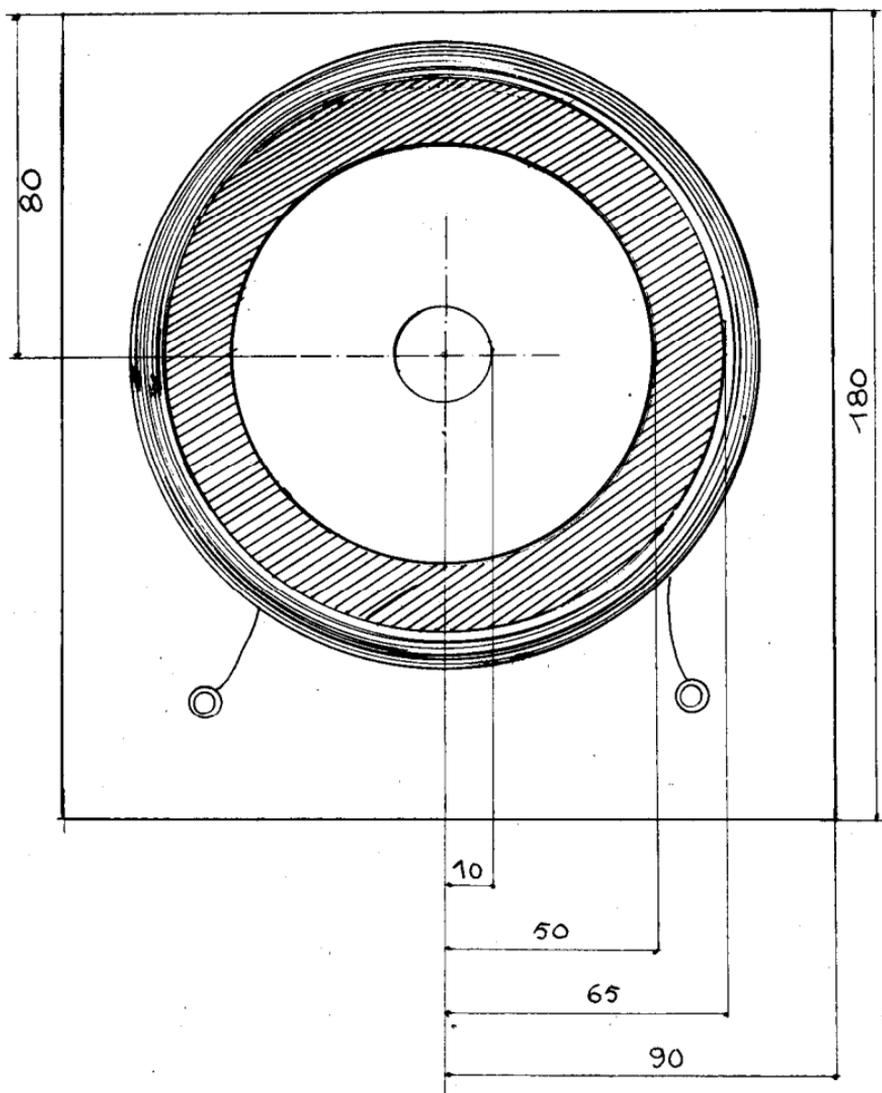


Fig. 2

## II. Le support.

Il est essentiellement formé :

- d'une planche (P) ( $500 \times 200 \times 10$ ) le long de laquelle est collée une baguette (G) servant de guide en translation à la bo-

bine ( $B_2$ ). Un réglet ( $r$ ) métallique de 200 mm dont le zéro coïncide avec ( $v_1$ ), est fixé sur ( $G$ ) : il permet de préciser la position de ( $B_2$ );

- d'une pièce ( $p$ ) en bois, d'épaisseur 45 mm environ percée, elle aussi, d'un trou de 20 mm; elle sera fixée sur la planche ( $P$ ) à une distance de 45 cm de ( $B_1$ );
- d'un tube de verre ( $V$ ) de diamètre 20 mm, de longueur environ de 50 cm, fixé à la pièce ( $p$ ): pour cela, on se contentera d'enrouler sur ( $V$ ), de part et d'autre de ( $p$ ) un ruban de scotch. Ainsi que le montre le dessin, un collier ( $C$ ) (de ceux qu'utilisent les électriciens pour fixer les tubes aux murs) et portant une tige métallique recourbée et effilée, peut glisser à frottement doux à l'extrémité du tube ( $V$ ).

