

PS/OP/Note 87-19  
PS/PSR/Note 87-10  
30 mai 1987

**LES SEMI-QUADRIPOLES D'ACOL**

L. Rinolfi, G. Suberluq

## **SOMMAIRE**

- I      Introduction**
  - II     Caractéristiques magnétiques**
  - III    Construction**
  - IV    Mesures magnétiques**
- Remerciements**
- Références**

## I INTRODUCTION

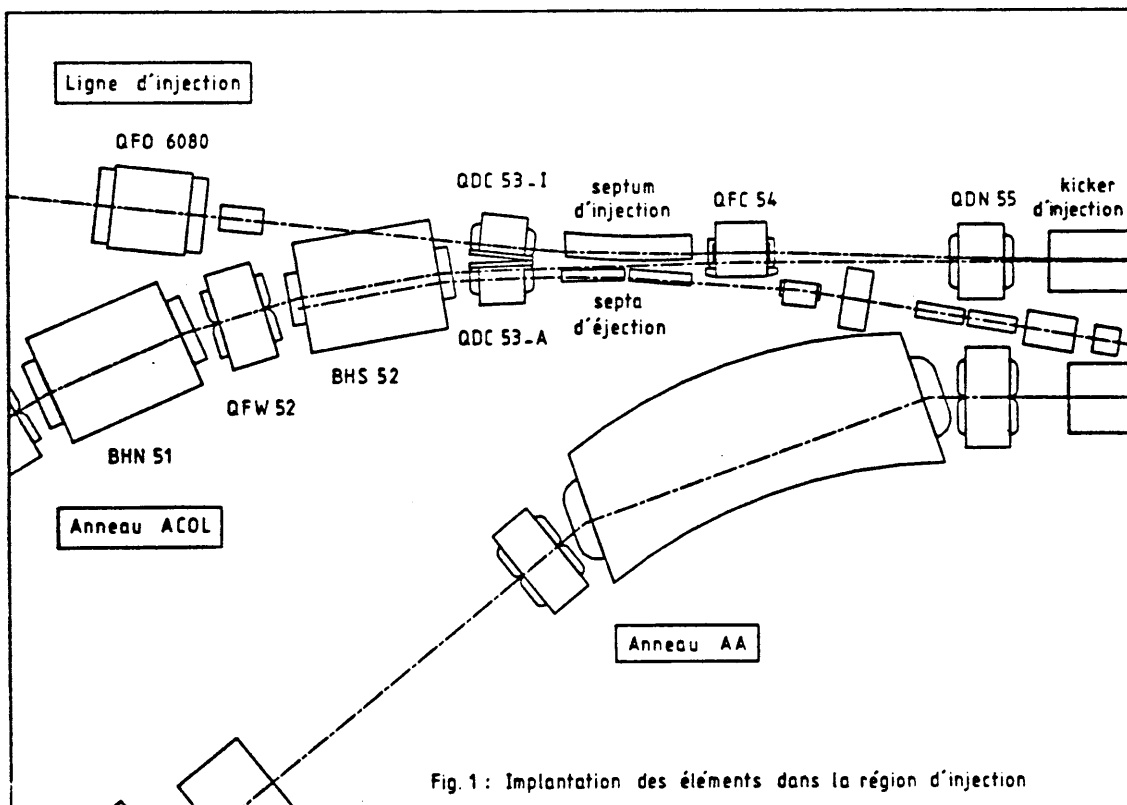
Le nouvel anneau AC (Antiproton Collector) est en cours d'installation dans l'actuel hall de l'Accumulateur d'Antiprotons (AA). L'espace restant disponible entre la machine AA et les murs nous a conduit vers des contraintes d'espacement entre les éléments magnétiques et particulièrement dans la région d'injection.

Afin de résoudre les problèmes posés par cette configuration, des aimants spéciaux ont été conçus :

- a) un dipôle <sup>1</sup> [BHS52], lequel, outre sa fonction classique pour le faisceau circulant, possède un trou dans sa culasse où passera le faisceau injecté;
- b) un semi-quadripôle <sup>2-3</sup> [QFC54], à fonctions combinées, de petites dimensions, de large ouverture, traversé par le faisceau circulant et le faisceau injecté;
- c) deux semi-quadripôles <sup>4</sup> [QDC53] où l'un est traversé par le faisceau incident et l'autre par le faisceau circulant et le faisceau éjecté.

On notera QDC53-A, le semi-quadripôle traversé par le faisceau circulant de l'anneau AC et QDC53-I, le semi-quadripôle traversé par le faisceau injecté de la ligne d'injection AC. L'ensemble des deux semi-quadripôles sera noté QDC53.

La figure No. 1 montre tous les aimants spéciaux dans la région d'injection ACOL. Cette note décrit les caractéristiques et les résultats obtenus pour le QDC53.



## II CARACTERISTIQUES MAGNETIQUES

L'anneau AC comporte 56 quadripôles divisés en 7 familles <sup>5</sup>

La famille QDN5 est composée de 8 quadripôles défocalisants, déplacés de 51,2 mm dans le plan horizontal afin d'obtenir un angle de déflexion de 18 mrad pour chacun d'entre eux.

Le QDC53 appartient à cette famille. Cependant, pour l'adaptation de la ligne d'injection avec l'anneau, il était nécessaire d'avoir un quadripôle défocalisant près du QDC53. Or, le faisceau injecté et le faisceau circulant ne sont séparés que par 200 mm à cet endroit, ce qui interdit l'installation de deux aimants distincts. Nous avons donc été amené à prendre un aimant de la famille QDN5 et le partager en deux parties égales fermées par des pôles neutres.

Cette opération n'a pu se réaliser qu'après s'être assuré des conditions suivantes :

- 1) le semi-quadripôle QDC53-A devra avoir les mêmes caractéristiques magnétiques que les quadripôles de la famille QDN5;
- 2) le pôle neutre ne perturbera pas les zones où passe le faisceau;
- 3) l'adaptation de la ligne d'injection devra être toujours réalisable en ayant un aimant en bout de ligne, où tous les paramètres magnétiques sont figés (gradient, courant, angle de déflexion);
- 4) le faisceau éjecté traversant le QDC53-A, l'ouverture définie pour les aimants QDN5 devra permettre le passage du faisceau éjecté;
- 5) le processus d'extraction devra être réalisable en prenant en ligne de compte la déflexion horizontale du faisceau éjecté passant dans le QDC53-A.

