

G. Suberluq /PS

/1mg

PS/PSR/Note 86-21
08.01.1987

MESURES MAGNETIQUES DE L'AIMANT SPECTROMETRE LIL-BSP 15

G. Suberluq
M. Tardy

TABLE OF CONTENTS

<u>Section</u>	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION	1
2. PRINCIPES ET PRECISIONS DES MESURES	1
2.1 Système de coordonnées et alignement	1
2.2 Mesure du courant	1
2.3 Mesure de l'homogénéité	1
2.3.1 Mesure de l'homogénéité du champ intégré sur la longueur	1
2.3.2 Mesure de l'homogénéité du champ	2
2.4 Mesure de la magnétisation	3
2.5 Mesure de $B = f(Z)$	3
3. MESURES MAGNETIQUES	3
3.1 Mesures préliminaires	3
3.1.1 Répérage des polarités	3
3.1.2 Cyclage de l'aimant	4
3.2 Ajustements et mesure de l'homogénéité	4
3.3 Mesure de la magnétisation	4
3.4 Mesure de $B = f(Z)$	5
4. CONCLUSION	5
5. REFERENCES	6

1. INTRODUCTION

Ce dipôle à culasse massive a été récupéré aux ISR où il portait le nom de SCM1. Il est installé dans l'injecteur LEP, à la fin du Linac V où il est utilisé comme aimant spectromètre pour la mesure d'électrons à 200 MeV.

Le but de la présente note est de décrire les propriétés magnétiques et les ajustements nécessaires pour obtenir les caractéristiques désirées dans cette nouvelle application.

2. PRINCIPES ET PRECISIONS DES MESURES

2.1 Système de coordonnées et alignement

La figure 1 donne le système de coordonnées que nous avons utilisé.

L'alignement a été réalisé à l'aide d'embases mobiles d'alignement fournies par les géomètres et qui seront aussi utilisées pour l'installation dans la machine.

2.2 Mesure du courant

La mesure du courant est faite à l'aide d'un DCCT.

Précision de la mesure :

- Erreur relative sur la valeur absolue : $\leq \pm 5 \times 10^{-4}$
- Erreur relative aléatoire : $\leq \pm 2 \times 10^{-4}$

2.3 Mesure de l'homogénéité

2.3.1 Mesure de l'homogénéité du champ intégré sur la longueur

- Détermination de la valeur de référence :

Elle est prise à $X = Y = 0$ et obtenue par rotation de 180° de la bobine de mesure. La valeur finale est la moyenne de deux rotations.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} B(0,0) dz = \frac{I_{th}}{4A_s} \times \left[\frac{\int_0^t e_1 dt (0^\circ \rightarrow 180^\circ)}{I_1 \text{ mesure}} - \frac{\int_0^t e_2 dt (180^\circ \rightarrow 0^\circ)}{I_2 \text{ mesure}} \right]$$

avec :

I_{th} = Courant théorique auquel on souhaite faire la mesure.

I_{mesure} = Courant effectivement mesuré pendant la rotation de la bobine. Il doit être voisin de I_{th} à $\pm 10^{-3}$ près.

A_s = Constante spécifique de la bobine longue, ici pour BL3
 $A_s = 1.56836$ m.

$\int_0^t \text{edt}(0 \rightarrow 180^\circ)$ = Intégrale de la tension induite pendant une rotation de 180° de la bobine de mesure.

- Mesure de l'homogénéité

Elle est mesurée en déplaçant la bobine jusqu'à la coordonnée X. La valeur finale est la moyenne sur un aller et un retour.

$$\text{Eps}(X) \text{ en } \% = 50 \times \left[\frac{\Delta \int B dz(0 \rightarrow X) - \Delta \int B dz(X \rightarrow 0)}{\int B(0,0) dz} \right]$$

$$\text{avec : } \Delta \int B dz(0 \rightarrow X) = \frac{I_{th}}{A_s} \frac{\int_0^t \text{edt}}{I_{mesure}}$$

$\int_0^t \text{edt}(0 \rightarrow X)$ = Intégrale de la tension induite pendant le déplacement de la bobine de 0 vers X.

I_{mesure} = Courant effectivement mesuré pendant le déplacement de la bobine. Il doit être voisin de I_{th} à $\pm 10^{-3}$ près.

$I_{th}, A_s, \int_{-\infty}^{+\infty} B(0,0) dz$ = Comme précédemment définis.

- Précision de la mesure :

- Erreur relative sur la valeur absolue : $< \pm 1 \times 10^{-3}$
- Erreur relative aléatoire : $< \pm 3 \times 10^{-4}$.

2.3.2 Mesure de l'homogénéité du champ

Le champ B est mesuré à l'aide d'une sonde de Hall qui est étalonnée dans les deux polarités. Par les points d'étalonnage on fait passer un polynôme du quinzième degré. Le champ est calculé à partir de la moyenne de 3 mesures.

$$B = \frac{I_{th}}{3} \sum_{n=1}^{n=3} \frac{\sum_{k=0}^{k=15} A_k \times U_{H(n)}^k}{I_{mes}(n)}$$

avec : I_{th} et I_{mes} = Comme définis au paragraphe 2.3.1.

A_k = Coefficients du polynôme.

U_H = Tension de Hall fournie par la sonde.

- Précision de la mesure :

- Erreur relative sur la valeur absolue : $< \pm 6 \times 10^{-4}$
- Erreur relative aléatoire $< \pm 4 \times 10^{-4}$.

Pour $B \approx 0,5$ T.

2.4 Mesure de la magnétisation

Les principes de la mesure de $\int B dz$ et de B sont décrits au paragraphe 2.3

Précision des mesures : identique à celles données au paragraphe 2.3.

