

MESURES MAGNETIQUES DES DIPOLES EPA TYPE I

G. Suberlucq  
M. Tardy

1. INTRODUCTION

2. PRINCIPES ET PRECISIONS DES MESURES

- 2.1 Système de coordonnées et alignement
- 2.2 Principes et précisions des mesures

3. MESURES PRELIMINAIRES

- 3.1 Repérage des polarités
- 3.2 Cyclage magnétique
- 3.3 Détermination des points de fonctionnement.

4. AJUSTEMENTS MAGNETIQUES DES AIMANTS

- 4.1 Mesure d'un aimant "nu".
- 4.2 Simulation de l'environnement magnétique.
- 4.3 Ajustements magnétiques des aimants.

5. MESURE DE L'AIMANT No. 1 APRES AJUSTEMENTS MAGNETIQUES

- 5.1 Courbes de magnétisation.
- 5.2 Homogénéité du champ magnétique.
- 5.3 Centre magnétique longitudinal.
- 5.4 Cartes de champ.

6. MESURE DE LA SERIE

- 6.1 Moyenne des aimants.
- 6.2 Tableau récapitulatif.

7. CONCLUSION

REFERENCES

## 1. INTRODUCTION

Pour le pré-injecteur LEP, 16 aimants EPA type I <sup>1)</sup> sont utilisés comme aimants principaux de courbure dans l'accumulateur EPA.

L'objet de la présente note est de décrire les propriétés magnétiques de ces dipôles, ainsi que les ajustements magnétiques effectués sur l'ensemble des aimants pour les rendre conformes à ce qui est souhaité par les utilisateurs <sup>2)</sup>.

## 2. PRINCIPES ET PRECISIONS DES MESURES

### 2.1 Système de coordonnées et alignement

La Figure 1 donne le système de coordonnées utilisé.

L'alignement est effectué avec le gabarit prévu à cet effet. Non compte tenu des erreurs systématiques introduites par le gabarit d'alignement la précision de l'alignement des capteurs par rapport aux faces de référence de l'aimant est mentionnée ci-dessous :

$$X_{\text{réf}} = 0 \pm 0,1 \text{ mm}; Y_{\text{réf}} = 0 \pm 0,1 \text{ mm}; Z_{\text{réf}} = 0 \pm 0,2 \text{ mm}.$$

Zone explorée autour de la position de référence :

$$-90 \leq X \leq 90 \text{ mm}; \Delta X = 10 \text{ mm}; \epsilon_X = \pm 0,02 \text{ mm}; Y = 0 \pm 0,1 \text{ mm}.$$

$$-750 \leq Z \leq 750 \text{ mm}; \Delta Z = 10 \text{ mm}, 50 \text{ mm} \epsilon_Z = \pm 0,2 \text{ mm}.$$

### 2.2 Principes et précisions des mesures

Toutes les mesures sont faites l'aimant étant alimenté en courant continu. Les principes et précisions de ces mesures sont décrits dans les références 3 et 4 sauf ceux relatifs à la mesure de l'homogénéité de  $\int B dz(X,0)$  que l'on trouvera décrits au paragraphe 2.2.4.

Rappel sur la précision des mesures :

#### 2.2.1 Mesure du courant

Erreur absolue : à  $I = 500 \text{ A}$ ;  $\Delta I = \pm 0,1 \text{ A}$ .

Erreur relative aléatoire :  $I = 500 \text{ A}$ ;  $\epsilon_r \leq \pm 1 \times 10^{-4}$ .

#### 2.2.2 Mesure du champ magnétique ponctuel B

Pour  $0,09 \text{ T} \leq |B| \leq 1,7 \text{ T}$  :

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

Erreur relative aléatoire à  $B \approx 1 \text{ T}$  :  $\epsilon_r \leq \pm 1 \times 10^{-4}$ .

Pour  $5 \times 10^{-3} \text{ T} \leq |B| \leq 0,09 \text{ T}$  :  $\epsilon_a \leq \pm 3 \times 10^{-3}$   
 Bruit de fond autour de zéro :  $B_{\text{eff}} \approx 0,03 \text{ mT}$

Pour les cartes de champ, il faut ajouter aux erreurs de positionnement mentionnées au paragraphe 2.1 la flèche dans le plan X,Z du support de sonde de Hall. Cette flèche peut entraîner une erreur sur la coordonnée X variant de 0 à  $\pm 0,05 \text{ mm}$  suivant la position de la sonde de Hall dans le sens longitudinal.

### 2.2.3 Mesure du champ magnétique intégré sur la longueur

Erreur relative sur la valeur absolue :  $\epsilon_a \leq \pm 7 \times 10^{-4}$   
 Erreur relative aléatoire :  $\epsilon_r \leq \pm 2 \times 10^{-4}$ .  
 Erreur relative sur la valeur absolue de l'intégrale numérique :  
 à  $X = Y = 0$  :  $\epsilon_a \leq \pm 1 \times 10^{-3}$

### 2.2.4 Principe et précision de la mesure d'homogénéité de $\int Bdz(X,0)$

Pour mesurer et ajuster l'homogénéité du champ intégré sur la longueur avec la plus grande précision possible, nous avons procédé par déplacement dans l'entrefer d'une bobine de mesure longue de 2 m.

$$\text{EPS} = \left[ \frac{\int Bdz(0,0) + \frac{\Delta \int Bdz(0 \rightarrow X) - \Delta \int Bdz(X \rightarrow 0)}{2}}{\int Bdz_{\text{réf}} + \int Gdz_{\text{réf}} \cdot X} - 1 \right] \times 100$$

avec :

$\int Bdz(0,0)$  : Champ intégré sur la longueur au centre de l'entrefer

$$\int Bdz(0,0) = \frac{I_{\text{th}}}{4A_s} \sum_{i=1}^2 \left| \frac{\int_0^t \text{edt}_i}{I_{\text{mes}_i}} \right|$$

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

$\int_0^t \text{edt}$  = Intégration de la tension induite dans la bobine de mesure pendant une rotation de  $180^\circ$  de celle-ci.