### II-1 Paramètres magnétiques

Le tableau 1 indique les principaux paramètres magnétiques pour les aimants de la famille QDN5 et qui seront ceux du QDC53.

On trouvera en annexe les définitions des lettres et symboles utilisés.

$K$	$= 0,47535 \text{ m}^{-2}$
$g$	$= 5,668 \text{ T/m}$ (à 3,5 GeV/c et à $x=0$ )
$l_{\text{eff}}$	$= 0,738 \text{ m}$ à $x = 0$
$K.l$	$= 0,3508 \text{ m}^{-1}$
$\int_{-\infty}^{+\infty} g \, dz$	$= 4.1836 \text{ T}$
$\frac{K'}{K}$	$= 0$
$\varphi$	$= 0,018 \text{ rad}$ (faisceau non centré dans le quadripôle)
$x_0$	$= 51,2 \text{ mm}$
$N$	$= 15 \text{ spires}$
$I_0$	$= 1851,3 \text{ A}$

Tableau 1

## II-2 Zones de bon champ

Les valeurs de  $\beta_{H,V}$  étant très proches dans les deux semi-quadripôles, les enveloppes de faisceaux<sup>6</sup> (circulant et injecté) sont quasiment identiques.

Les zones de bon champ sont définies comme suit :

$$\left| \frac{\Delta G}{G_0} \right| < 10^{-3}$$

$$x_{\min} < x < x_{\max}$$

$$y_{\min} < y < y_{\max}$$

où  $x, y$  sont les dimensions (en mm) d'un faisceau d'émittance  $240 \pi \text{ mm.mrad}$  autour de l'orbite d'équilibre respectivement pour le plan horizontal et vertical

<u>Plan horizontal</u> Dimensions en mm	faisceau circulant	
	centre aimant	entrée/sortie aimant
$x_+$ (à $\Delta p/p = +3\%$ )	-19,6	-18,2
$x_0$ (à $\Delta p/p = 0\%$ )	-51,2	-52,5
$x_-$ (à $\Delta p/p = -3\%$ )	-83,3	-85,8

	faisceau éjecté	
	centre aimant	entrée/sortie aimant
$x_+$ (à $\Delta p/p = +0.25\%$ )	-89,8	-92,3
$x_0$ (à $\Delta p/p = 0\%$ )	-99,3	-102,1
$x_-$ (à $\Delta p/p = -2,5\%$ )	-108,9	-112

<u>Plan vertical</u>	faisceau circulant	
	centre aimant	entrée/sortie aimant
y/2	48,3	47,2
	faisceau éjecté	
	centre aimant	entrée/sortie aimant
y/2	15,3	15,2

Bien que les valeurs de  $\beta_v$  ne soient pas rigoureusement identiques pour  $\Delta p/p = \pm 3\%$ , on a considéré la valeur de la demi-hauteur la plus grande.

Les zones de bon champ spécifiées forment un rectangle dont les dimensions sont données dans le tableau 2 :

	plan horizontal	plan vertical
QDC53-A	-18 à -112 mm	+ 48 mm - 48 mm
QDC53-I	-18 à -86 mm	+ 48 mm - 48 mm

Tableau 2

### II-3 Effets de la saturation et des pôles neutres

Tous les quadripôles de l'anneau AC sont traversés par le même courant  $I_0$  provenant d'une seule alimentation de puissance. Ce courant a été déterminé en faisant la moyenne des gradients désirés pour tous les QN (3 familles). Pour la famille QDNS, l'ajustement du gradient intégré devra se faire à l'aide de plaquettes en bout de pôles afin d'obtenir la valeur théorique requise, compte tenu de la saturation<sup>7</sup>. Pour le QDC53, à ceci viendra s'ajouter les perturbations créées par les pôles neutres.

Cependant, des calculs à 2 et à 3 dimensions ont montré que la distribution du gradient aux endroits où passent les faisceaux n'était pas modifiée par la présence des pôles neutres si ceux-ci avaient 85 mm d'épaisseur. Chaque pôle neutre a été réalisé avec une épaisseur de 90 mm. Quant aux calculs de saturation, ils ont montré qu'il fallait allonger le pôle, qui a 607 mm de longueur, par 30 mm à chaque extrémité pour un courant de 1882 A.

Finalement, le courant nominal est passé à 1851 A et les mesures expérimentales ont conduit à rajouter 25 mm à chaque extrémité pour le QDC53-I et 22,5 mm pour le QDC53-A, afin d'obtenir le gradient intégré nominal dans toutes les zones de bon champ.

### II-4 Déflexion des différents faisceaux

Sur la figure No. 2, on a porté les axes des différents faisceaux avec leur offset respectif par rapport à l'axe mécanique (face interne des pôles neutres) des semi-quadripôles.

Pour des raisons de symétrie, on a imposé la même déflexion au faisceau injecté et au faisceau circulant.