Ce tube ( $V$ ) assurera les guidages en translation :

- de la bobine mobile ( $B_2$ ),
- de la « sonde de Hall » ( $s$ ) dont il est question ci-après.

### TESLAMETRE A EFFET HALL

Rappelons que le B.U.P. a déjà publié sur ce sujet un intéressant article de R. BRAUN, dans son N° 634 de mai 1981 (p. 1063). Nous proposons, ci-après, un dispositif plus simple donnant entière satisfaction.

Nous distinguerons :

#### 1. La « sonde de Hall » ( $s$ ).

Fabriquée par SIEMENS sous la référence SAS 231 W, elle est vendue à l'unité pour 50 francs environ par EREL BOUTIQUE, 11 bis, rue Chaligny (Métro : Reuilly-Diderot) - 75012 Paris.

Elle est constituée d'une couche de semiconducteur actif, déposée sous vide sur un substrat isolant; son épaisseur  $d$  peut être très faible, si bien que la « tension de Hall » donnée par

l'expression : 
$$V_H = \frac{1}{d} R_h \times B \times I$$
 est assez grande, compte

tenu de l'intensité  $I$  admissible dans la sonde (de l'ordre de plusieurs volts pour  $B = 0,1$  T) pour qu'on n'ait pas besoin de l'amplifier.

Cette sonde se présente sous la forme d'un petit parallépipède (en mm :  $4 \times 3 \times 2$ ) noir sur lequel on distingue un trait vert, un trait bleu et deux encoches. Des 6 broches qui s'en échappent (fig. 3) seules 5 sont soudées à 5 fils de 1 m de long environ, contenus dans une gaine en plastique terminée par une fiche DIN.

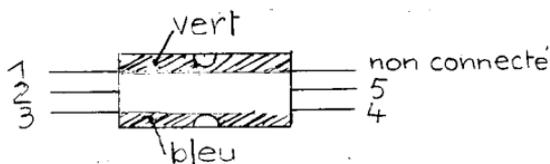


Fig. 3

La sonde et les soudures, délicates, doivent être protégées impérativement : à cet effet, nous avons donc réalisé (comme les naturalistes qui souhaitent conserver certains insectes ou autres échantillons) une inclusion dans de la matière plastique transparente, et cela à froid. Nous avons pris comme moule un morceau de tube gris (utilisé par les électriciens) de 18 mm de diamètre et de longueur 4 cm environ. Le démoulage s'effectuant sans aucune difficulté, en poussant sur le bloc pour l'extraire du moule, nous avons donc introduit le cylindre ainsi obtenu (fig. 4)

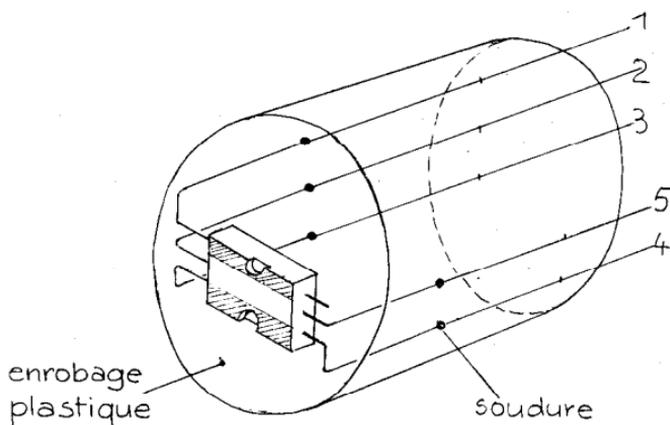


Fig. 4

à l'extrémité d'un autre tube (T) identique au moule, mais de longueur 50 cm environ, contenant la gaine des 5 fils ; à partir de l'autre extrémité, on a collé une bande de papier millimétré de 40 cm environ (fig. 1).