$I_{\text{mes}}$  = Courant effectivement mesuré pendant la rotation de la bobine.

$A_s$  = Constante spécifique de la bobine BL3;  $A_s = 1.5684 \text{ m}$ .

$\Delta \int B dz (0 \rightarrow X)$  : Variation du champ intégré sur la longueur lors du déplacement du capteur de  $X = 0$  à  $X$ .

$$\Delta \int B dz (0 \rightarrow X) = \text{Signe} \times \frac{I_{th}}{A_s} \times \frac{\int_0^t \text{edt}}{I_{mes}}$$

Signe = +1 ou -1; permet de respecter la bonne polarité de la variation de champ.

$I_{th}$ ,  $A_s$ ,  $I_{mes}$  = Idem à ci-dessus.

$\int_0^t \text{edt}$  = Intégration de la tension induite dans la bobine de mesure pendant le déplacement de celle-ci de  $X = 0$  à  $X$ .

$\int B dz_{\text{réf.}}$  : Valeur de référence spécifiée <sup>5)</sup> à  $X = Y = 0$  pour 600 MeV  
 $\int B dz_{\text{réf.}} = 0,78444 \text{ Tm}$ .

$\int G dz_{\text{réf.}}$  : Valeur de référence spécifiée <sup>5)</sup> à  $X = Y = 0$  pour 600 MeV  
 $\int G dz_{\text{réf.}} = 0,54622 \text{ T}$ .

Précision de cette mesure :

Erreur relative aléatoire sur  $\int B dz$  :  $\epsilon_a \leq \pm 1,5 \times 10^{-4}$   
qui entraîne une erreur relative aléatoire  $\epsilon_a \leq \pm 2,2 \times 10^{-4}/\text{m}$  sur  $\int G dz$  soit  $\epsilon_a \leq \pm 2.2\%$  à  $\Delta X = 1 \text{ cm}$ .

### 3. MESURES PRELIMINAIRES

#### 3.1 Repérage des polarités

L'aimant est connecté de telle sorte que le pôle NORD soit en haut, ce qui correspond à relier la galette inférieure de la bobine au pôle positif de l'alimentation.

#### 3.2 Cyclage magnétique

Identique à celui décrit dans la référence 4 c'est-à-dire 8 à 10 impulsions de courant à  $I_m = 581 \text{ A}$ , pentes : 600 A/S, plateaux 1 S.

#### 3.3 Détermination des points de fonctionnement

A 600 MeV il est spécifié <sup>2,5)</sup> :  $B_N(0,0,0) = 1,4 \times (1 \pm 0,01) \text{ T}$

Nous avons pris  $I_N = 528 \text{ A}$  soit  $B(0,0,0) = 1,4017 \text{ T}$ .

Après ajustements magnétiques nous avons pris  $\int Bdz$  comme référence pour déterminer les 3 courants correspondant aux 3 énergies mentionnées ci-dessous:

500 MeV :  $\int Bdz(0,0) = 0,65371 \text{ Tm}$ ;  $I = 434,88 \text{ A}$

600 MeV :  $\int Bdz(0,0) = 0,78448 \text{ Tm}$ ;  $I = 528 \text{ A}$

650 MeV :  $\int Bdz(0,0) = 0,84981 \text{ Tm}$ ;  $I = 582,63 \text{ A}$ .

#### 4. AJUSTEMENTS MAGNETIQUES DES AIMANTS

##### 4.1 Mesure d'un aimant "nu"

Sur le prototype nous avons mesuré à  $I_N = 529 \text{ A}$ .

	Mesure aimant "nu"	Spécification	Variation par rapport à la spécification
$B(0,0,0)$	1,4008 T	1,4 T	$6 \times 10^{-4}$
$G(0,0,0)$ *	-1.187 T/m	-1,12 T/m	6%
$S(0,0,0)$ **	1.8 T/m <sup>2</sup>	0	-
$\int_{-\infty}^{+\infty} B(0,0,z) dz$	0,7730 Tm	0,78444 Tm	-1,5%
$\ell$ bending ***	0,5518 m	0.5603 m	-8,5 mm
$\int_{-\infty}^{+\infty} G(0,0,z) dz$	-0,581 T	-0,5462 T	-6,4%
$\ell$ gradient	0,4895 m	0,4877	+1,8 mm
$\int_{-\infty}^{+\infty} S(0,0,z) dz$	-0,6 T/m	0	-0,6 T/m

$$G = \frac{dB}{dx} ; \int_{-\infty}^{+\infty} Gdz = \frac{d}{dx} \int_{-\infty}^{+\infty} Bdz$$

$$S = \frac{d^2B}{dx^2} ; \int_{-\infty}^{+\infty} Sdz = \frac{d^2}{dx^2} \int_{-\infty}^{+\infty} Bdz$$

Nota : \* La référence 6 expose les raisons de cet écart.

\*\* Ce sextupôle a été volontairement introduit dans le profil par le concepteur 6) pour compenser les effets de la saturation du fer au courant nominal.

\*\*\* Les aimants sont livrés avec une encoche au bout des pôles dans chaque plaque d'extrémité trop profonde de 5 mm pour permettre un ajustement plus commode des "shims".

La figure 2 montre l'erreur du champ intégré sur la longueur par rapport aux valeurs théoriques.

#### 4.2 Simulation de l'environnement magnétique

Nous avons simulé par des plaques de fer doux :

- Un quadripôle "ISR Terwilliger" côté opposé aux connexions
- Un quadripôle EPA type N côté connexions.

Ces plaques ont approximativement la forme des quadripôles mentionnés ci-dessus et leur position a respecté l'implantation des éléments dans l'anneau EPA.

Cette simulation "allonge" l'aimant de  $3,1 \times 10^{-4} \times \int Bdz$  pour  $-60 \leq X \leq +60$  mm par diminution des composantes négatives du champ de fuite au delà des têtes de bobines.