- pour $300 < I < 600$ A.

Erreur relative sur la valeur absolue : $< \pm 4 \times 10^{-4} + 10^{-4} \times \frac{300}{I}$

- pour $50 < I < 300$ A.

2.5 Mesure de $B = f(Z)$

Le principe de la mesure de B est identique à celui décrit au paragraphe 2.3.2.

Précision des mesures :

Erreur sur la valeur absolue : $0,09$ T $< |B| < 1,7$ T $\epsilon_a < \pm 4 \times 10^{-4}$

$0,005$ T $< |B| < 0,09$ T $\epsilon_a < \pm 3 \times 10^{-3}$.

3. MESURES MAGNETIQUES

3.1 Mesures préliminaires

3.1.1 Répérage des polarités

L'aimant est connecté de telle sorte que le pôle Nord soit en haut. La figure 1 montre le sens de branchement de l'aimant.

3.1.2 Cyclage de l'aimant

Avant chaque mesure l'aimant a été cyclé au moins 10 fois avec le cycle suivant :

$$I_{\max} = 600 \text{ A}$$

$$\text{Durée des plateaux} = 9 \text{ s}$$

$$\text{Pentes} = 200 \text{ A/s.}$$

ATTENTION : L'aimant étant massif, il faut attendre au moins 15 secondes pour que le champ magnétique s'établisse à mieux que 3×10^{-4} de sa valeur finale.

3.2 Ajustements et mesure de l'homogénéité

Il est demandé²⁾ une homogénéité du champ magnétique intégré sur la longueur meilleure que : $\pm 0,2\%$ pour $-100 < X < 100$ mm et $I = 300$ A.

La courbe 2 de la figure 2 représente la variation de $\int Bdz(X,0)$ en fonction de X, on voit que sans ajustement l'aimant n'est pas dans la spécification.

A l'aide de plaquettes représentées sur la figure 3 et installées comme indiqué sur la figure 1 à chaque extrémité de l'aimant, on peut ramener l'intégrale du champ sur la longueur dans la fenêtre spécifiée : voir courbe 3 de la figure 2.

Enfin la courbe 1 de la figure 2 représente la variation de $B(X,0)$ en fonction de X.

3.3 Mesure de la magnétisation

Le tableau 1 donne $\int Bdz(0,0)$, $B(0,0,0)$, $Leq. = f(I)$ et la figure 4 représente la variation du coefficient de magnétisation en fonction du courant.

à $X = Y = 0$

$$K_{\text{réf}} = \frac{\int Bdz(I = 250 \text{ A}) - \int Bdz_{\text{rémanent}}}{(I = 250 \text{ A})} \quad \text{ou} \quad \frac{B(I = 250 \text{ A}) - B_{\text{rémanent}}}{(I = 250 \text{ A})}$$

$$K_{(I)} = \frac{\int Bdz(I) - \int Bdz_{\text{rémanent}}}{I} \quad \text{ou} \quad \frac{B(I) - B_{\text{rémanent}}}{I}$$

$$\text{Eps}(I) = 100 \times \frac{K(I)}{K_{\text{réf}}} - 1$$

Dans la zone d'utilisation (environ entre 100 et 300 MeV) on peut relier le champ au courant par une relation de la forme :

$$B = A_0 + A_1 \cdot I + A_2 \cdot I^2 + A_3 \cdot I^3$$

Il est demandé¹) une précision de 0,5% dans cette zone. Le tableau ci-dessous donne les divers coefficients pour B et $\int B dz$ qui permettent une reconstruction à $\pm 0,3\%$ près dans l'intervalle $0,16 \text{ T} < B < 0,7 \text{ T}$.

	A_0	A_1	A_2	A_3
$\int B dz = f(I)$	$5,09104 \times 10^{-4}$	$8,64519 \times 10^{-4}$	$2,8371 \times 10^{-8}$	$-6,94545 \times 10^{-11}$
$I = f(\int B dz)$	-0,591089	1156,9	-45,2192	126,468
$B = f(I)$	$1,1561 \times 10^{-3}$	$1,59354 \times 10^{-3}$	$5,33927 \times 10^{-8}$	$-1,16565 \times 10^{-10}$
$I = f(B)$	-0,726956	627,611	-13,3958	18,1746

Nota : 1. Lors du calcul de la fonction, il est indispensable de prendre tous les chiffres des coefficients pour garantir la précision annoncée.

2. Pour une meilleure précision on peut utiliser les coefficients contenus dans les fichiers WYLBUR PZ.UCQ.LIB(LILBSP15) ou PZ.ALV.AIMANTS(LILBSP15).

Ces coefficients sont utilisables dans la gamme :

$$0 < I < 600 \text{ A.}$$

3.4 Mesure de $B = f(Z)$

La carte de champ est faite dans l'intervalle $-1000 < Z < 1000 \text{ mm}$. La figure 5 est une loupe de la mesure de $B(0,0,Z) = f(Z)$ dans l'intervalle $-600 < Z < 600 \text{ mm}$. Le tableau 2 donne les valeurs de $B(0,0,Z)$ en fonction de Z.

Enfin la figure 6 est l'intégration numérique de la précédente mesure dans l'intervalle $-1000 < Z < 1000 \text{ mm}$.

On notera que l'on retrouve la mesure faite avec une bobine longue de 2m à 0,005% près.

4. CONCLUSION

Avec ces nouveaux shims cet aimant répond aux spécifications pour ce nouveau type d'utilisation.

