

MESURE MAGNETIQUE DU QUADRIPOLE

EPA TYPE N NO. 1.

G. Suberlucq et M. Tardy

1. INTRODUCTION

2. PRINCIPE ET PRECISION DES MESURES

2.1 Système de coordonnées et alignement.

2.2 Principe des mesures.

3. MESURES MAGNETIQUES

3.1 Mesures préliminaires.

3.2 Mesure de la magnétisation.

3.3 Mesure de l'homogénéité du gradient.

3.4 Calcul des effets de bords.

3.5 Décomposition polynomiale.

REFERENCES

1. INTRODUCTION

Ces quadripôles de focalisation et d'ajustement sont installés dans l'accumulateur à électrons et positons EPA. Le but du présent rapport est de décrire les propriétés magnétiques de l'un de ces aimants : le No. 1.

2. PRINCIPE ET PRECISION DES MESURES

2.1 Système de coordonnées et alignement

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

L'alignement a été effectué en utilisant le gabarit d'alignement prévu à cet effet. La précision de l'alignement par rapport au gabarit est meilleure que $\pm 0,1$ mm. Les bobines de mesure sont alignées à $\pm 0,15$ mm.

2.2 Principe et précision des mesures

Toutes les mesures sont faites après avoir cyclé l'aimant. Les coordonnées de références sont prises sur l'axe magnétique et sur le plan magnétique médian ou à 45° .

2.2.1 Alimentation en courant

Le quadripôle est alimenté en courant continu entre 0 et 55 A, une mesure spéciale a été faite à 75 A.

La mesure du courant est faite avec un DCCT 100 A.

Erreur sur la valeur absolue : $\epsilon_a \leq \pm 2 \times 10^{-4}$.

Erreur aléatoire : $\epsilon_r \leq \pm 1 \times 10^{-4}$.

2.2.2 Mesure de la magnétisation

La mesure de $G(0,0) = f(I)$ est faite avec une bobine courte de 3 cm de long GLC1/C. La valeur finale est la moyenne des 4 valeurs obtenues lors des 4 rotations de 90° .

$$G = \frac{I_{th}}{8.A} \sum_{n=1}^{n=4} \left| \frac{\int_0^t e_n dt}{I_n} \right|$$

- avec I_{th} = courant théorique auquel on souhaite faire la mesure.
 A = Constante de la bobine à gradient : $A = 7,297 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.
 I_n = Courant effectivement mesuré pendant la rotation de 90°
il doit être à 2×10^{-3} près égal au courant théorique.
 $\int_0^t e_n dt$ = Intégration de la tension induite dans la bobine à gradient pendant une rotation de 90° .

Erreur sur la valeur absolue :

pour $40 \leq I \leq 75 \text{ A}$ $\epsilon_a \leq \pm 5 \times 10^{-3}$

pour $5 \leq I \leq 35 \text{ A}$ $\epsilon_a \leq \pm 1 \times 10^{-2}$

2.2.3 Mesure du gradient G(X,Y)

La mesure de $G(X,0)$ et $G(0,Y)$ est faite sur les axes X et Y avec une bobine courte de 3 cm de long GLC1/C. La mesure de G est identique à celle décrite au paragraphe 2.2.2.

$$EPS = \left(\frac{G(X,Y)}{G(0,0)} - 1 \right) \times 100$$

$$-70 \leq X \leq 70 \text{ mm}$$

$$-70 \leq Y \leq 70 \text{ mm}$$

$$I = 49 \text{ et } 25 \text{ A}$$

Erreur sur la valeur absolue : $\epsilon_a \leq \pm 5 \times 10^{-3}$

Erreur aléatoire : $\epsilon_r \leq \pm 5 \times 10^{-4}$

$$\text{à } -40 \leq x \leq 40 \text{ mm.}$$

2.2.4 Mesure du gradient G(r, φ)

La mesure de $G(r, 45^\circ)$ et $G(r, 135^\circ)$ est faite le long de rayons perpendiculaires aux pôles avec une bobine courte de 10 cm de long GLS21/S. La valeur finale est la moyenne des 4 valeurs obtenues lors des 4 rotations de 90° (à partir de $\varphi = 45^\circ$).