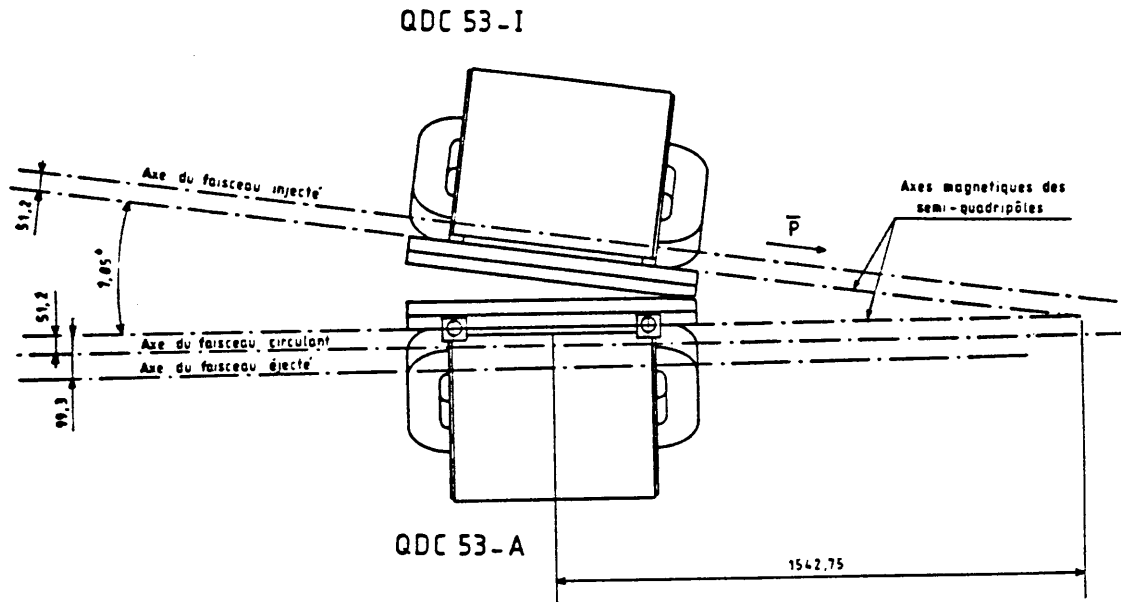


Fig 2 : Faisceaux injecté, éjecté et circulant dans le QDC 53

Le tableau 3 résume les caractéristiques imposées aux 3 faisceaux :

Position centrale du faisceau injecté	$X_0 = +51.2 \text{ mm}$
Position centrale du faisceau circulant	$X_0 = -51.2 \text{ mm}$
Position du faisceau éjecté	$-99.0 \text{ mm}$
Angle de déflexion du faisceau injecté et du faisceau circulant	$18 \text{ mrad}$
Angle de déflexion du faisceau éjecté	$34,8 \text{ mrad}$
+∞ faisceau circulant ∫ B.dz et -∞ faisceau injecté	$0,2142 \text{ T.m}$
+∞ ∫ B.dz faisceau éjecté -∞	$0,4145 \text{ T.m}$

Tableau 3

La géométrie finale de la ligne d'injection a imposé un angle de  $7,85^\circ$  entre les axes magnétiques des semi-quadrupôles.



### III CONSTRUCTION

#### III-1 Montage des deux semi-quadripôles

L'aimant, ayant été monté en usine comme un aimant normal de la famille QDN5, a été contrôlé et mesuré dans cet état. Ensuite, il a été partagé en deux. Chaque partie recevant un pôle neutre et 3 pieds soudés sous chacun des quadrants. Un pôle neutre est formé de deux plaques d'épaisseur 45 mm. Chaque semi-quadripôle a été monté sur une plaque commune en laissant 2 mm de jeu à l'endroit le plus rapproché des pôles neutres.

Un système mécanique "push-pull" a été réalisé afin d'obtenir mécaniquement l'angle de  $7,85^\circ$  entre les deux semi-quadripôles pesant chacun 2500 kg. Le contrôle s'effectuait à l'aide de piges de 10 mm de diamètre, fixées avec précision au sommet des pôles neutres.

La figure No. 3 montre l'ensemble QDC53.

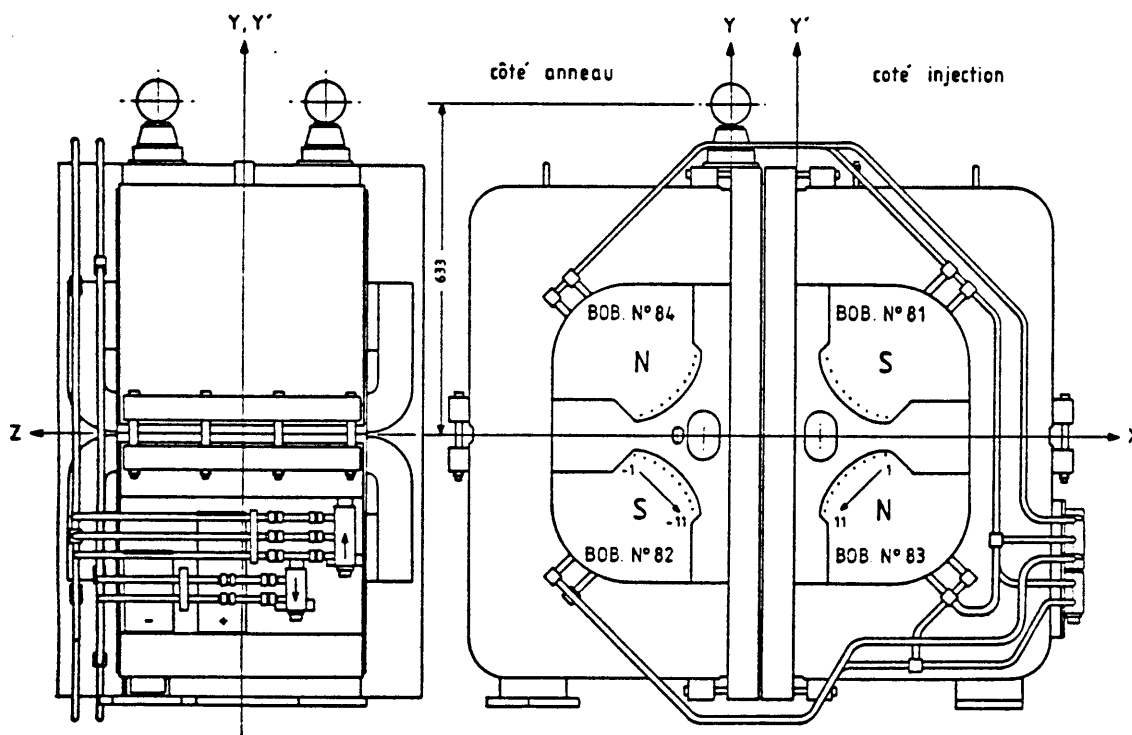


Fig. 3 : QDC 53 (15 spires)

#### III-2 Les mires d'alignement

Deux petites cales au-dessus de chaque quadrant permettent un contrôle latéral d'horizontalité. Deux grandes mires fixées sur le pôle neutre du QDC53-A de telle sorte que leur axe soit confondu avec celui de l'axe mécanique du semi-quadripôle (face interne du pôle neutre) permettront l'alignement de cet ensemble dans le réseau de la machine.