La figure 3 montre l'influence de ces plaques de fer.

Toutes les mesures du prototype et du No. 1 ont été faites avec les plaques de simulation installées.

L'ajustement de la série fut réalisé sans plaques de simulation mais en apportant la correction de  $3,1 \times 10^{-4}$  sur  $\int Bdz(X,0)$ .

#### 4.3 Ajustements magnétiques des aimants

Une encoche usinée dans les plaques d'extrémités permet d'installer 5 "shims", d'épaisseur variable, de chaque côté de l'aimant. La résolution de cet ajustement est de 0,35 mm soit environ  $2 \times 10^{-4} \times \int Bdz(0,0)$  au courant nominal.

La figure 4 donne les dimensions des plaquettes 7) de fer doux utilisées comme "shims" et la figure 5, la façon dont ils sont montés dans l'encoche de la plaque d'extrémité 7).

#### 4.1.1 Détermination de l'influence des shims en fonction de X

A partir d'un "shimming" de base de 5,65 mm dans les 5 positions nous avons installé successivement dans chacune des positions une plaquette de 1 mm de chaque côté de l'aimant et mesuré la distribution de  $\int Bdz$  en fonction de X dans chaque cas.

La figure 6 représente cette mesure pour les 5 "shims".

L'efficacité des plaquettes est de 65,8% à  $X = 0$  et  $I_N = 528$  A pour le "shim" central.

#### 4.1.2 Calcul des plaquettes à installer en fonction de $\int Bdz(X,0)$

A partir de la mesure précédente il est possible de déterminer les "shims" à installer en fonction de l'erreur de champ intégré sur la longueur qui a été mesurée.

Il suffit de résoudre le système :

$$\begin{bmatrix} \text{Effet des} \\ \text{shims} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Epaisseurs à} \\ \text{ajouter sur} \\ \text{les 5 shims} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Erreur de} \\ \text{champ} \\ \text{mesurée} \end{bmatrix} = 0$$

Comme nous n'avons que 5 positions X possibles, où l'on peut ajuster les "shims" nous ne pouvons ramener l'erreur de champ à 0 qu'en 5 positions X.

Pour éviter des oscillations trop importantes le "shimming" est calculé à deux jeux de positions X :

Jeu No. 1 : X = -60; -40; 0; 40; 60

Jeu No. 2 : X = 50; 20; 0; 20; 50

Une solution "douce" et qui converge assez vite consiste à faire la moyenne pondérée entre les deux en prenant le jeu No. 1 pour 2/3 et le jeu No. 2 pour 1/3.

Le programme fournit les 3 "shimmings" : avec le jeu No. 1, le No. 2 et celui déterminé à partir de la moyenne pondérée. Enfin, le programme présente le résultat que l'on peut espérer avec le shimming calculé à partir de la moyenne pondérée.

Grâce à ces informations, il est possible d'ajuster  $\int Bdz(X,0)$  à  $\pm 1,5 \times 10^{-4}$  pour  $60 \leq X \leq 60$  mm en 2 à 3 itérations.

## 5. MESURE DE L'AIMANT NO. 1 APRES AJUSTEMENTS MAGNETIQUES

### 5.1 Courbes de magnétisation

Le tableau 1 donne :

$$\int Bdz(0,0); B(0,0,0); Leq. = f(I)$$

$$\text{avec } Leq. = \frac{\int Bdz(0,0)}{B(0,0,0)}$$

La figure 7 représente la variation du coefficient de magnétisation en fonction du courant, ainsi que le degré de saturation de l'aimant aux 3 énergies : 500, 600 et 650 MeV.

### 5.2 Homogénéité du champ magnétique

#### 5.2.1 Homogénéité de $\int Bdz(X,0)$

L'ajustement magnétique est réalisé à 600 MeV soit  $I_N = 528A$ . La figure 8 montre l'erreur sur  $\int Bdz(X,0) = f(X)$  par rapport aux valeurs théoriques locales. La figure 9 représente l'erreur d'homogénéité aux 3 énergies :

$$Eps = \left[ \frac{\int Bdz(X,0) \cdot 600}{(0,78444 - 0,54622 \cdot X) \cdot En} - 1 \right] \cdot 100; \text{En} = 500, 600, 650 \text{ MeV.}$$

A titre indicatif, nous avons calculé les dérivées numériques de la figure 9. La figure 10 montre la variation du gradient du champ intégré sur la longueur en fonction de X aux 3 énergies. La figure 11 représente dans les mêmes conditions les valeurs numériques de la 2ème dérivée soit le "sextupôle" intégré sur la longueur (voir définitions au paragraphe 4.1).

Remarque : Les erreurs de mesure deviennent rapidement prépondérantes surtout pour le "sextupôle". Les valeurs de référence sont la moyenne des valeurs à gauche et à droite les plus proches du centre.

#### 5.2.2 Homogénéité de $B(X,0,0)$

Les points de fonctionnement ont été déterminés à partir des valeurs de  $\int Bdz(0,0)$ . Du fait de la différence de variation des coefficients de magnétisation entre  $\int Bdz$  et B (voir figure 7). Le champ  $B(0,0,0)$  n'est pas exactement adapté aux 3 énergies; mais on reste largement dans la plage de  $\pm 1\%$  spécifiée.

$$\text{Eps} = \left[ \frac{B(X,0,0) \cdot 600}{(1,4 - 1,12.X) E_n} - 1 \right] \cdot 100; E_n = 500, 600, \text{ et } 650 \text{ MeV.}$$

La figure 12 représente  $\text{Eps} = f(X)$

### 5.3 Centre magnétique longitudinal

Le but de cette mesure est de permettre, lors de l'installation, un positionnement précis du centre magnétique des aimants dans le sens longitudinal. Pour cela il faut faire coïncider le milieu de la distance entre les supports de mire Taylor Hobson avec le centre magnétique longitudinal. La mesure permet de définir une cale qui est montée côté opposé aux connexions de l'aimant. Celle-ci positionne longitudinalement le gabarit d'alignement qui sert aussi à fixer la position des supports de mire Taylor and Hobson utilisés pour l'alignement dans EPA.