La mesure de G est identique au paragraphe 2.2.2. avec $A = 1,255 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Erreur sur la valeur absolue : $\epsilon_a \leq \pm 3 \times 10^{-3}$
Erreur aléatoire : $\epsilon_r \leq \pm 1 \times 10^{-3}$

2.2.5 Mesure du gradient intégré sur la longueur $\int Gdz(X,Y)$

La mesure est faite avec la bobine à gradient, GL1 de 1,6 m de long et de constante spécifique : $A_S = 0,025183 \text{ m}^2$.

Le principe est identique à celui décrit au paragraphe 2.2.2.

Erreur sur la valeur absolue : $\epsilon_a \leq \pm 1 \times 10^{-3}$
Erreur aléatoire : $\epsilon_r \leq \pm 5 \times 10^{-4}$
à $-40 \leq x \leq 40 \text{ mm}$.

2.2.6 Mesure du gradient intégré sur la longueur $\int Gdz(r,\varphi)$

La mesure est faite avec la bobine à gradient radial GLS21/L de 2 m de long et de constante spécifique : $A_S = 0,012796 \text{ m}^2$.

Le principe est identique à celui décrit au paragraphe 2.2.3.

Erreur sur la valeur absolue : $\epsilon_a \leq \pm 3 \times 10^{-3}$
Erreur aléatoire : $\epsilon_r \leq \pm 5 \times 10^{-4}$

3. MESURES MAGNETIQUES

3.1 Mesures préliminaires

3.1.1 Repérage des polarités

La figure 1 montre les polarités de l'aimant qui ont été adoptées pour la suite des mesures. Pour un cyclage normal l'inversion des polarités introduit une erreur $\leq 5 \times 10^{-4}$ par rapport à la valeur nominale de $\int Gdz(0,0)$ (à $I_N = 49 \text{ A}$).

3.1.2 Cyclage de l'aimant

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

Pente : 200 A/S

Durée des plateaux : 1 s

I_{\max} : 55 A

Pour une mesure spéciale, I_m a été porté à 75 A. Ceci introduit une différence de $1,1 \times 10^{-3}$ sur $\int Gdz(0,0)$ à $I_N = 49$ A. Après arrêt de l'alimentation et 10 cycles normaux on retrouve la valeur nominale de $\int Gdz(0,0)$.

3.1.3 Recherche de l'axe magnétique

L'axe magnétique a été déterminé à l'aide de deux bobines de mesure différentes : GL1 et GLC1/L montées en bobine à champ. Nous avons trouvé :

Axe magnétique par rapport à l'axe du gabarit: $X = -0.02$ mm
 $Y = -550 + 0,18$ } $\pm 0,2$ mm

Nota : Toutes les mesures sont faites en prenant comme origine des coordonnées l'axe magnétique.

3.1.4 Détermination du point de fonctionnement

Le point de fonctionnement est fixé²⁾ à $\int Gdz(0,0) = 0,5$ T nous avons trouvé :

à $I_N = 49$ A : $\int G_N dz(0,0) = 0,4997$ T
 $G_N(0,0,0) = 1,395$ T/m.

3.1.5 Correction magnétique de l'aimant

Il est demandé²⁾ une homogénéité du gradient intégré sur la longueur meilleure que $\pm 1\%$ dans un rayon de 6 cm. Sans aucune correction le quadripole est largement dans cette tolérance : $- 0,5\% \leq \epsilon \leq 0,1\%$ (voir paragraphe 3.3).

Il n'y a donc pas de correction magnétique.

3.2 Mesure de la magnétisation

Le tableau 1 montre la variation de $\int Gdz, G, Leq$ en fonction de I à $X = Y = 0$.

Nota : Le point à 75 A a été mesuré après un cyclage spécial à $I_m = 75$ A (voir paragraphe 3.1.2).