Cependant pour obtenir des résultats reproductibles, il est nécessaire de prendre quelques précautions :

- Après avoir programmé une nouvelle valeur de courant il faut attendre au moins 15 secondes pour que le champ magnétique atteigne sa valeur finale à 3×10^{-4} près.
- Il faut toujours atteindre la valeur finale par valeur inférieure c'est-à-dire aller de 0 (ou I_{\min} voisin de 0) jusqu'à I_N . Par exemple, si l'on atteint 150 A depuis 600 A au lieu de partir de 0, on obtiendra un champ magnétique intégré sur la longueur 0,21% plus grand.

5. REFERENCES

1. S. Battisti, "Aimants utilisés comme spectromètre", Communication privée du 17.9.1984.
2. D. Cornuet, "Travail à effectuer sur le dipôle spectromètre BSP 15 situé en sortie du linac V de LIL". Communication privée du 26.8.1985.

Distribution :

Membres de la section MA du groupe PSR

Y. Baconnier
S. Battisti
J.P. Delahaye
A. Krusche
H. Kugler
A. Levy-Mandel
J.H.B. Madsen

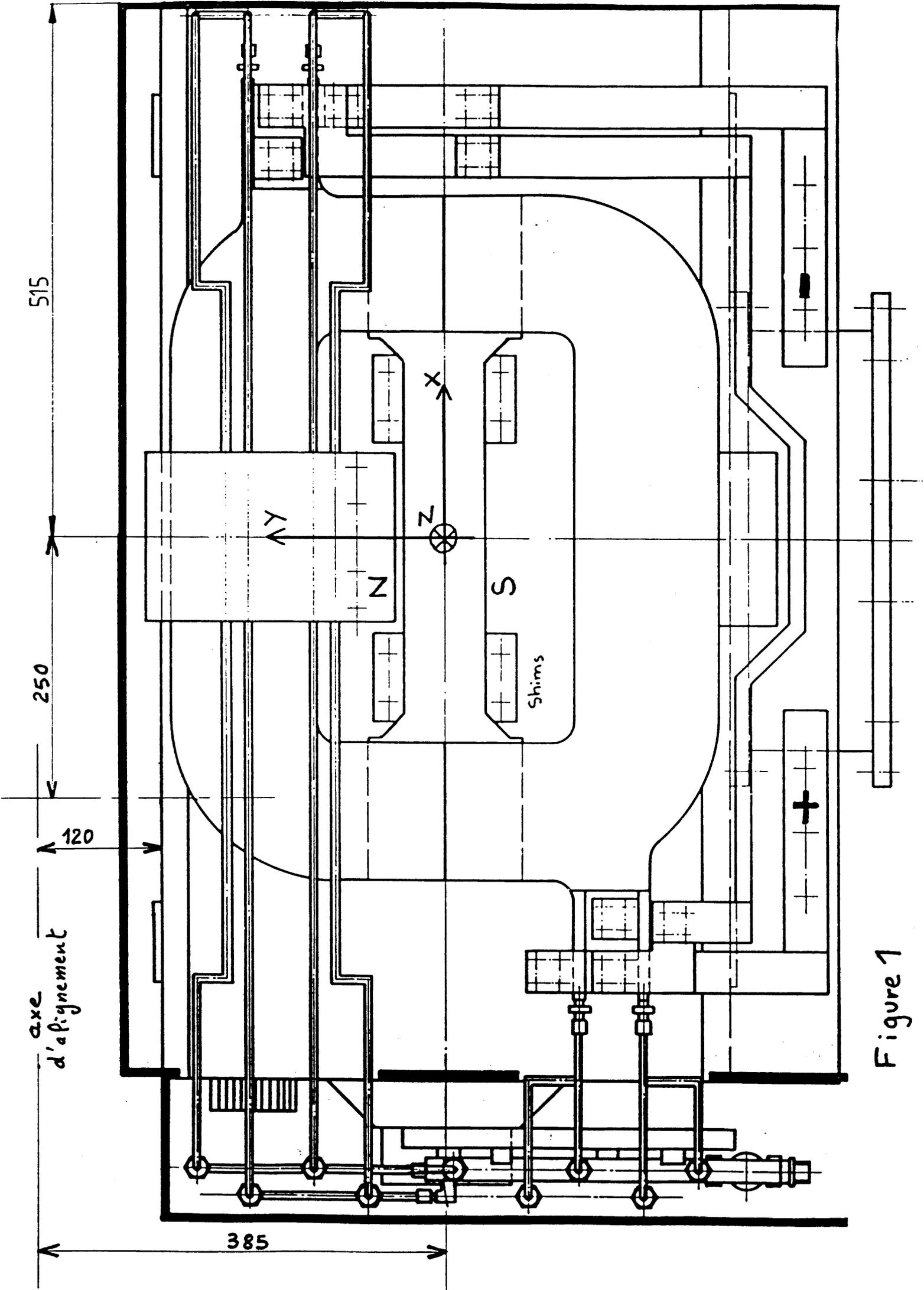
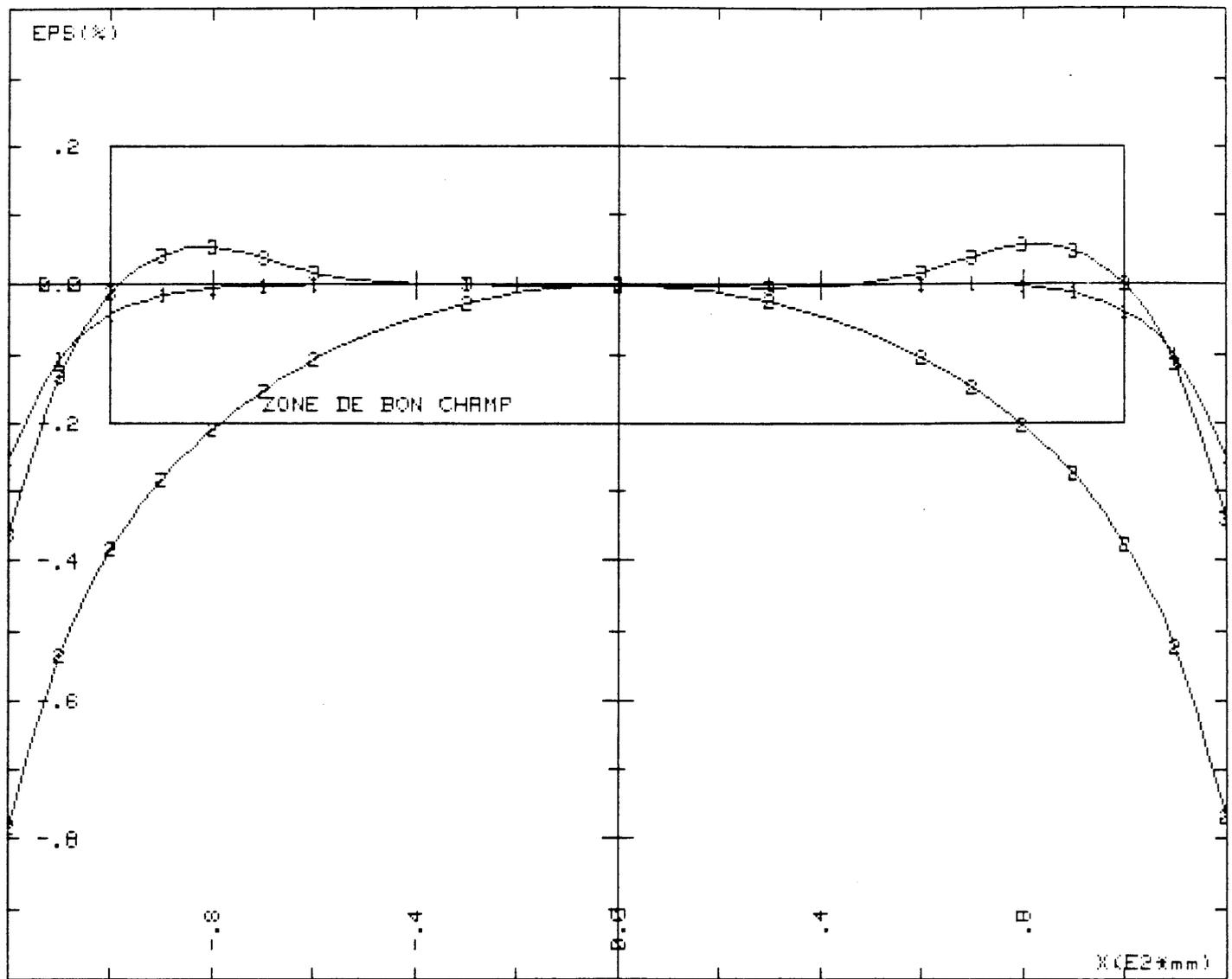