La cale est usinée à l'épaisseur voulue pour chaque aimant et laissée à demeure sur celui-ci.

### 5.4 Cartes de champ

Nous avons effectué des cartes de champ à chacune des 3 énergies pour  $-750 \leq Z \leq 750 \text{ mm}$  et  $-115 \leq X \leq 50 \text{ mm}$ .

Dans le tableau ci-dessous on trouvera le nom des fichiers contenant les données pour les divers paramètres.

Coordonnées X mm	-115 -90 -70 -50 -40 -30	-20 -10 0 10 20	30 40 50
650 MeV	L00347	L00348	L00349
600 MeV	L00344	L00345	L00346
500 MeV	L00352	L00351	L00350

Ces fichiers peuvent être lus soit sur le système des mesures magnétiques dans le disque EPA TYPE I soit dans IBM-WYLBUR en utilisant :

USE \$ PZ.UCQ.LIB (Nom du fichier)

Dans WYLBUR on peut aussi obtenir les cartes de champs complètes directement en données formatées FORTRAN :

USE \$ PZ.UCQ.LIB (F500 MEV)

" (F600 MEV)

" (F650 MEV)

A titre d'exemple la figure 13 représente le fichier L00345 (600 MeV et  $-20 \leq X \leq 20$ ).

#### 5.4.1 Utilisation de demies cartes de champ

En général les programmes de simulation d'orbite de faisceau n'utilisent dans leurs calculs qu'un "demi-aimant" dans le sens longitudinal <sup>8)</sup> (de  $Z = 0$  à  $Z_{\max}$ ). Pour cela il est impératif de calculer :

$$B_{\text{moy}}(x, y, z) = \frac{B(x, y, +Z) + B(x, y, -Z)}{2}$$

En effet les erreurs de mesure et de positionnement peuvent entraîner des aberrations dans les calculs <sup>8)</sup> si on ne fait pas une telle moyenne.

#### 5.4.2 Intégration numérique des cartes de champ

Nous avons vérifié que l'écart relatif entre l'intégration numérique des cartes de champ de  $Z_{\min.}$  à  $Z_{\max.}$  et les mesures de  $\int_{-1\text{m}}^{+1\text{m}} Bdz$  par bobine longue restait inférieur à  $6 \times 10^{-4}$  aux 3 énergies et

pour  $-50 \leq x \leq +50$  mm.

On notera que cette vérification ne prend pas en compte les erreurs de symétrie entre  $+Z$  et  $-Z$  d'où l'importance du calcul de  $B_{\text{moy}}$  défini au paragraphe 5.4.1.

### 6. MESURE DE LA SERIE

Les 17 aimants (16 + 1 réserve) ont été ajustés au courant correspondant à l'énergie de 600 MeV.

Pour des raisons de commodité ces éléments furent mesurés sans simulation magnétique mais en appliquant le facteur correctif de  $3,1 \times 10^{-4}$  (voir paragraphe 4.2).

Les aimants 1, 2 et 17 furent re-mesurés au milieu de la série. La reproductibilité de la mesure, y compris l'installation et l'alignement, est meilleure que  $1 \pm 1,5 \times 10^{-4}$  de  $\int Bdz(X,0)$  pour  $-60 \leq X \leq 60$  mm.

#### 6.1 Moyenne des aimants

##### 6.1.1 Calcul de $\int Bdz(X,0)$ moyen

A l'aide des mesures de la série nous avons déterminé un aimant moyen

$$\int Bdz(0,0)_{\text{moy}} = \frac{1}{17} \sum_{i=1}^{i=17} \int Bdz(0,0)_i = 0,78445 \text{ Tm}$$

$$\epsilon(X,0)_i = \left( \frac{\int Bdz(X,0)_i}{0,78444 - 0,54622 \cdot X} - 1 \right) \times 100$$

$$\epsilon(X,0)_{\text{moy}} = \frac{1}{17} \sum_{i=1}^{i=17} \epsilon(X,0)_i$$

$$\sigma(X,0) = \sqrt{\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{i=17} \left( \epsilon(X,0)_i - \epsilon(X,0)_{\text{moy}} \right)^2}$$

La figure 14 représente l'erreur de champ par rapport au champ théorique en chaque point, ainsi que la variation d'un aimant à l'autre pour chaque coordonnée. Nous avons tracé la courbe à  $\pm 2.\sigma$  soit pour englober environ 95% des aimants.

On peut constater que les 3 courbes sont dans la zone de bon champ spécifiée.

#### 6.1.2 Calcul des $\int Gdz(X,0)$ moyen <sup>9)</sup>

Comme l'erreur résiduelle ne suit pas une courbe linéaire, la dérivée de l'aimant moyen ne correspond pas à la moyenne des dérivées sur chaque aimant.

Nous avons donc calculé  $\int Gdx(X,0) = f(X)$  pour chaque aimant, puis calculé le "quadripôle moyen" :

$$\int Gdz(0,0)_{\text{moy}} = \frac{1}{17} \sum_{i=1}^{i=17} \int Gdz(0,0)_i = -0,551 \text{ T}$$

$$\epsilon(X,0)_i = \left( \frac{\int Gdz(X,0)}{\int Gdz_{\text{réf.}}} - 1 \right) \times 100; \int Gdz_{\text{réf.}} = -0,54622 \text{ T}$$

$$\epsilon(X,0)_{\text{moy}} = \frac{1}{17} \sum_{i=1}^{17} \epsilon(X,0)_i$$

$$\sigma(X,0) = \sqrt{\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{17} \left( \epsilon(X,0)_i - \epsilon(X,0)_{\text{moy}} \right)^2}$$

La figure 15 représente la statistique des coefficients quadripolaires aux positions x et pour les 17 aimants. On peut constater que  $\int Gdz$  moy varie de  $\pm 1\%$  en fonction de X et que pour une coordonnée X donnée  $\int Gdz(X,0)$  varie de  $\pm 0,6\%$  d'un aimant à l'autre.