3.3 Mesure de l'homogénéité du gradient

- La figure 2 présente $\int Gdz(X, Y), G(X, Y, 0) = f(X, Y)$ à $I_N = 49$ A et $\int Gdz(X, Y) = f(X, Y)$ à $I = 25$ A.
- La figure 3 est une loupe de la figure 2.
- La figure 4 représente $\int Gdz(r, \varphi), G(r, \varphi, 0) = f(r, \varphi)$ à $I_N = 49$ A. Pour cette dernière valeur on ne peut atteindre la valeur $R = 6$ cm : $R_{max} = 5$ cm.

3.4 Calcul des effets de bords

Pour symétriser les mesures, nous avons fait la moyenne des mesures sur l'axe X et sur l'axe Y, puis la moyenne des erreurs de +X et -X.

$$\int G_{\text{fuite}} dz(X,0) = \int G dz(X,0) - G(X,0) \times \text{leq.}$$

$$\frac{\int G_{\text{fuite}} dz(X,0)}{\int G dz(0,0)} = \frac{\int G dz(X,0)}{\int G dz(0,0)} - \frac{G(X,0) \times \text{leq.}}{\int G dz(0,0)}$$

Par définition : $G(0,0) \times \text{leq} = \int G dz(0,0)$

$$\frac{\int G_{\text{fuite}} dz(X,0)}{\int G dz(0,0)} = \frac{\int G dz(X,0)}{\int G dz(0,0)} - \frac{G(X,0)}{G(0,0)}$$

Nous avons mesurée :

$$\epsilon_1(X,0) = \left[\frac{\int G dz(X,0)}{\int G dz(0,0)} - 1 \right] \times 100$$

$$\epsilon_2(X,0) = \left[\frac{G(X,0)}{G(0,0)} - 1 \right] \times 100$$

Il en résulte donc :

$$\epsilon_{\text{fuite}}(X,0) = 100 \times \frac{\int G_{\text{fuite}} dz(X,0)}{\int G dz(0,0)} = \epsilon_1(X,0) - \epsilon_2(X,0).$$

La figure 5 représente $\epsilon_{\text{fuite}}(X,0) = f(X)$ après avoir linéarisé les mesures, comme il est indiqué plus haut, dans le but d'effectuer une décomposition polynomiale des effets de bords.

3.5 Décomposition polynomiale

L'imprécision sur les mesures et la qualité de l'aimant (faible valeur des coefficients multipolaires) font qu'une décomposition polynomiale³⁾ n'a pas beaucoup de sens. Seule une véritable mesure avec bobine harmonique permettrait de déterminer les coefficients multipolaires de ce quadripôle.

Toutefois, pour comparaison avec les coefficients multipolaires introduits dans le profil, nous avons effectué une décomposition polynomiale sur les effets de bords comme définis au paragraphe 3.4 et représentés sur la figure 5.

$$\int G_{\text{fuite}} dz(X,0) = \frac{\epsilon_{\text{fuite}}(X,0)}{100} \times \int G dz(0,0) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot X^n$$

	Nombre de pôles	Valeur du coefficient	Effet à X = 50 mm en %
a ₀	4	2,4 x 10 ⁻⁴	0,05
a ₂	8	-0,9	-0,45
a ₄	12	110	0,14
a ₆	16	-9,74 x 10 ⁵	-3,04
a ₈	20	2,18 x 10 ⁸	1,71
a ₁₀	24	-1,77 x 10 ¹⁰	-0,35
a ₁₂	28	7,23 x 10 ¹¹	0,04

Nota : Tous les termes impairs sont nuls à cause de la symétrisation -X, +X (voir paragraphe 3.4).

REFERENCES

1. "Technical spécification for the EPA quadripôle magnets of the LEP pre-injector", PS/PSR/DL/Spec. 83-3.
2. D. Cornuet, "Proposition de mesures magnétiques à réaliser sur le premier quadripôle type N", Communication privée.
3. P. Louche, "Note sur le calcul des coefficients polynomiaux", Communication privée.