Figure 1



LIL-BSP15 : mesure de l'homogeneite de $B(X,0,0)$, $\int Bdz(X,0) = f(X)$ 17/03/1986

COURBE : 1 $B(X,0,0)=f(X)$ avec shims definitifs ; $B(0,0,0)=0.48088T$ à $I=300 A$

COURBE : 2 $\int Bdz(X,0)=f(X)$ l'aimant sans shims ; $\int Bdz(0,0)=0.26047T$ à $I=300 A$

COURBE : 3 $\int Bdz(X,0)=f(X)$ avec shims definitifs ; $\int Bdz(0,0)=0.26058T$ à $I=300 A$

AIMANT SPECTROMETRE BSP15 TYPE ISR-SCM1

COURANT CONTINU ; MANUEL ; DIPOLES ; HOMOG.(X,Y)

Traitement des fichiers : H01902,H01903,H01904 disque DATA-2

FIGURE : 2

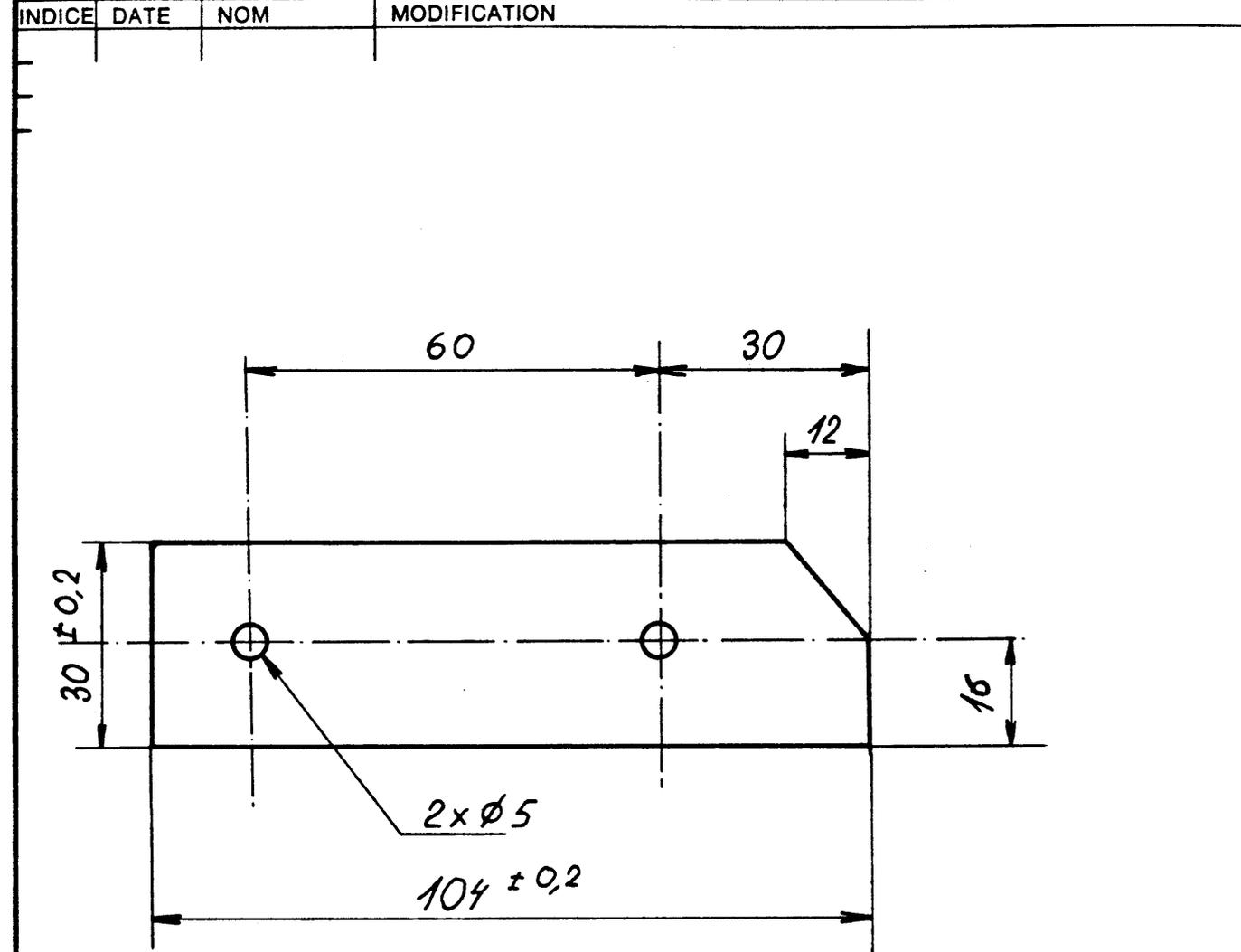
DIMENSION	> 2000
USINAGE GROSSIER / ROUGH MACHINING	> 315 ± 2
MECANO. SOUDURE / WELDED STRUCTURE	> 120 ± 1,2
	> 30 ± 0,8
	> 6 ± 0,5
	> 0,2 ± 0,5
	< 6 ± 0,2
TOLERANCES GENERALES	

DESSIN, RUGOSITE, TOLERANCES
SELON NORMES ISO
DRAWINGS, RUGOSITY, TOLERANCES
ACCORDING TO ISO STANDARDS



Projection européenne
First angle projection

Ce dessin ne peut être utilisé à des fins commerciales sans autorisation écrite.
This drawing may not be used for commercial purposes without written authorisation.



Nota : - Tôles ép. 0,65 mm selon spécification PS/PSR/Spéc. 85.3
- Ebavurer

Figure 3

QUANT.	Tôle 104 x 30 ép 0,65		1	Fe (14%Si)	Isolation Carlite C4.2	
	DESCRIPTION	POS.	MATIERE		OBSERVATIONS	
	ENSEMBLE / ASSEMBLY LIL.7ME.MB.0107 2		S. ENS. / S. ASSY.			
SPECTROMETRE BSP 15				ECHELLE SCALE 1:1	NOM	DATE
SHIMS					DESSINE	Ph. Cortier 10/11/86
					CONTROLE	D. Corauet 10/11/86
					VU	
				REPLACE		
ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH GENEVE				LIL7ME MB 1532 4		INDICE

AIMANT SPECTROMETRE BSP15 TYPE ISR-SCM1
MESURE DE L'AIMANT AVEC SHIMS DEFINITIFS

COURANT CONTINU ; MANUEL ; DIPOLES ; MAGNETISAT.(I)