Un gabarit d'alignement spécial a été réalisé afin de positionner le QDC53-A conforme à la géométrie du réseau et le QDC53-I par rapport au QDC53-A.

Il avait trois points d'appui. Deux portaient sur le shim d'extrémité du pôle (partie horizontale) et un portait sur une barrette fixée contre le pôle neutre.

Afin de fixer les barrettes sur chacun des pôles neutres, ceux-ci ont été percés pour recevoir deux vis de fixation et deux goupilles de guidage. Outre ces derniers trous dans les pôles neutres, il y avait aussi des trous pour tenir les deux plaques formant le pôle neutre au niveau du plan médian.

### III-3 Alignements obtenus

Compte tenu des défauts inhérents à tout système mécanique similaire l'alignement final obtenu est donné dans le tableau 4.

Inclinaisons	QDC53-A (mrad)	QDC53-I (mrad)
Inclinaison horizontale du plan médian	0	0
Inclinaison longitudinale du plan médian	0	0.3
Inclinaison verticale du pôle neutre		
Entrée $\bar{p}$ (côté non connexions)	0.14	1.4
Entrée $\bar{p}$ (côté connexions)	0	0.2
Ecart des pôles neutres entre QDC53-A et QDC53-I		
	Entrée $\bar{p}$ (mm)	Sortie $\bar{p}$ (mm)
Sommet	5.2	82,1
Milieu	4.06	81,0
Bas	5	81,4

Tableau 4

III-4 Principales caractéristiques

<u>Bobine (1 pôle)</u>		
Section	15 x 23	mm <sup>2</sup>
Diamètre du trou de refroidissement	6,5	mm
Surface conductrice	311,82	mm <sup>2</sup>
Densité de courant max	6,4	A/mm <sup>2</sup>
Nombre de spires	15	
Tension contre la masse (à 50 Hz)	7	kV
Tension interspires (à 100 Hz)	70	V
Longueur du cuivre	30,2	m
Puissance dissipée	5685	W
Résistivité mesurée du Cu	1,73 x 10 <sup>-2</sup>	Ω mm <sup>2</sup> /m
<u>Quadrant (1 pôle)</u>		
Longueur (sans les "end shims")	0,607	m
Épaisseur des tôles	1,5	mm
Épaisseur des plaques d'extrémité	45	mm
<u>Pôle neutre (1 semi-quadrupôle)</u>		
Longueur	0,850	m
Hauteur	1,110	m
Épaisseur	0,090	m
Perméabilité magnétique	5600	
<u>Ensemble ODC53</u>		
Résistance	7,7	mΩ
Inductance	4,2	mH
Masse totale	4990	kg
Débit d'eau nécessaire pour un Δt = 20°C	17	l/min
Vitesse d'écoulement	2,1	m/s
Δp nécessaire	3.10 <sup>5</sup>	Pa
Température de déclenchement des thermo-contacts	60°C ± 3°C	

Tableau 5

#### IV Mesures magnétiques

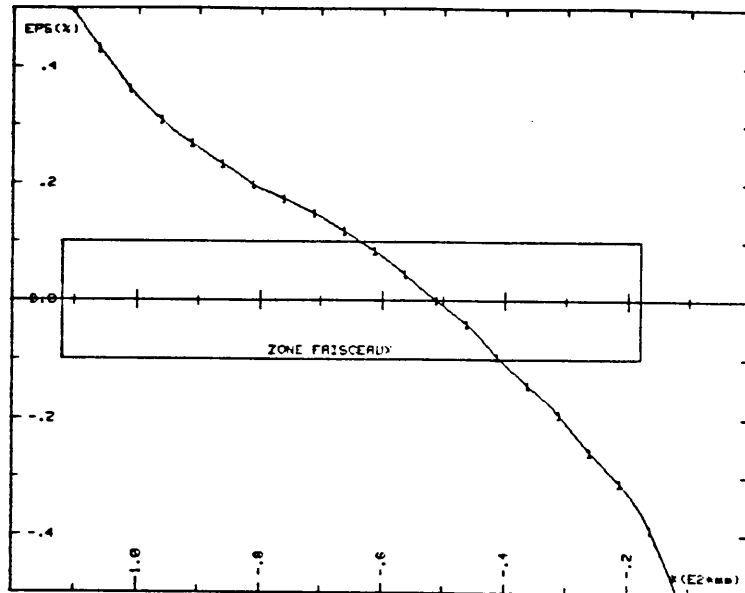
La figure No. 3 montre le système d'axes que nous avons utilisé. Nous avons supposé les axes Y et Y' confondus, c'est-à-dire les pôles neutres infiniment minces.

##### IV-1 Influence du partage en deux semi-quadripôles

Avant le partage, le QDC53 fut mesuré et shimé comme un aimant normal. Ensuite, après partage, il a été remesuré avec le même "shimming". La figure No. 4 montre l'effet de la partition. On peut en déduire :

- apparition d'un sextupôle au voisinage de l'axe du faisceau ACOL;  
 $S_0 = 0,35 \text{ T/m}$ ;  $K'/K = -0,084 \text{ m}^{-1}$ ;
- une réduction de 0,9% de  $G_0$  et de 0,72% pour  $g_0$ .

Nous avons donc réalisé un nouvel ajustement magnétique pour chaque semi-quadripôle.