Nota : Les variations sur  $\int Gdz(X,0)$  incluent les erreurs de mesure sur  $\int Bdz$ . L'incertitude de  $\pm 1,5 \times 10^{-4}$  de  $\int Bdz$  sur deux mesures distantes de 1 cm entraîne une incertitude de  $\pm 2,2\%$  sur  $\int Gdz$ .

## 6.2 Tableau récapitulatif

Paramètres	500 MeV	600 MeV		650 MeV
		Valeurs mesurées	Ecart/la spécif.	
B(0,0,0) (T)	1,1614	1,4017	0,12%	1,5246
G(0,0,0) (T/m)	-0,9912	-1,187	6%	-1,2717
S(0,0,0) (T/m <sup>2</sup> )	+1,8	+1,7	-	+1,4
$\int Bdz(0,0)$ (Tm)	0,65371	0,78448	0,005%	0,84981
$\int Gdz(0,0)$ (T)	-0,4625	-0,5478	0,3%	-0,5803
$\int Sdz(0,0)$ (T/m)	0,1 $\pm$ 1	-0,3 $\pm$ 1	$\pm$ 1	-0,7 $\pm$ 1
Leq. dipôle (m)	0,5629	0,5597	-0,6 mm	0,5574
Leq. quad. (m)	0,4666	0,4615	-25 mm	0,4563
$K = \frac{1}{\text{gap}} \times \int \left( \frac{B(B_0 - B)}{B_0^2} \right) dz$	0,557	0,577	-	0,593
$\int Bdz_{\text{moy}}(0,0)$ (Tm)	-	0,78445	0,001%	-
$\int Gdz_{\text{moy}}(0,0)$ (T)	-	-0,551	0,88%	-
$\epsilon_{\text{moy}}$ à $-50 \leq X \leq 50$ mm	-	$\pm 1 \times 10^{-4}$	0	-
I (A)	434,88	528	-	582,63

Ces valeurs ont été mesurées sur l'aimant No. 1 sauf  $\int Bdz_{\text{moy}}(0,0)$ ,  $\int Gdz_{\text{moy}}(0,0)$  et  $\epsilon_{\text{moy}}$  qui correspondent à la moyenne de tous les aimants comme défini au paragraphe précédent.

## 7. CONCLUSION

A l'énergie de 600 MeV la zone de "bon champ" spécifiée est obtenue pour tous les aimants (voir figure 14). En raison des effets de saturation du fer, on observe une dégradation des qualités des champs magnétiques aux énergies de 500 et 650 MeV (voir figure 9).

Suite à la variation du gradient local intégré sur la longueur il est possible que, suivant l'orbite fermée du faisceau, la focalisation de l'aimant EPA varie d'environ  $\pm 1\%$  (voir figure 15). Ces variations, difficiles à dissocier des erreurs de mesure, sont dues à l'effet local des plaquettes, utilisées pour le "shimming" et à de légères déformations des plaques d'extrémité au niveau de ces shims. Cela pourrait représenter une limitation à l'utilisation de cette technique lorsque l'on veut ajuster des aimants à fonctions combinées. On notera cependant qu'une variation de 1% du gradient sur 1 cm provient d'une variation de  $7 \times 10^{-5}$  du champ ce qui reste 3 fois plus faible que la variation tolérée sur  $\int B dz(X,0)$ .

## REFERENCES

1. Technical specification for the EPA dipole magnets of the LEP-Injector, PS/PSR/PB/Spec. 82-5 (Revised).
2. "Qualités de champ magnétique requise dans l'aimant de courbure EPA", J.P. Delahaye, PS/LPI/Note 82-15.
3. Aimant principal EPA : Proposition pour la mesure magnétique de l'aimant prototype", G. Suberlucq, PS/PSR/Note 83-11.
4. "Mesure magnétique du dipôle EPA type II", G. Suberlucq, PS/PSR/Note 85-7.
5. "Particle tracking in the EPA bending magnet", M. Bell et J.P. Delahaye, PS/LPI/Note 83-9, Table 1 correction du 15.6.1984.
6. "Premières comparaisons entre les mesures magnétiques effectuées sur le prototype de l'aimant de courbure EPA et les programmes de calcul de cet aimant", D. Cornuet, PS/PSR/Note 84-20.
7. Ph. Cartier, communications privées.
8. M. Bell, H. Kugler, communications privées.
9. Y. Baconnier, communications privées.

## Distribution :

Membres de la section MA du groupe PSR  
Y. Baconnier  
M. Bell  
J.P. Delahaye

A. Krusche  
H. Kugler  
J.H.B. Madsen  
A. Riche

4 ALIGNMENT REFERENCE SURFACES

BRACKET FOR VACUUM CHAMBER (FITTED AT CERN)