## II. La boîte de réglage (fig. 1).

C'est un coffret gris (120 × 65 × 40) contenant le montage présenté sur la fig. 5. Les numéros correspondent à ceux des 5 broches de la sonde précisées sur la fig. 3.

Les trois points près desquels est portée la mention + 15 V sont, bien entendu, reliés entre eux. Si la tension d'alimentation est, effectivement, égale à 15 V, le montage absorbe moins de

20 mA, c'est dire que les alimentations des pHmètres de nos laboratoires, par exemple, conviennent parfaitement. Cette tension d'alimentation peut être inférieure et fournie par exemple, par une pile de 9 V, mais alors, la sensibilité du teslamètre est moins bonne qu'avec 15 V. De toute manière, il faut choisir une tension d'alimentation ne présentant pas de « ronflement ».

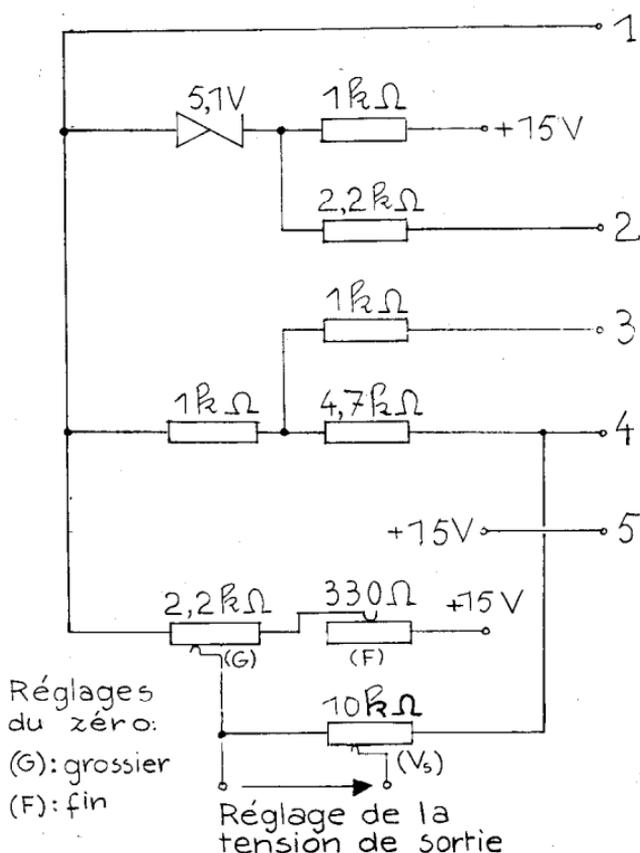


Fig. 5

Aux bornes ( $V_s$ ) du coffret, on branche un voltmètre ordinaire, d'ailleurs le contrôleur CdA convient très bien aussi.

#### A. MISE AU ZÉRO DU VOLTMÈTRE.

Elle est réalisée en l'absence de champ magnétique artificiel (le champ magnétique terrestre sera négligeable devant ceux créés), en utilisant les boutons :

- d'abord G : pour le réglage grossier,
- ensuite F : pour le réglage fin.

Ces deux boutons commandent les potentiomètres linéaires (G) et (F) du schéma.

### B. RÉGLAGE DU VOLTMÈTRE.

1. *Mesures absolues* : on utilise un champ de référence créé par un solénoïde long parfaitement établi et parcouru par un courant d'intensité bien définie. A l'aide du bouton ( $V_s$ ), on amène l'aiguille du voltmètre sur le trait de la graduation souhaitée de manière à assurer une correspondance simple.

2. *Mesures relatives* : on se contente, à l'aide du bouton ( $V_s$ ) de faire correspondre pour l'expérience envisagée, la valeur maximale du champ créé à la graduation maximale correspondant au calibre.

### C. CONTRÔLE DU ZÉRO.

Il peut arriver qu'au cours des manipulations effectuées, l'aiguille ne revienne pas au zéro : on dit que le teslamètre a subi une « dérive ». C'est le seul inconvénient, très minime, de cet appareil. Pour éviter celle-ci, il faut contrôler, en cours de manipulation si le zéro est obtenu pour  $B = 0$  et, au besoin, y revenir en utilisant le bouton F.