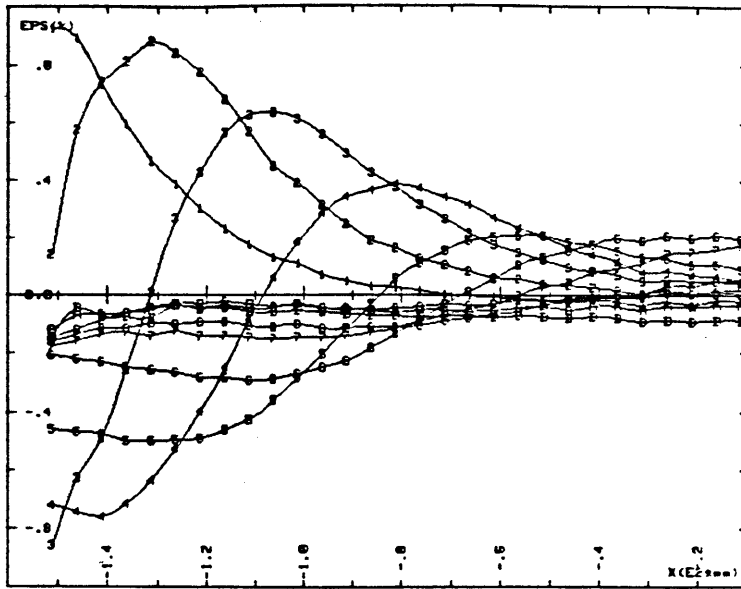


QDC53 : Mesure de l'homogénéité du gradient :  $f_{gdz}(X,0) = f(X)$  16/05/1986  
 $f_{gdz}(X_0,0) = -4,15841 \text{ T}$  à  $X_0 = -51,2 \text{ mm}$  &  $I = 1851,3 \text{ A}$   
 $EPS = (f_{gdz}(X,0)/f_{gdz}(0,0) - 1) * 100$

Figure 4

##### IV-2 Ajustements magnétiques

- a) Pour ajuster la répartition du gradient intégré sur la longueur dans la zone de bon champ, on dispose de rondelles venant se monter en bout des pôles, sur les "shims" d'extrémité. Ces rondelles sont en fer doux d'épaisseur 1,5 mm et de 20 mm de diamètre. La figure 3 montre la convention utilisé pour leur installation. L'efficacité d'un paquet de 5 rondelles dans chacune des positions possibles est montrée sur la figure 5 et le tableau 6.



QDC53-Anneau : mesure de l'efficacite des rondelles 16/85/1986

$f_{gz}(X_0, \theta) = -4.14426 T \quad \text{à} \quad I = 1851.3 A \quad \text{à} \quad X_0 = -51.2 \text{ mm}$   
 COURSE : 1 5 rondelles de chaque cote en position - 1  
 COURSE : 2 5 rondelles de chaque cote en position - 2  
 COURSE : 3 5 rondelles de chaque cote en position - 3  
 COURSE : 4 5 rondelles de chaque cote en position - 4  
 COURSE : 5 5 rondelles de chaque cote en position - 5  
 COURSE : 6 5 rondelles de chaque cote en position - 6  
 COURSE : 7 5 rondelles de chaque cote en position - 7  
 COURSE : 8 5 rondelles de chaque cote en position - 8  
 COURSE : 9 5 rondelles de chaque cote en position - 9  
 COURSE : A 5 rondelles de chaque cote en position -10  
 COURSE : B 5 rondelles de chaque cote en position -11

QUADRIPOLE SPECIAL ACOL : QDC53 famille des QDN5  
 END SHIMS = 2\*48.5mm : MESURE DE REFERENCE SANS RONDELLES  
 EPAISSEUR D'UNE RONDELLE : 1.5 mm

Figure 5

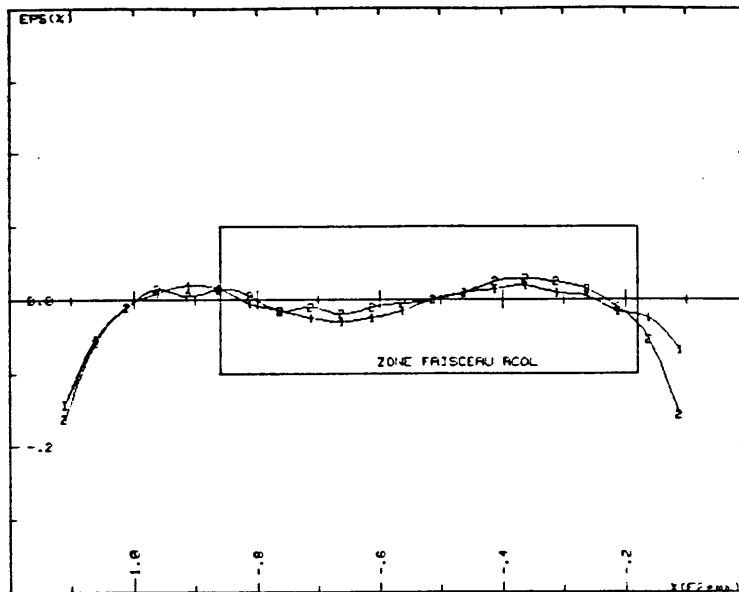
$f_{gz}(X_0, \theta) = -4.14426 T \quad \text{à} \quad I = 1851.3 A \quad \text{à} \quad X_0 = -51.2 \text{ mm}$

EFFICACITE D'UN PAQUET DE 5 RONDELLES MONTE DE CHAQUE COTE EN POSITION :