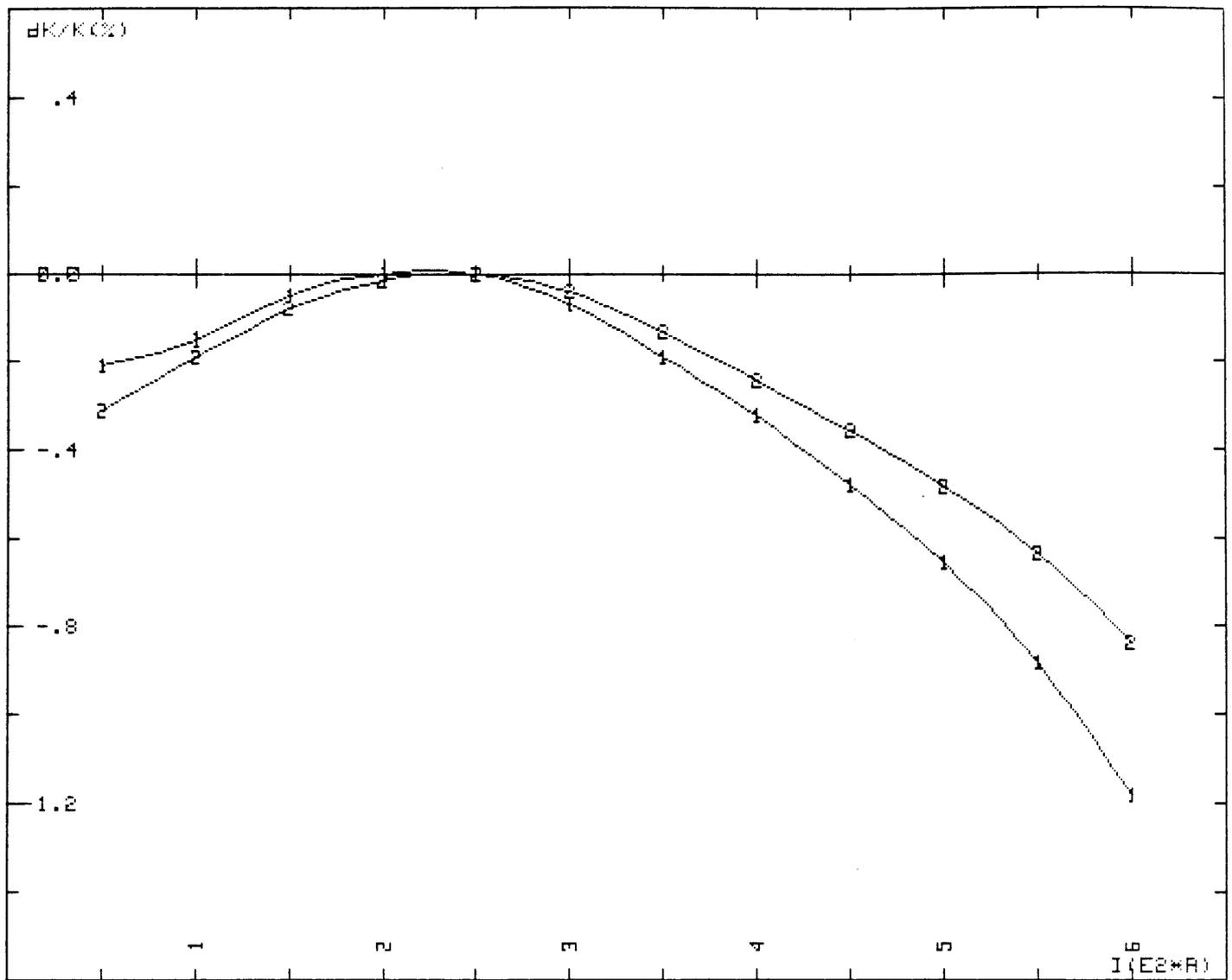
Traitement des fichiers : BI1901, BI1902 disque DATA 2

$\int Bdl=f(I)$; $B=f(I)$; $L_{eq}=f(I)$ à $X = Y = 0$ mm

MESURE DE L'AIMANT AVEC SHIMS DEFINITIFS

COURANT A	$\int Bdl$ Tm	B T	Long.eq mm
0.00	.00052	.00119	437.89
50.00	.04380	.08093	541.21
100.00	.08713	.16086	541.67
150.00	.13057	.24097	541.86
200.00	.17401	.32110	541.91
250.00	.21738	.40114	541.90
300.00	.26057	.48093	541.80
350.00	.30354	.56037	541.68
400.00	.34637	.63954	541.58
450.00	.38900	.71852	541.39
500.00	.43139	.79722	541.12
550.00	.47339	.87550	540.71
600.00	.51482	.95302	540.20

Tableau : 1



LIL-BSP15 : Calcul des coefficients de magnetisation
 (Xref,Yref)=(0,0) mm

17/03/1986

COEFFICIENT DE MAGNETISATION : $K = \int Bdz/I = .00086743066 \text{ Tm/A}$ à $I = 250 \text{ A}$
 COEFFICIENT DE MAGNETISATION : $K = B/I = .00159979664 \text{ T/A}$ à $I = 250 \text{ A}$

COURBE 1 : $\int Bdz = I*K*(1+dK/K/100)+\int Bdz_{remanent}$ $\int Bdz_{rem} = 5.223E-04 \text{ Tm}$

COURBE 2 : $B = I*K*(1+dK/K/100)+ B_{remanent}$ $B_{rem} = 1.193E-03 \text{ T}$

AIMANT SPECTROMETRE BSP15 TYPE ISR-SCM1
 MESURE DE L'AIMANT AVEC SHIMS : $2*3shims = 2*2.1 \text{ mm}$

COURANT CONTINU ; MANUEL ; DIPOLES ; MAGNETISAT.(I)