## UTILISATION DE L'ENSEMBLE EXPERIMENTAL

L'ensemble précédemment décrit nous a servi principalement à :

- déterminer la norme du vecteur champ d'induction magnétique  $\vec{B}$ ,
- étudier la variation de  $\|\vec{B}\|$ , pour tout point situé sur l'axe :
  - soit d'une seule bobine plate,
  - soit des deux bobines plates parcourues par un courant électrique tournant dans le même sens dans chacune d'elles afin de créer des vecteurs  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$  colinéaires.

### I. Déterminations préliminaires.

#### A. EVALUATION DU RAYON MOYEN $R_m$ DES BOBINES.

Les bobines ( $B_1$ ) et ( $B_2$ ) sont géométriquement identiques. Il n'en reste pas moins que le rayon moyen  $R_m$  qui sera pris en considération dans l'étude de la bobine seule, doit être évalué expérimentalement en procédant comme ci-après : à l'aide de la sonde ( $s$ ), on explore l'espace situé entre ( $B_1$ ) et ( $B_2$ ) que l'on déplace jusqu'à ce que l'aiguille du voltmètre indique une valeur maximale constante pour toute position de ( $s$ ) ; ainsi ( $B_1$ ) et ( $B_2$ )

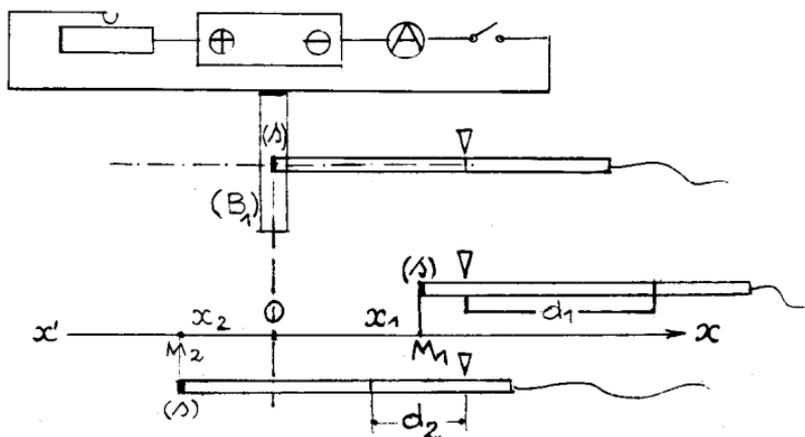
forment des « bobines de Helmholtz » et la distance déterminée par les traits ( $v_1$ ) et ( $v_2$ ) sur le régllet ( $r$ ) fournit le rayon moyen  $R_m$  : en ce qui nous concerne, nous avons trouvé  $R_m = 72,5$  mm, valeur qui a donné toute satisfaction lors de l'étude de la bobine plate.

### B. REPÉRAGE DE LA SONDE SUR L'AXE $x'x$ DES BOBINES.

On peut se contenter de prendre un zéro arbitraire défini par l'extrémité de la pointe effilée portée par le collier (C) : la position de ( $s$ ) s'en déduit aisément. Par contre, si l'on souhaite comme origine une position particulière de ( $s$ ), il suffit de déplacer le collier pour amener la pointe en coïncidence avec un trait fort du papier millimétré. Ainsi, lors de l'étude de la bobine plate, si l'on choisit pour origine des abscisses le centre O de la bobine, il suffira de considérer la position de ( $s$ ) qui correspond à la valeur maximale indiquée par l'aiguille du voltmètre.