PROTECTIVE COVER

MAGNETIC CIRCUIT EPA\_7ME\_DHZO\_0151\_1 A

COIL EPA\_7ME\_DHZO\_1504\_1 A

MASS OF STEEL 1,4 T  
 MASS OF COIL 0,3 T  
 MISCELLANEOUS 0,1 T  
 MAGNET MASS ~1,8 T

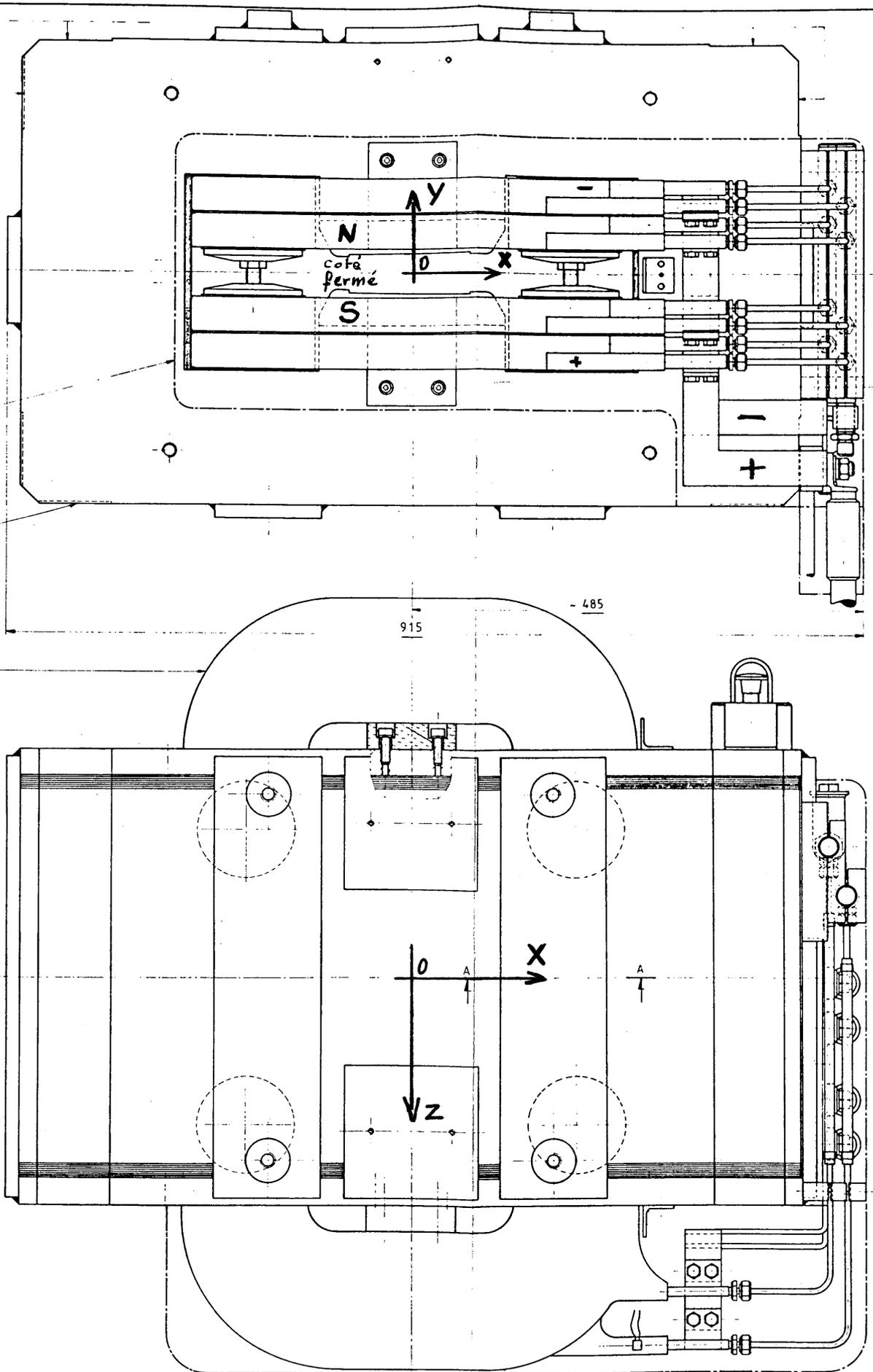


FIGURE 1.

EPA - DIPOLE MAGNET		Scale	1:2	Author	GERTY	Date	10.07.83
GENERAL ASSEMBLY		Number		Checked		Drawn	11.6.83
ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH CERN LAB CH-1211 GENEVE 23							
EPA_7ME_DHZO_0153_0 A							