Traitement des fichiers : BI1901,BI1902 disque DATA 2

FIGURE : 4

B(0,0,0) = .48084 T à I = 300 A

AIMANT SPECTROMETRE BSP15 TYPE ISR-SCM1

MESURE DE L'AIMANT AVEC SHIMS : 2*3shims = 2*2.1 mm

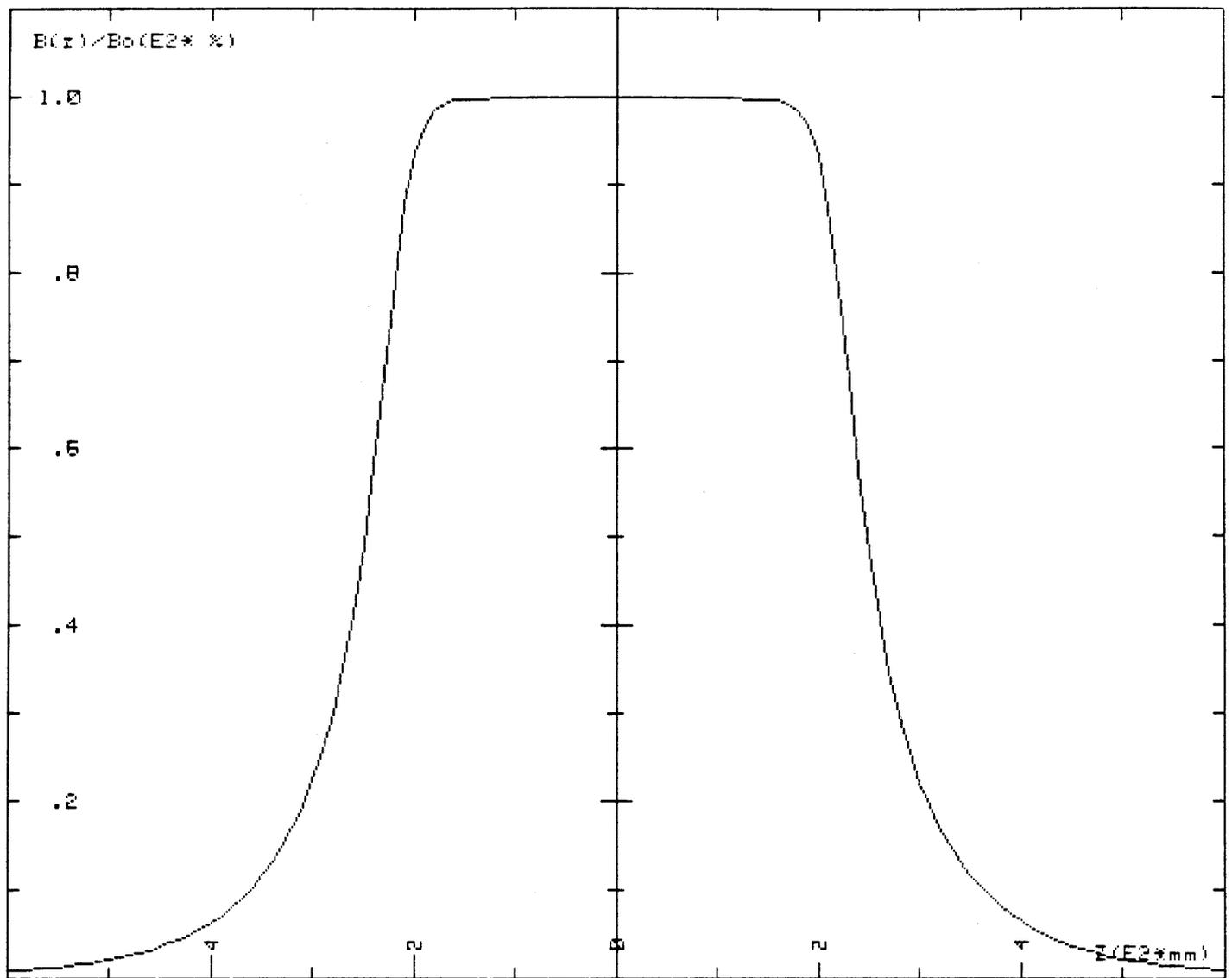
MESURE DE B(Z,0,0) = f(Z)

COURANT CONTINU ; MANUEL ; DIPOLES ; B=F(S)
 MESURE INTERNE ; HALL No 3 ; HP 3456A ; ATTENUATION NON
 TENSION ; HP 3490 ;

Nom du fichier : L01901 disque DATA 2

Bref = -.480838 T à I = 300 A X = 0 ; Y = 0 mm

Z mm	B(z) T	Z mm	B(z) T	Z mm	B(z) T
-1000	2.26899E-04	-950	3.75406E-04	-900	5.08755E-04
-850	6.41606E-04	-800	9.35081E-04	-750	1.32630E-03
-700	1.84608E-03	-650	2.75205E-03	-600	4.14571E-03
-550	6.39981E-03	-540	7.02918E-03	-530	7.75332E-03
-520	8.51780E-03	-510	9.37326E-03	-500	1.03650E-02
-490	1.14733E-02	-480	1.26857E-02	-470	1.40493E-02
-460	1.56255E-02	-450	1.74005E-02	-440	1.93791E-02
-430	2.16462E-02	-420	2.42180E-02	-410	2.71352E-02
-400	3.04550E-02	-390	3.42427E-02	-380	3.85797E-02
-370	4.34274E-02	-360	4.91873E-02	-350	5.56854E-02
-340	6.31860E-02	-330	7.18218E-02	-320	8.19117E-02
-310	9.35985E-02	-300	1.07486E-01	-290	1.23961E-01
-280	1.43855E-01	-270	1.68134E-01	-260	1.98086E-01
-250	2.34952E-01	-240	2.79326E-01	-230	3.29605E-01
-220	3.80173E-01	-210	4.21918E-01	-200	4.49873E-01
-190	4.65473E-01	-180	4.73227E-01	-170	4.76905E-01
-160	4.78630E-01	-150	4.79452E-01	-100	4.80452E-01
-50	4.80783E-01	0	4.80862E-01	50	4.80810E-01
100	4.80567E-01	150	4.79522E-01	160	4.78644E-01
170	4.76829E-01	180	4.72923E-01	190	4.64677E-01
200	4.48321E-01	210	4.19124E-01	220	3.76457E-01
230	3.25527E-01	240	2.75541E-01	250	2.31903E-01
260	1.96032E-01	270	1.66885E-01	280	1.42360E-01
290	1.23041E-01	300	1.06964E-01	310	9.34667E-02
320	8.18978E-02	330	7.21829E-02	340	6.35620E-02
350	5.62133E-02	360	4.97864E-02	370	4.41986E-02
380	3.92800E-02	390	3.50100E-02	400	3.12206E-02
410	2.79108E-02	420	2.49850E-02	430	2.23907E-02
440	2.01090E-02	450	1.80925E-02	460	1.63008E-02
470	1.47175E-02	480	1.32976E-02	490	1.20085E-02
500	1.09225E-02	510	9.92358E-03	520	9.01865E-03
530	8.21733E-03	540	7.48492E-03	550	6.86478E-03
600	4.49092E-03	650	3.04701E-03	700	2.12137E-03
750	1.52961E-03	800	1.12147E-03	850	8.38606E-04
900	6.41606E-04	950	4.99158E-04	1000	3.85508E-04