## II. Utilisation d'une bobine ( $B_1$ ).

### 1. MONTAGE :



### 2. MESURES :

On se contentera ici de faire des mesures relatives entre :

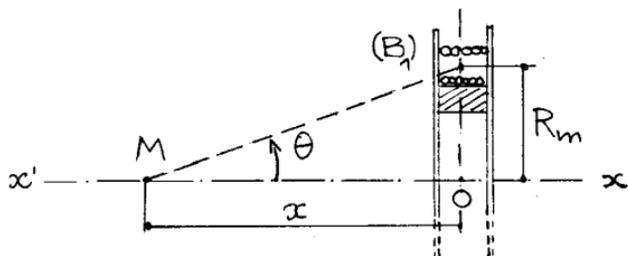
$\|\vec{B}_M\|$  mesuré en un point quelconque M de  $x'x$ ,

et :

$\|\vec{B}_O\|$  mesuré au centre O de la bobine ( $B_1$ ),

puis on tracera le graphique  $\frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_O\|} = f(x) = \frac{V_M}{V_O}$ .

Il est intéressant de comparer :  $f(x)$  à :  $g(\theta) = \sin^3 \theta$  en désignant par  $\theta$  l'angle précisé ci-après :



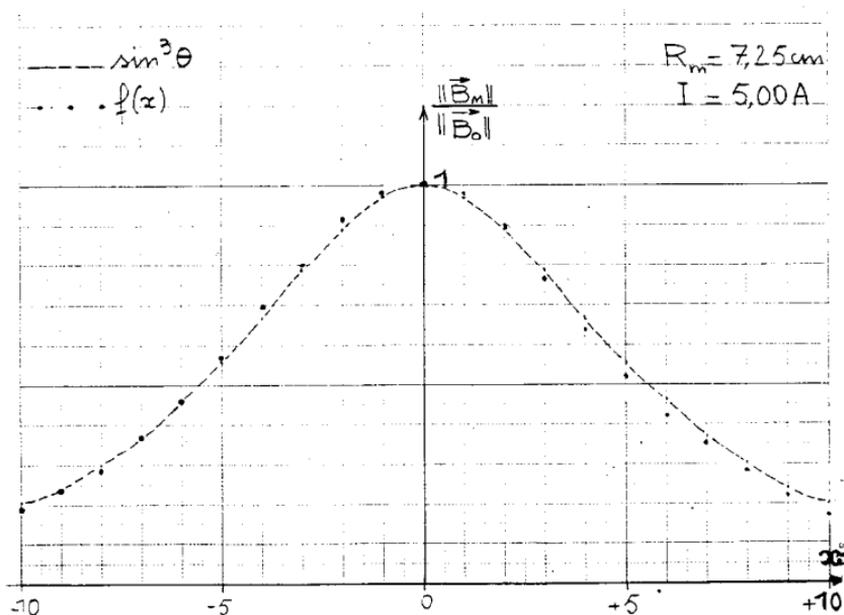
On démontre, en effet, que :  $\frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_O\|} = \sin^3 \theta$ .

Les résultats sont rassemblés dans le tableau (T<sub>1</sub>).

TABLEAU (T<sub>1</sub>) :

Variations du rapport  $\frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_O\|} = f(x)$  pour  $I = 5 \text{ A}$ .

$x(\text{cm})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$V_s(\text{mV})$	50	49	45	38	32	26	21	17,5	14	11	8,5	6,5
$f(x)$	1	0,98	0,90	0,76	0,64	0,52	0,42	0,35	0,28	0,22	0,17	0,13
$\sin^3 \theta$	1	0,972	0,896	0,789	0,671	0,558	0,457	0,372	0,303	0,242	0,202	0,167
$x(\text{cm})$	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
$V_s(\text{mV})$	50	49	46	40	35	28,5	23	18,5	14,5	12	9,5	7
$f(x)$	1	0,98	0,92	0,80	0,70	0,57	0,46	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
$\sin^3 \theta$	1	0,972	0,896	0,789	0,671	0,558	0,457	0,372	0,303	0,242	0,202	0,167



### III. Utilisation des deux bobines ( $B_1$ ) et ( $B_2$ ).

1. MONTAGE : dans un circuit identique au précédent, les deux bobines seront montées en série et parcourues par un courant tournant dans le même sens.