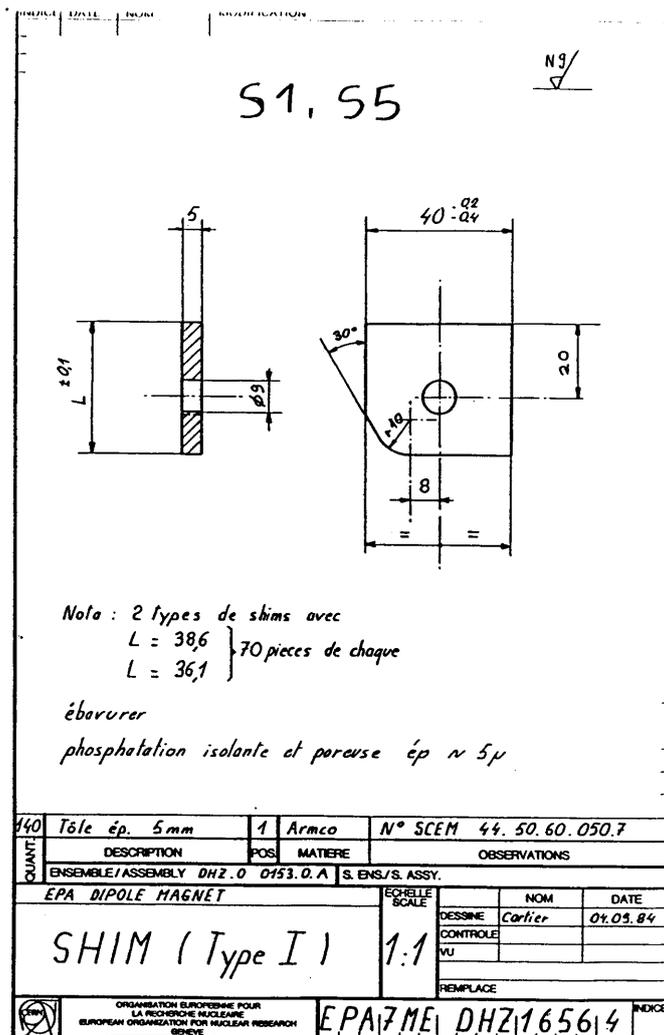
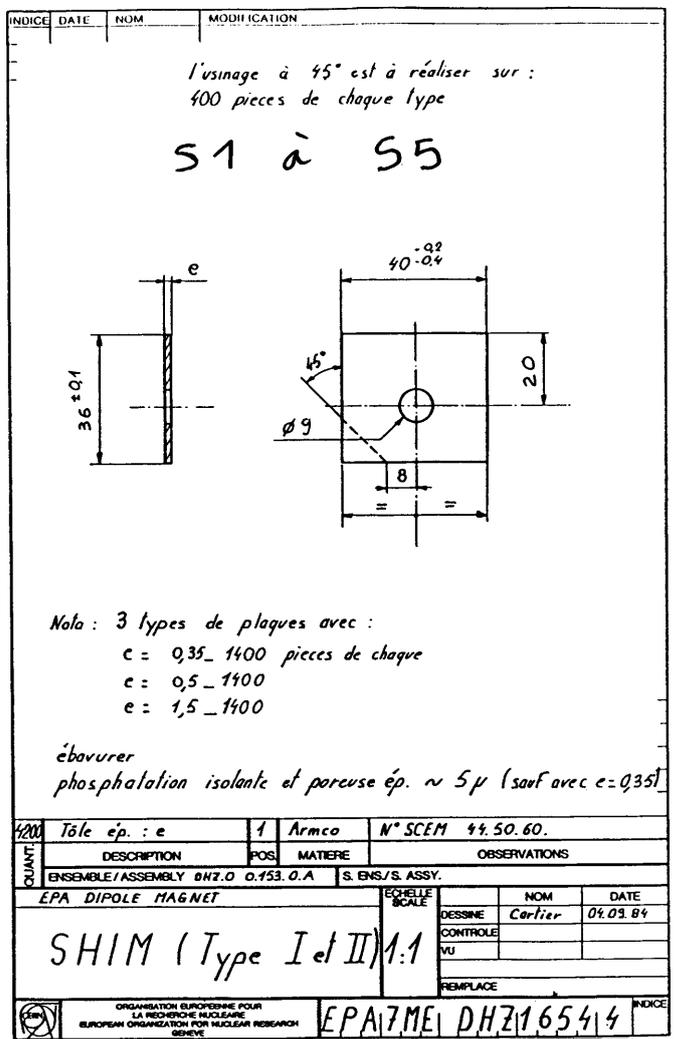
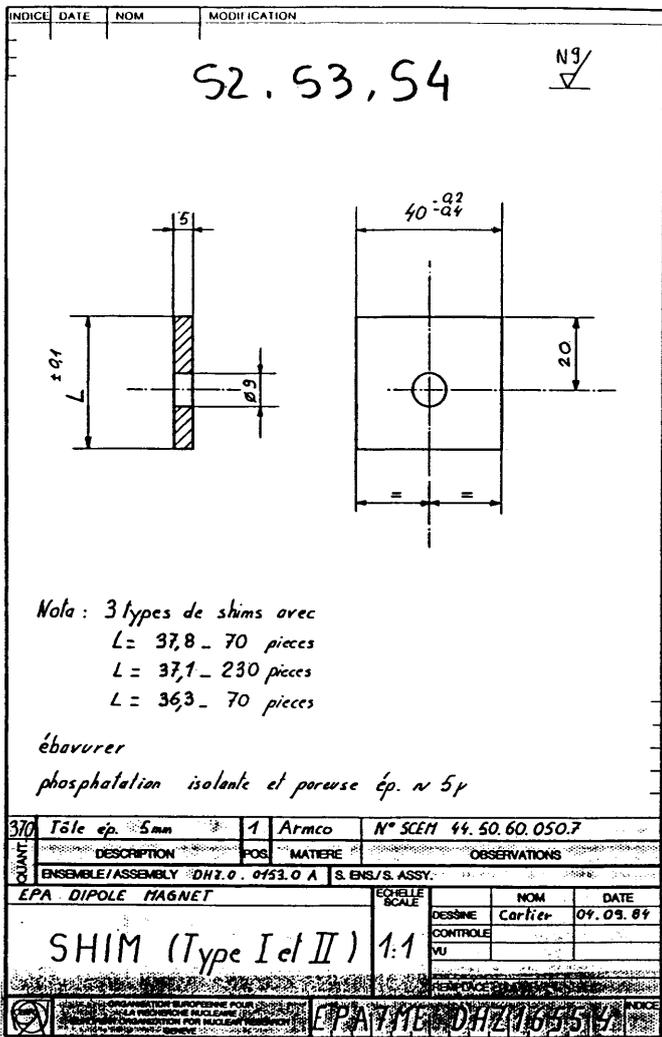
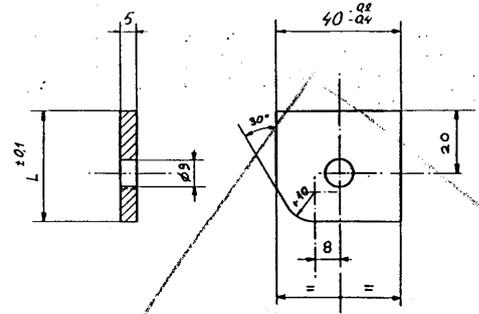


FIGURE 4.

PROJET	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------



Nota : 2 types de shims avec  
 L = 386 } 70 pieces de chaque  
 L = 361 }

ébarbér  
 phosphatation isolante et poreuse ép v 5µ

DESIGN, PLUGGENTE, TOLERANCES  
 SELON NORMES ISO  
 DRAWING, PLUGGENT, TOLERANCES  
 ACCORDING TO ISO STANDARDS

Professeur, responsable  
 First author responsible

On dessin et sur tout autre support, il est sous réserve de modifications sans notification écrite.  
 On drawing and on any other support, it is under reservation of changes without written notification.