LIL-BSP15 : Loupe de la mesure de $B=F(Z)$

17/03/1986

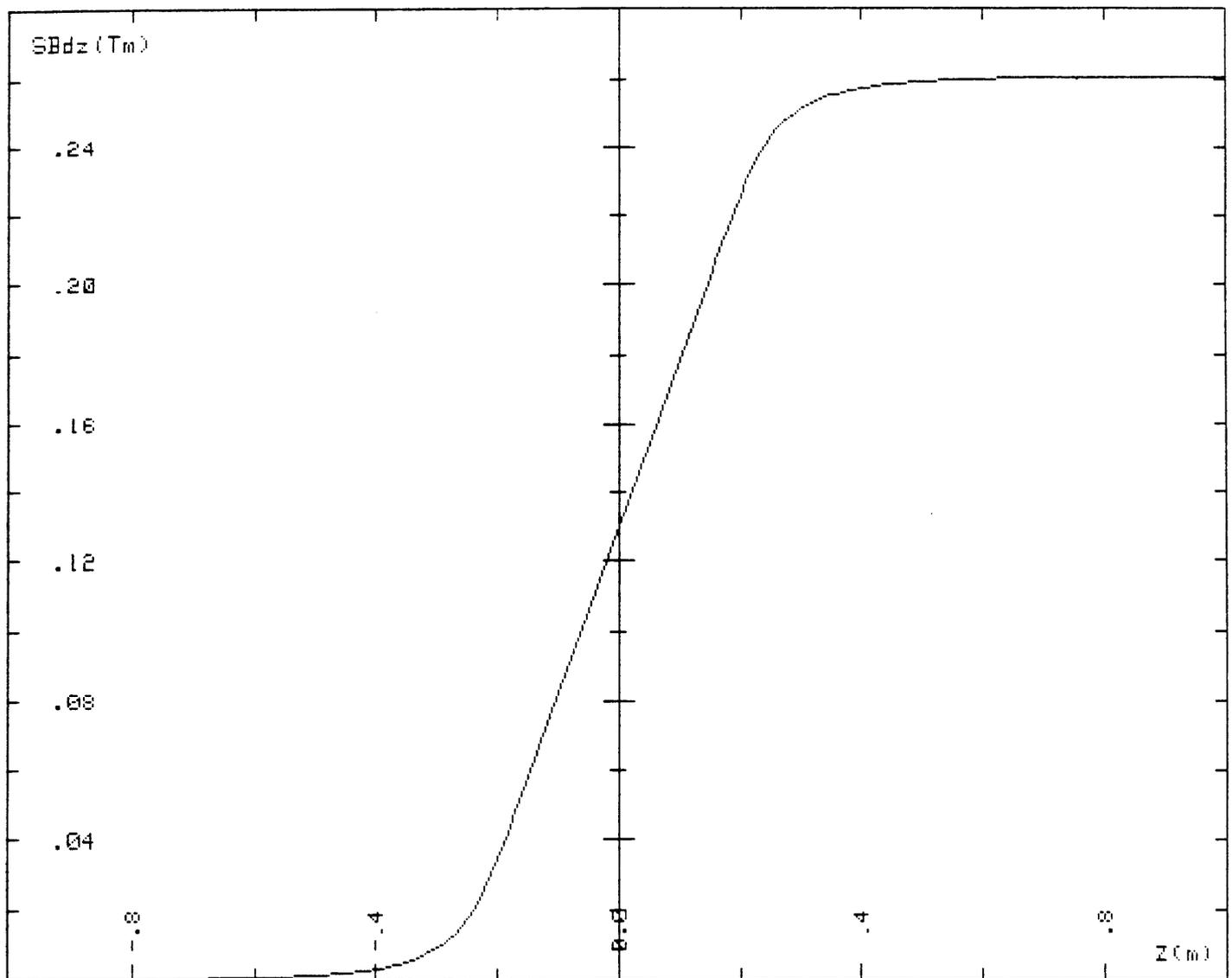
$B(0,0,0) = 4.8084 \text{ T}$ à $I = 300 \text{ A}$

AIMANT SPECTROMETRE BSP15 TYPE ISR-SCM1
 MESURE DE L'AIMANT AVEC SHIMS : $2*3\text{shims} = 2*2.1 \text{ mm}$
 MESURE DE $B(Z,0,0) = f(Z)$

COURANT CONTINU ; MANUEL ; DIPOLES ; B=F(S)
 MESURE INTERNE ; HALL No 3 ; HP 3456A ; ATTENUATION NON
 TENSION ; HP 3490 ; ;

TRAITEMENT DES DONNEES DU FICHIER : L01901 disque DATA 2

FIGURE : 5



LIL-BSP15 : Integration numerique de la mesure de $B=F(Z)$

17/03/1986

$B(0,0,0) = 4.8084 \text{ T}$ à $I = 300 \text{ A}$

$\int Bdz = .26057 \text{ Tm}$ à $X = 0 \quad Y = 0 \quad -1 \leq Z \leq 1 \text{ m}$

AIMANT SPECTROMETRE BSP15 TYPE ISR-SCM1
 MESURE DE L'AIMANT AVEC SHIMS : 2*3shims = 2*2.1 mm
 MESURE DE $B(Z,0,0) = f(Z)$

COURANT CONTINU ; MANUEL ; DIPOLES ; B=F(S)
 MESURE INTERNE ; HALL No 3 ; HP 3456A ; ATTENUATION NON
 TENSION ; HP 3490 ; ;

Traitement du fichier : L01901 disque DATA 2

FIGURE : 6