2. MESURES : on fera trois séries de mesures relatives de

$\frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_0\|} = G(x)$  pour des distances :  $d = O_1 O_2$ , entre les centres  $O_1$  et  $O_2$  des bobines telles que :  $d > R_m$ ;  $d = R_m$ ;  $d < R_m$ , et on comparera les valeurs mesurées à celles obtenues théoriquement en faisant :

$$F(x) = f_1(x) + f_2(x) = \frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_{O_1}\|} + \frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_{O_2}\|}.$$

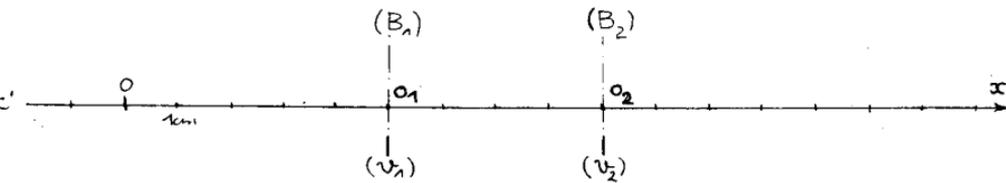
Dans les 3 cas, l'origine  $O$  des abscisses  $x$  sera prise du côté de ( $B_1$ ) à l'extérieur des deux bobines.

Les résultats sont rassemblés dans les trois tableaux ( $T_{2a}$ ), ( $T_{2b}$ ), ( $T_{2c}$ ).

TABLEAU (T<sub>2</sub> a) :

Variations du rapport  $\frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_{O_1}\|} = G(x)$  pour  $I = 5 \text{ A}$   
 et  $d = 4 \text{ cm} < R_m$ .

$x_1$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	$O_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$G(x)$	0,457	0,558	0,671	0,789	0,896	0,972	1	0,972	0,896	0,789	0,671	0,558	0,457	0,372	0,303	0,242	0,202	0,166
$x_2$	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	$O_2$	1	2	3	4	5	6	7
$G(x)$	0,202	0,242	0,303	0,372	0,457	0,558	0,671	0,789	0,896	0,972	1	0,972	0,896	0,789	0,671	0,558	0,457	0,372
$G(x)$	0,659	0,800	0,974	1,161	1,353	1,530	1,671	1,761	1,792	1,761	1,671	1,530	1,353	1,161	0,974	0,800	0,659	0,538
(cm)	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(mV)	50	63	77	92	107,5	122	134	142	143	140	133	119	104	90	73	60	50	39
$G(x)$	0,625	0,787	0,962	1,150	1,344	1,525	1,675	1,775	1,788	1,750	1,663	1,488	1,300	1,125	0,913	0,750	0,625	0,488



Remarque.

A  $\|\vec{B}_{O_1}\|$  on a fait correspondre  $V_s = 80 \text{ mV}$  (calibre 150 mV).