X	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
mm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
-151.2	.93	.14	-.06	-.72	-.46	-.21	-.18	-.16	-.15	-.12	-.15
-146.2	.90	.58	-.63	-.74	-.47	-.22	-.16	-.14	-.12	-.07	-.04
-141.2	.73	.74	-.45	-.76	-.46	-.23	-.14	-.11	-.09	-.07	-.08
-136.2	.55	.81	-.26	-.72	-.50	-.24	-.13	-.11	-.06	-.06	-.07
-131.2	.47	.88	.01	-.64	-.50	-.26	-.14	-.10	-.05	-.04	-.08
-126.2	.39	.84	.27	-.53	-.50	-.26	-.12	-.10	-.03	-.03	-.04
-121.2	.36	.78	.43	-.46	-.49	-.28	-.14	-.09	-.05	-.03	-.05
-116.2	.23	.68	.56	-.25	-.46	-.28	-.14	-.09	-.03	-.02	-.04
-111.2	.18	.57	.62	-.06	-.43	-.29	-.15	-.10	-.05	-.03	-.06
-106.2	.13	.45	.64	.06	-.36	-.29	-.15	-.11	-.05	-.04	-.06
-101.2	.11	.39	.61	.18	-.28	-.27	-.15	-.10	-.03	-.03	-.05
-96.2	.07	.31	.56	.28	-.20	-.25	-.15	-.12	-.05	-.04	-.06
-91.2	.05	.25	.49	.34	-.11	-.23	-.14	-.12	-.05	-.05	-.06
-86.2	.03	.19	.43	.37	-.03	-.18	-.13	-.11	-.05	-.05	-.07
-81.2	.03	.17	.38	.39	.06	-.13	-.11	-.11	-.05	-.06	-.07
-76.2	.02	.13	.32	.37	.11	-.08	-.09	-.10	-.04	-.05	-.07
-71.2	.01	.11	.27	.34	.16	-.03	-.07	-.09	-.03	-.05	-.07
-66.2	.00	.08	.22	.32	.19	.01	-.05	-.08	-.03	-.06	-.07
-61.2	-.01	.06	.18	.27	.20	.06	-.03	-.07	-.03	-.05	-.07
-56.2	-.01	.06	.15	.23	.21	.11	.00	-.05	-.02	-.04	-.07
-51.2	-.02	.04	.13	.21	.21	.14	.03	-.03	-.02	-.04	-.07
-46.2	-.02	.03	.10	.17	.19	.16	.05	-.02	-.01	-.05	-.08
-41.2	-.02	.03	.09	.14	.18	.18	.08	-.01	-.01	-.04	-.07
-36.2	-.02	.02	.07	.12	.16	.20	.10	.00	-.01	-.04	-.08
-31.2	-.03	.01	.05	.08	.13	.19	.11	.00	-.01	-.05	-.09
-26.2	-.02	.02	.05	.09	.13	.21	.15	.03	.01	-.04	-.09
-21.2	-.03	.01	.05	.07	.11	.20	.15	.03	.00	-.04	-.09
-16.2	-.02	.01	.05	.07	.11	.21	.16	.05	.02	-.03	-.09
-11.2	-.02	.01	.04	.05	.09	.20	.17	.04	.02	-.03	-.09

TABLERU No 6

- b) Pour ajuster le gradient intégré sur la longueur à la coordonnée de référence et au courant nominal, on dispose de plaquettes ayant la forme du pôle, d'épaisseur 0,65 mm et 1,5 mm, venant se monter derrière les shims d'extrémité. Nous avons déterminé qu'au courant nominal de 1851,3 A une variation de 1 mm d'épaisseur produisait une variation  $\Delta G = 3,5 \times 10^{-3}$  T.
- c) Les trous réalisés dans le pôle neutre pour installer le gabarit d'alignement (voir § III-2) furent bouchées pour éviter de dégrader la qualité du gradient intégré sur la longueur près des pôles neutres. La figure No. 6 montre l'influence de ces trous.

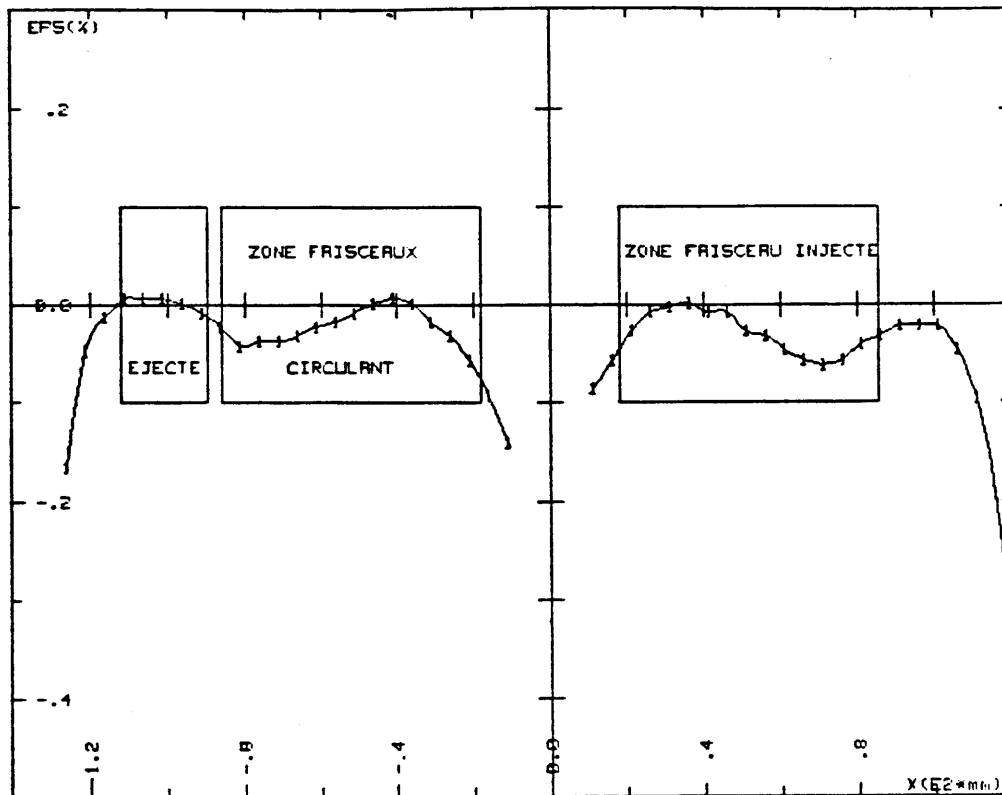


QDC53/anneau : Mesure de l'homogénéité :  $\int g dz(x, \theta) = f(x)$  21/65/1966  
 $EPS = (\int g dz(x, \theta) / \int g dz(x_{ref}, \theta) - 1) \times 100$  ;  $x_{ref} = -51.2$  mm  
 COURBE 1 : Trous têtes de vis bouchées ;  $\int g dz(x_{ref}, \theta) = -4.18954$  T à  $I = 1851.3$  A  
 COURBE 2 : Trous non bouchées ;  $\int g dz(x_{ref}, \theta) = -4.18949$  T à  $I = 1851.3$  A

Figure 6

#### IV-3 Mesure du gradient intégré sur la longueur

- a) La figure No. 7 représente l'homogénéité de  $G(x) = f(x)$  référée à la valeur théorique des quadripôles de la famille QDN5, pour les deux semi-quadripôles dans leur configuration définitive. Pour des raisons de commodité de représentation, sur ce graphique, nous avons supposé les deux pôles neutres superposés, infiniment minces et situés tous deux à la coordonnée  $x = 0$ .