Distribution :

Membres de la section MA du groupe PSR

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

QUADRIPOLE EPA TYPE NORMAL No1

Traitement des fichiers : BI0401,BI0402

$\int Gdz=f(I)$; $G=f(I)$; $Leq=f(I)$ à $X = Y = 0$ mm

COURANT A	$\int Gdz$ T	G T/m	Long.eq mm
0.00	.00099	.00318	310.40
5.00	.05152	.14457	356.35
10.00	.10222	.28634	357.00
15.00	.15342	.43061	356.28
20.00	.20411	.57071	357.64
25.00	.25510	.71385	357.36
30.00	.30608	.85609	357.53
35.00	.35702	.99886	357.42
40.00	.40794	1.14221	357.15
45.00	.45887	1.28410	357.34
50.00	.50980	1.42664	357.34
55.00	.56063	1.56955	357.19
75.00	.76541	2.14076	357.54

TABLEAU No 1

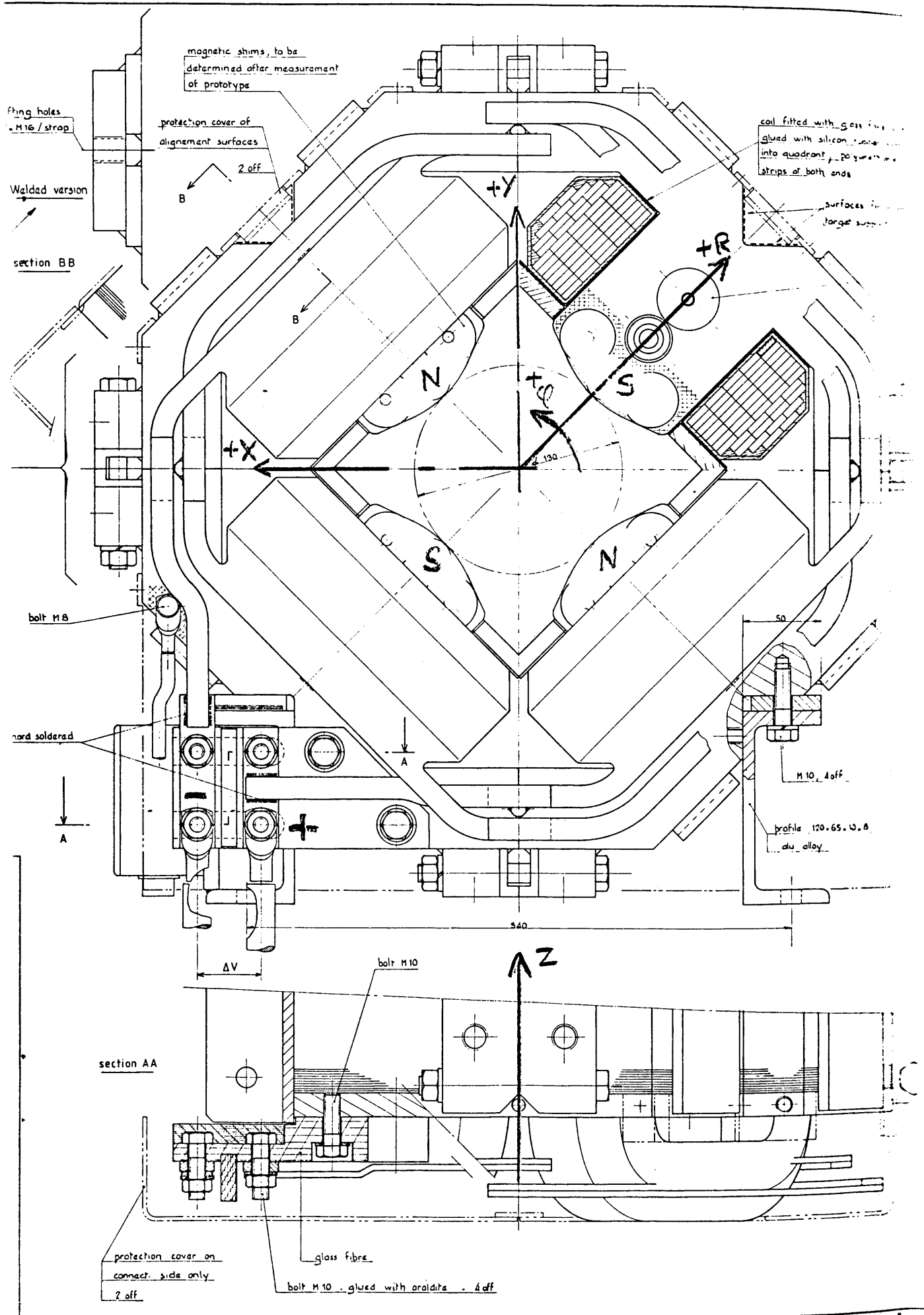
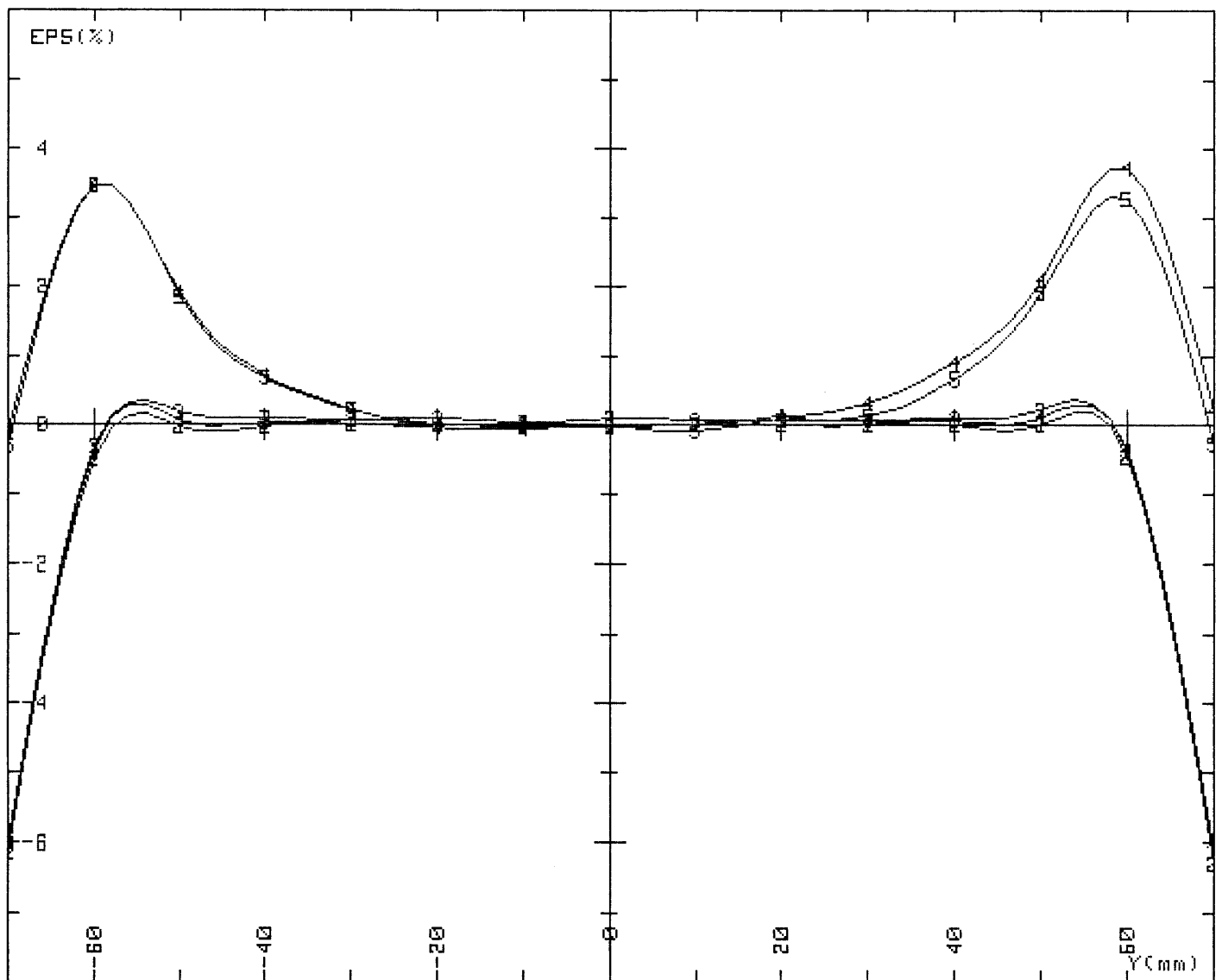