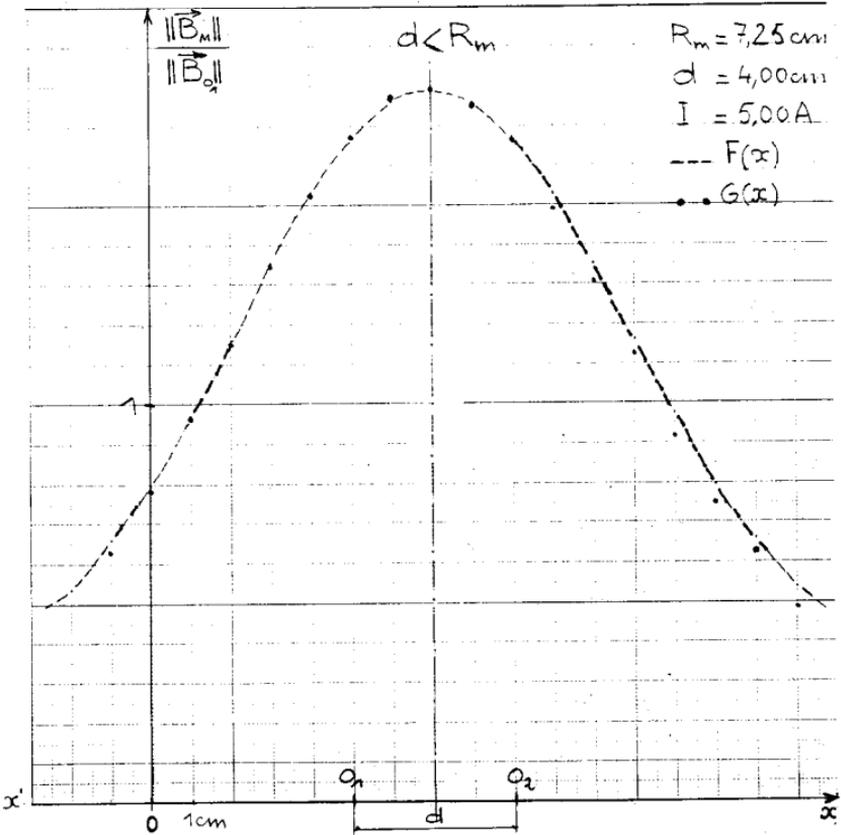


TABLEAU (T<sub>2</sub> b) :

Variations du rapport  $\frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_{O_1}\|} = G(x)$  pour  $I = 5 \text{ A}$   
 et  $d = R_m$  : « bobines de Helmholtz ».

$x(\text{cm})$	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$V_s(\text{mV})$	23,5	28,5	33,5	39,5	44	47,5	49	49	49	49	49	48	46	43	38,5	33,5	28,5	24
$G(x)$	0,67	0,814	0,936	1,113	1,26	1,36	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,37	1,31	1,23	1,10	0,96	0,81	0,69

Remarque.

Dans ce cas, nous n'avons pas réalisé d'étude théorique pour  $F(x)$  à  $\|\vec{B}_{O_1}\|$ ; on a fait correspondre  $V_s = 35 \text{ mV}$  (calibre 50 mV).

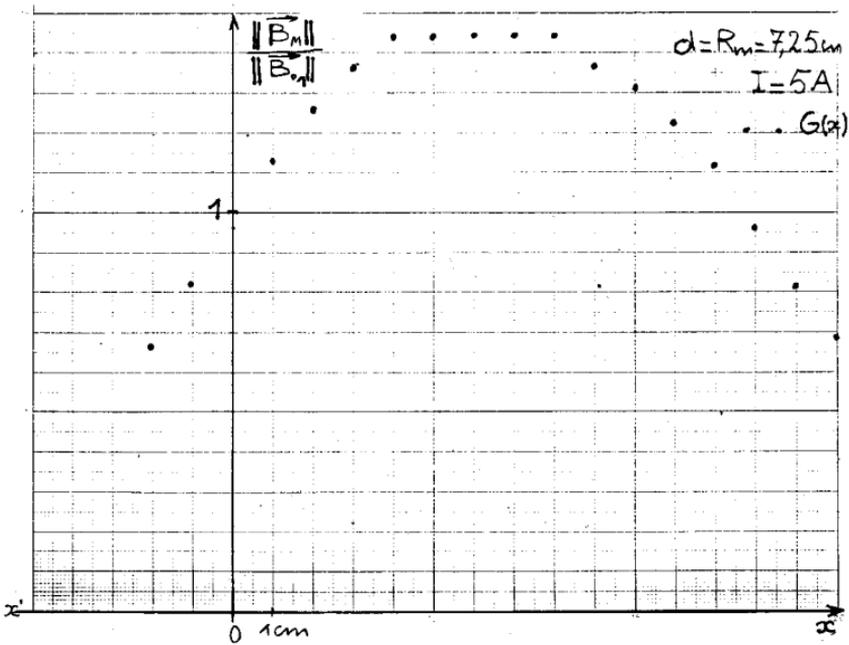
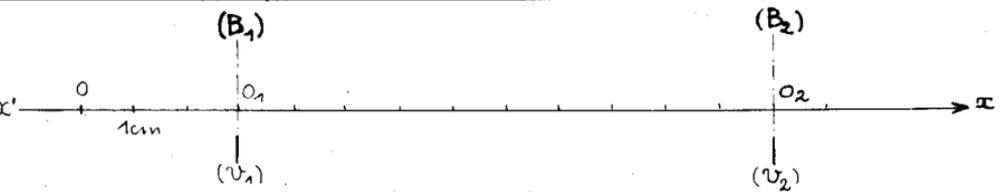