QIC53 : Mesure de l'homogeneite :  $f_{gdz}(X,0) = f(X)$  17/02/1967

$f_{gdz}(X_0,0) = -4.1866 T$  à  $I = 1851.3 A$  &  $X_0 = 51.2 mm$  cote injection  
 $f_{gdz}(X_0,0) = -4.1874 T$  à  $I = 1851.3 A$  &  $X_0 = -51.2 mm$  cote anneau

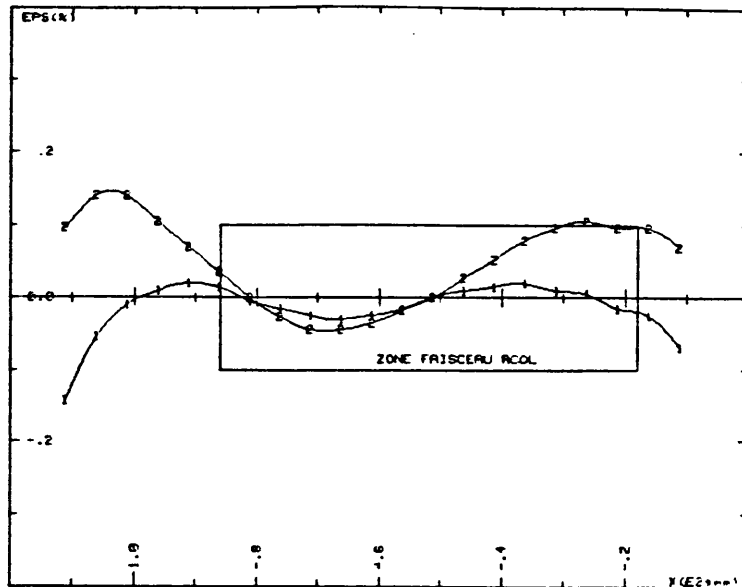
$EPS = \langle f_{gdz}(X,0) / f_{gdz\_ref} - 1 \rangle * 100$  avec  $f_{gdz\_ref} = -4.1877 T$  à  $X_0$

Figure 7

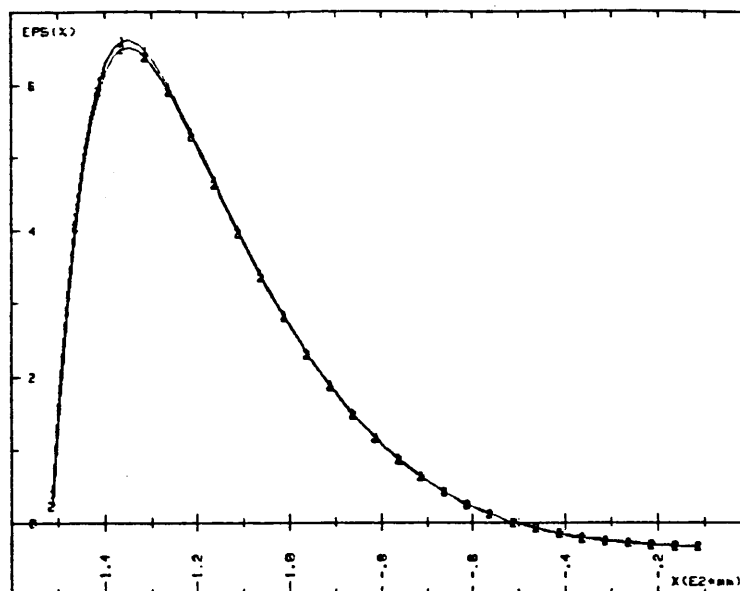
- b) La variation de  $G(x)$  reste comprise dans la zone de bon champ quand  $I$  varie de 1000 A à 1851,3 A (voir figure No. 8)

#### IV-4 Mesure du gradient au centre

La figure No. 9 montre la variation de  $g(x,0,0) = f(x)$ . On voit que l'effet de la saturation est négligeable entre 1000 A et 1851 A.



01C53/anneau : Mesure de l'homogenite :  $f_{gz}(X, \theta) = f(X)$  21/05/1966  
 $EPS = (f_{gz}(X, \theta) / f_{gz}(X_{ref}, \theta) - 1) \times 100$  ;  $X_{ref} = -51.2$  mm  
 COURBE 1 : Trous tetes de vis bouches ;  $f_{gz}(X_{ref}, \theta) = -4.18954$  T à  $I = 1851.3$  A  
 COURBE 2 : Trous tetes de vis bouches ;  $f_{gz}(X_{ref}, \theta) = -2.34994$  T à  $I = 1800.0$  A  
 Figure 8



02C53/anneau : Mesure de l'homogenite :  $g(X, \theta, \theta) = f(X)$  22/05/1966  
 COURBE 1 :  $g(X, \theta, \theta) = f(X)$  à  $I = 1800.0$  A ;  $g(X_0, \theta, \theta) = 3.1841$  T/m ;  $X_0 = -51.2$  mm  
 COURBE 2 :  $g(X, \theta, \theta) = f(X)$  à  $I = 1851.3$  A ;  $g(X_0, \theta, \theta) = 5.6295$  T/m ;  $X_0 = -51.2$  mm  
 $EPS = (g(X, \theta) / g(X_0, \theta) - 1) \times 100$