FIGURE 1



QN-EPA-No1 : mesure de l'homogeneite $G, \int Gdz = f(X, Y)$ 07/08/1985

COURBE 1 : $\int Gdz(X, 0) = f(X)$; $\int Gdz(0, 0) = .49984 \text{ T}$ à $I = 49 \text{ A}$
 COURBE 2 : $\int Gdz(0, Y) = f(Y)$; $\int Gdz(0, 0) = .49973 \text{ T}$ à $I = 49 \text{ A}$
 COURBE 3 : $\int Gdz(X, 0) = f(X)$; $\int Gdz(0, 0) = .25524 \text{ T}$ à $I = 25 \text{ A}$
 COURBE 4 : $G(X, 0, 0) = f(X)$; $G(0, 0, 0) = 1.3947 \text{ T/m}$ à $I = 49 \text{ A}$
 COURBE 5 : $G(0, Y, 0) = f(Y)$; $G(0, 0, 0) = 1.3945 \text{ T/m}$ à $I = 49 \text{ A}$

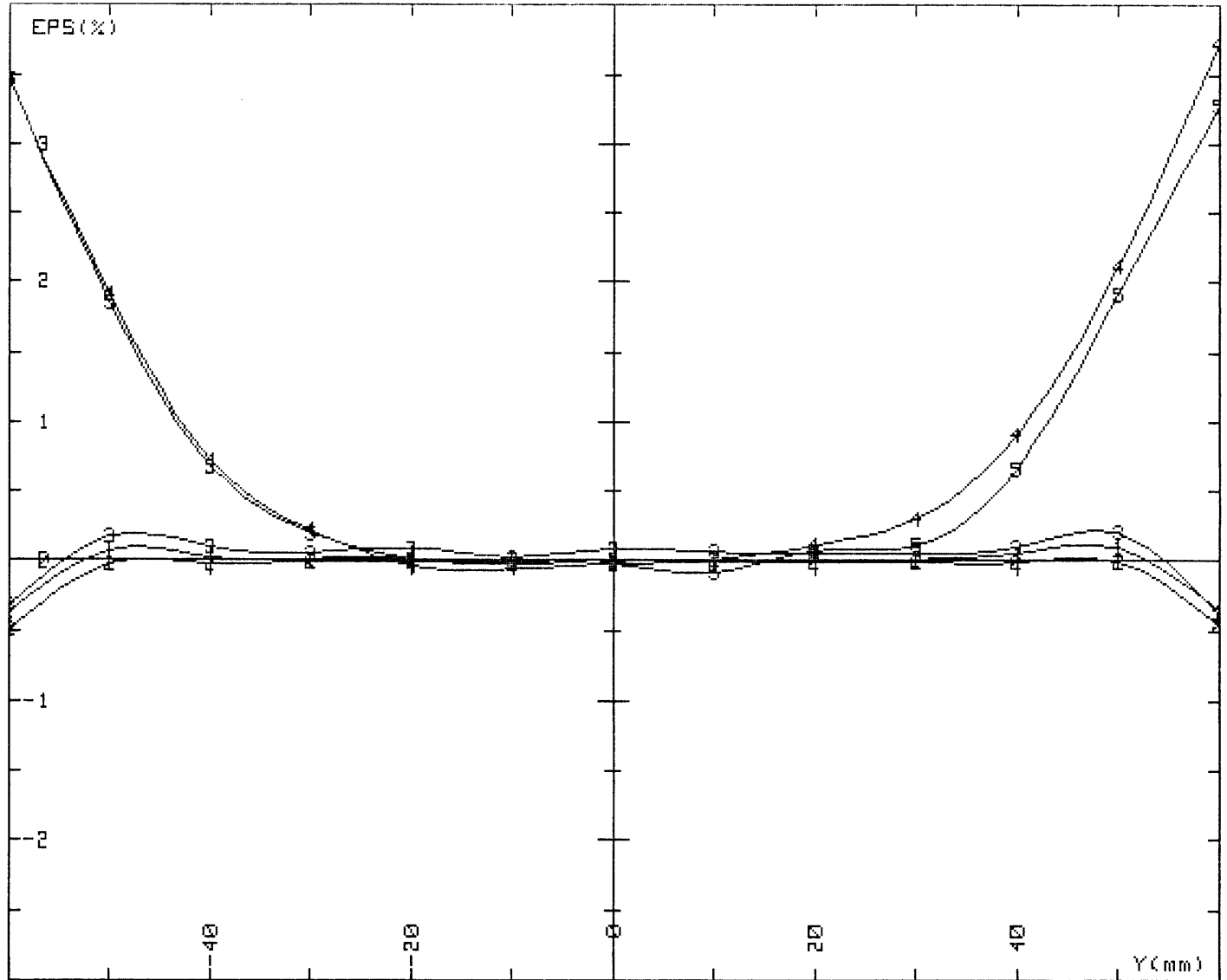
QUADRIPOLE EPA TYPE NORMAL No1

COURANT CONTINU ; MANUEL ; Q-POLES GRAD ; HOMOG. (X, Y)
 MESURE INTERNE ; BOB. GLC1/C ; HP 2401C ; ATTENUATION NON
 TENSION ; HP 3490 ; ;

Traitement des fichiers : H00401, H00402, H00403, H00505, H00506

Nom du fichier : H00507 disque EPA TYPE I

FIGURE : 2



QN-EPA-No1 : mesure de l'homogeneite G, $\int Gdz = f(X, Y)$ 07/08/1985

COURBE 1 : $\int Gdz(X, 0) = f(X)$; $\int Gdz(0, 0) = .49984$ T à I = 49 A
 COURBE 2 : $\int Gdz(0, Y) = f(Y)$; $\int Gdz(0, 0) = .49973$ T à I = 49 A
 COURBE 3 : $\int Gdz(X, 0) = f(X)$; $\int Gdz(0, 0) = .25524$ T à I = 25 A
 COURBE 4 : $G(X, 0, 0) = f(X)$; $G(0, 0, 0) = 1.3947$ T/m à I = 49 A
 COURBE 5 : $G(0, Y, 0) = f(Y)$; $G(0, 0, 0) = 1.3945$ T/m à I = 49 A