TABLEAU (T<sub>2</sub> c) :

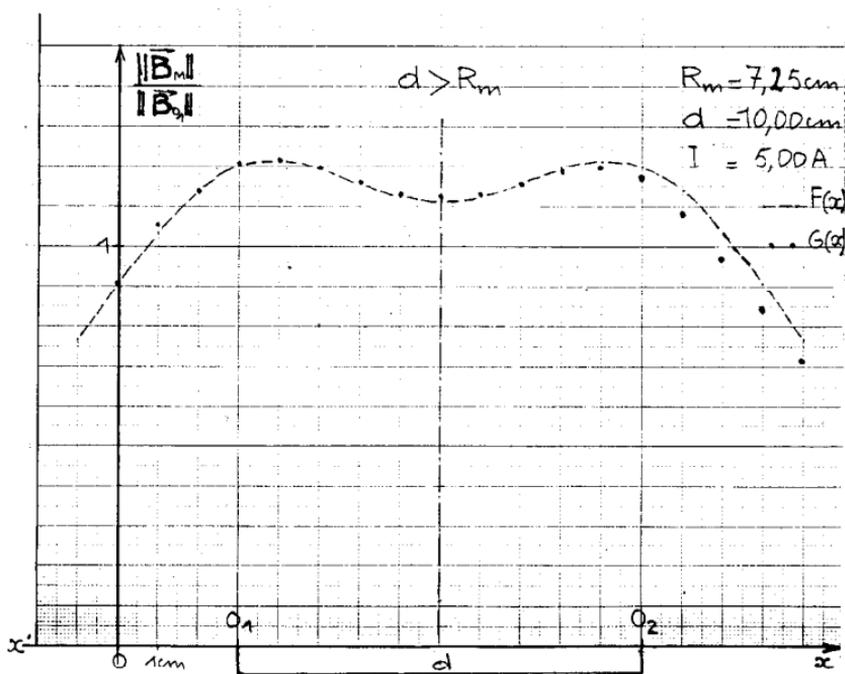
Variations du rapport  $\frac{\|\vec{B}_M\|}{\|\vec{B}_{O_1}\|} = G(x)$  pour  $I = 5 A$   
 et  $d = 10 \text{ cm} > R_m$ .

$x_1$	-3	-2	-1	0 <sub>1</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$f_1(x)$	0,789	0,896	0,972	1	0,972	0,896	0,789	0,671	0,558	0,457	0,372	0,303	0,242	0,202	0,167	0,138	0,119	0,097
$x_2$	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0 <sub>2</sub>	1	2	3	4
$f_2(x)$	0,119	0,138	0,167	0,202	0,242	0,303	0,372	0,457	0,558	0,671	0,789	0,896	0,972	1	0,972	0,896	0,789	0,671
$F(x)$	0,908	1,034	1,139	1,202	1,214	1,199	1,161	1,128	1,116	1,128	1,161	1,199	1,214	1,202	1,139	1,034	0,908	0,768
$x(\text{cm})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$V(\text{mV})$	32	37	40	42	42,5	42	40,5	40	39,5	40	40,5	42	42	41	38	34	29,5	25
$G(x)$	0,914	1,057	1,143	1,200	1,214	1,200	1,157	1,143	1,123	1,143	1,157	1,20	1,20	1,171	1,086	0,971	0,843	0,717



Remarque.

A  $\|\vec{B}_{O_1}\|$ , on a fait correspondre  $V_s = 35 \text{ mV}$  (calibre 50 mV).



La réalisation de cet ensemble expérimental a été menée à bien grâce aux soins particuliers apportés par :

- M. J.-P. SCHWABE, professeur technique en Electronique et ses élèves de la classe de 1<sup>re</sup> (F<sub>2</sub>), et
  - M. B. EGÉA, aide-laboratoire,
- nous leur adressons nos sincères remerciements.