440	Tôle ép. 5mm	1	Armco	N° SCEM 44. 50.60.050.7
DESCRIPTION	POS	MATIERE	OBSERVATIONS	
ENSEMBLE / ASSEMBLY DHZ.0	0153.0.A	S. ENS/S. ASSY.		
EPA DIPOLE MAGNET				
SHIM (Type I)		1:1	DESIGNE	NOM
			Cartier	DATE
			01.03.84	
			REPLACE	
ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH GENEVE			EPA7ME DHZ165614	

FIGURE 5.

14/Ø1/85  
DIPOLE EPA  
TYPE 1



ENTREFER [mm]

S5

S4

S3

S2

S1

Shims avec  $L = 36$   
et  $e = 0,35 ; 0,5 ; 1,5$

Shims avec  $e = 5$   
et  $L = 38,6 ; 37,8 ; 37,1$   
 $36,3 ; 36,1$



80

60

40

20

0

-120

-80

-40

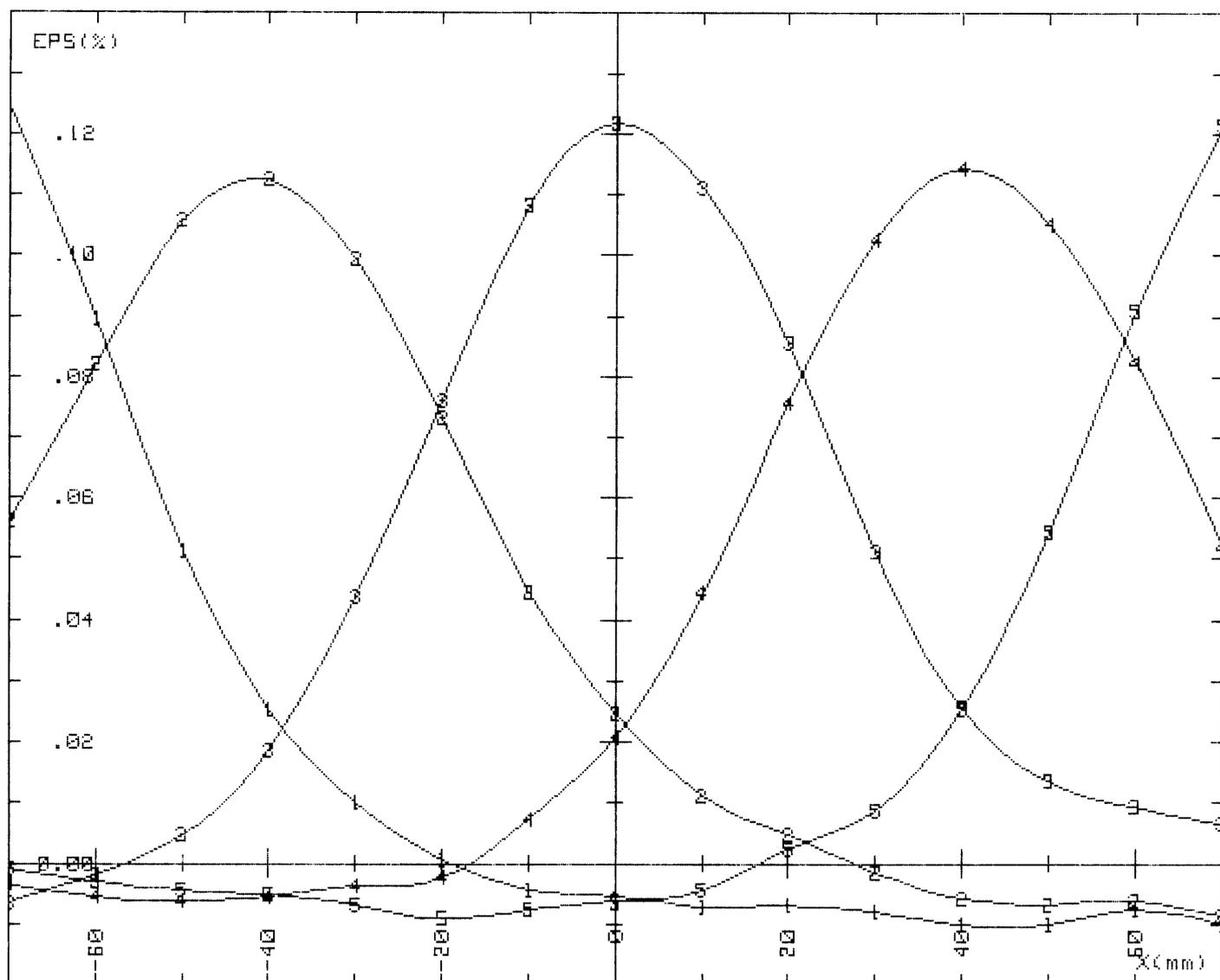
0

40

80

120

[ X mm ]



EPA TYPE-I No2 : DETERMINATION DU POIDS DES SHIMS 21/08/1985  
 $fBdz(0,0) = .784522 Tm$  à  $I = 528 A$  &  $5.3+.35$  mm de shims partout  
 COURBE 1 : 2\*1mm sur shim S5 (cote -X)  
 COURBE 2 : 2\*1mm sur shim S4  
 COURBE 3 : 2\*1mm sur shim S3  
 COURBE 4 : 2\*1mm sur shim S2  
 COURBE 5 : 2\*1mm sur shim S1 (cote +X)

DIPOLE PRINCIPAL EPA TYPE I No 2  
 DETERMINATION DU POIDS DES SHIMS : 5.3+.35 mm PARTOUT  
 2\*1 mm sur shim S1,S2,S3,S4,S5

COURANT CONTINU ; MANUEL ; DIPOLES ; HOMOG.(X,Y)  
 MESURE INTEGREE ; BOB. BL3 ; HP 2401C ; ATTENUATION NON  
 TENSION ; HP 3490 ; ;

Traitement des fichiers : H00801,H00802,H00803,H00804,H00805,H00806

Nom du fichier : H00807 disque EPA TYPE I

FIGURE : 6.