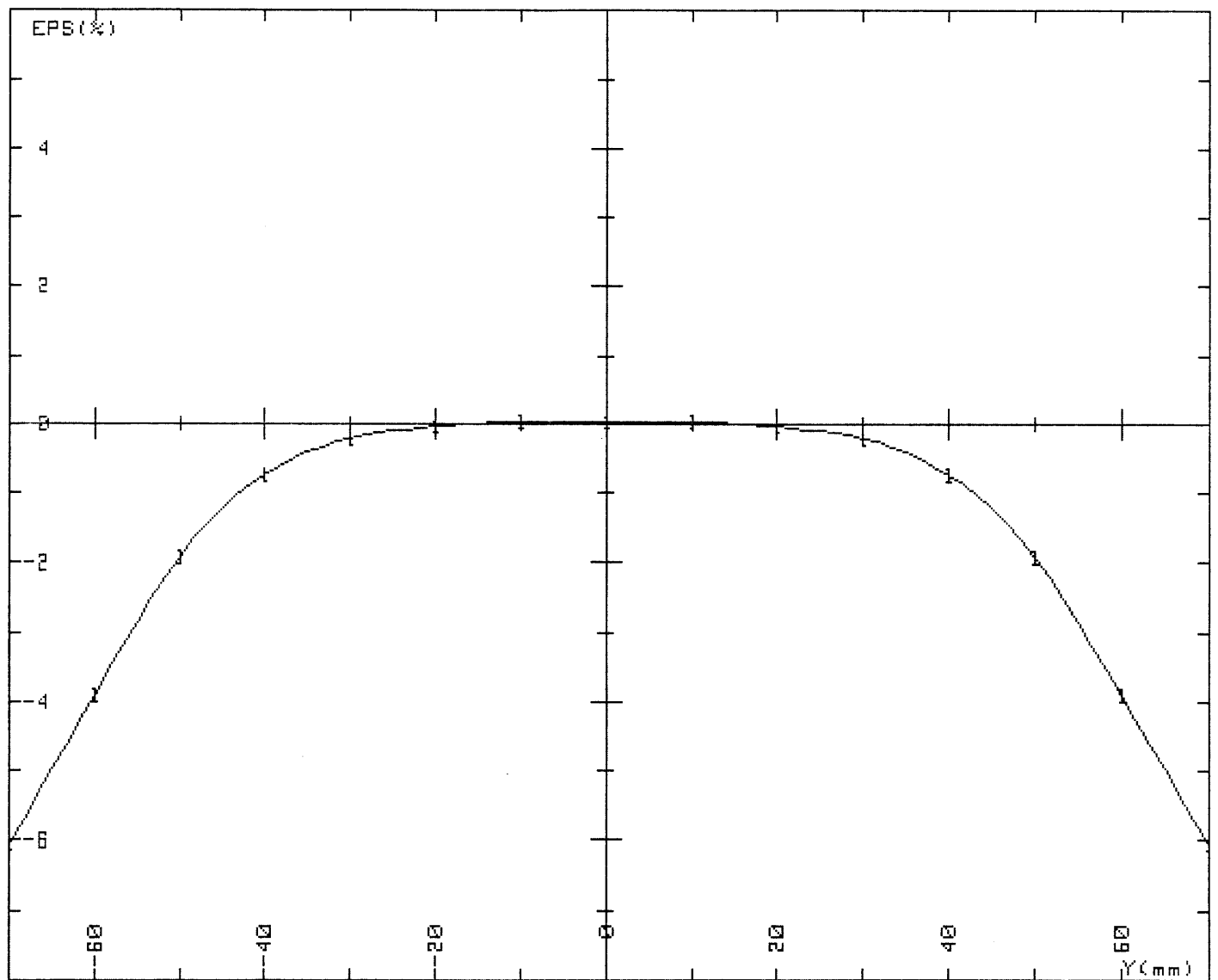
QUADRIPOLE EPA TYPE NORMAL No1

COURANT CONTINU ; MANUEL ; Q-POLES GRAD ; HOMOG. (X, Y)
 MESURE INTERNE ; BOB. GLC1/C ; HP 2401C ; ATTENUATION NON
 TENSION ; HP 3490 ; ;

Traitement des fichiers : H00401, H00402, H00403, H00505, H00506

LOUPE DU FICHIER : H00507

FIGURE : 3



QN-EPA-No1 : Calcul des effets de bords

07/08/1985

$$\begin{aligned}
 \text{EPS}_1 &= (\int Gdz(X,0) / \int Gdz(0,0) - 1) * 100 & ; & \quad \text{EPS}_2 = (G(X,0,0) / G(0,0,0) - 1) * 100 \\
 \text{EPS}_3 &= (\int Gdz(Y,0) / \int Gdz(0,0) - 1) * 100 & ; & \quad \text{EPS}_4 = (G(Y,0,0) / G(0,0,0) - 1) * 100 \\
 \text{EPS}_5 &= [(\text{EPS}_1 - \text{EPS}_2) + (\text{EPS}_3 - \text{EPS}_4)] / 2 \\
 \text{EPS} &= [\text{EPS}_5(-X,0) + \text{EPS}_5(+X,0)] / 2
 \end{aligned}$$

$$\int Gdz(0,0) = 0.49978 \text{ T} \quad ; \quad G(0,0,0) = 1.3946 \text{ T/m} \quad \text{à } I = 49 \text{ A}$$

QUADRIPOLE EPA TYPE NORMAL No1

$$\text{Eps}(X,0) = 100 * \int Gfuite.dz(X,0) / \int Gdz(0,0)$$

Traitement des fichiers : H00401,H00402,H00403,H00505,H00506

Nom du fichier : H00511 disque EPA TYPE I

FIGURE : 5