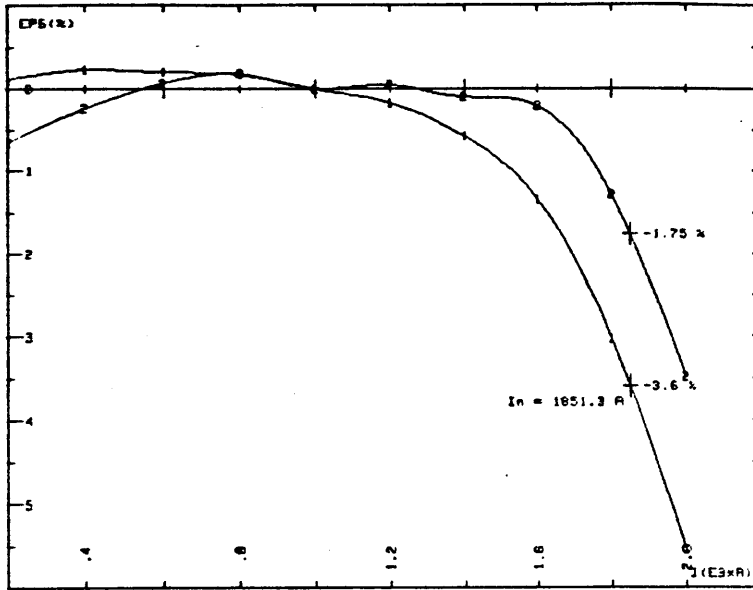
MESURE DE L'AIMANT APRES CORRECTION MAGNETIQUE

Figure 9



**IV-5 Courbes d'aimantation**

Le tableau 7 donne la variation en fonction de I. La figure No. 10 présente la variation des coefficients de magnétisation  $\alpha$  et  $\beta$  en fonction du courant.



$f_{gdz}=f(I) ; g=f(I) ; L_{eq}=f(I) \text{ à } x = -51.2 \text{ mm}$

COURANT A	$f_{gdz}$ T	$g$ T/m	Long. eq m
0.00	.00192	.00400	
200.00	.47189	.61855	.76290
400.00	.94302	1.23815	.76164
600.00	1.41314	1.86079	.75943
800.00	1.88292	2.48265	.75843
1000.00	2.34924	3.09677	.75861
1200.00	2.81406	3.71695	.75709
1400.00	3.26986	4.32974	.75521
1600.00	3.70752	4.94228	.75016
1800.00	4.09944	5.49997	.74536
2000.00	4.43602	5.97416	.74254

01C53 : Calcul des coefficients de magnétisation 16/02/1987  
 $x_0 = -51.2 \text{ mm} ; y_0 = 6 \text{ mm}$

COEFFICIENT DE MAGNETISATION :  $\beta = 0.00234732 \text{ T/A à } I = 1000 \text{ A}$   
 COEFFICIENT DE MAGNETISATION :  $K = 0.00309277 \text{ T/m/A à } I = 1000 \text{ A}$

TABLEAU No 7

COURBE 1 :  $f_{gdz} = 1+\beta \cdot (1+EPS/100) + f_{gdz\_remanent}$   $f_{gdz\_reman} = 1.92E-03 \text{ T}$   
 COURBE 2 :  $g = 1+K \cdot (1+EPS/100) + g\_remanent$   $g\_reman = 4.00E-03 \text{ T/m}$

Figure 10

**IV-6 Précisions des mesures de gradient**

Les principes et précisions des mesures sont décrits dans la référence 8. Rappel des incertitudes de mesure pour  $1500 \text{ A} < I < 2000 \text{ A}$ .

- Erreur relative sur la valeur absolue de :

$$G(x_0, 0, 0) : \epsilon_a \leq \pm 2 \times 10^{-3}$$

$$g(x_0, 0, 0) : \epsilon_a \leq \pm 2 \times 10^{-3}$$

$$I : \epsilon_a \leq \pm 3 \times 10^{-4}$$

- Erreur relative aléatoire de :

$$G(x, 0) : \epsilon_r \leq \pm 3 \times 10^{-4} \quad \text{dans la zone de bon champ}$$

$$g(x, 0) : \epsilon_r \leq \pm 5 \times 10^{-4} \quad \text{dans la zone de bon champ}$$

$$I : \epsilon_r \leq \pm 1 \times 10^{-4}$$

Nota : ces deux aimants sont semblables entre eux et à ceux de la famille de QDN5 à  $\pm 1 \times 10^{-3}$  près pour  $G(x)$  sur la zone de bon champ.

IV-7 Mesure des champs magnétiquesa) Calibration des bobines de mesure<sup>9</sup>

Pour l'étalonnage des bobines de mesure, nous avons utilisé un aimant "shimmé" de la famille des QFW6 : QFW40. Les mesures à champ sont faites en tournant la bobine de 180°, ce qui donne  $2 \int B \cdot dz$ .

Nous avons établi une table :  $x = f(\int B \cdot dz, I)$ , puis nous avons calé la bobine de mesure pour superposer l'axe magnétique de l'aimant, l'axe magnétique de la bobine de mesure et l'axe mécanique de notre système.

Après plusieurs démontages et remontages, nous avons obtenu une reproductibilité meilleure que  $\pm 0,03$  mm. La précision de l'alignement de l'aimant est de  $\pm 0,1$  m.

Pour la calibration de la valeur absolue du champ, nous avons considéré la mesure du gradient comme étant la référence. La position  $x_0$  (51,2 mm) est connue à  $\pm 0,5$  mm, soit une erreur inférieure à  $\pm 0,1\%$ . Nous avons déterminé une constante de la bobine à champ à  $\pm 0,1\%$  près par rapport à la mesure de gradient. De la même façon, nous avons calé la bobine de mesure à gradient pour faire confondre l'axe magnétique de la bobine avec l'axe mécanique de notre système à  $\pm 0,03$  mm.

b) Mesure des champs intégrés sur la longueur

Le champ nominal est :  $\int G \cdot dz (x_{ref}, 0) = \pm 0,21441$  Tm,

soit  $x_{ref} = 51,2$  mm pour QDC53-A et 51,2 mm pour QDC53-I.

A  $x_{ref}$ , nous avons obtenu :

QDC53-A	$\int B \cdot dz (x_{ref}, 0) = 0,21829$ T
QDC53-I	$\int B \cdot dz (x_{ref}, 0) = 0,21272$ T

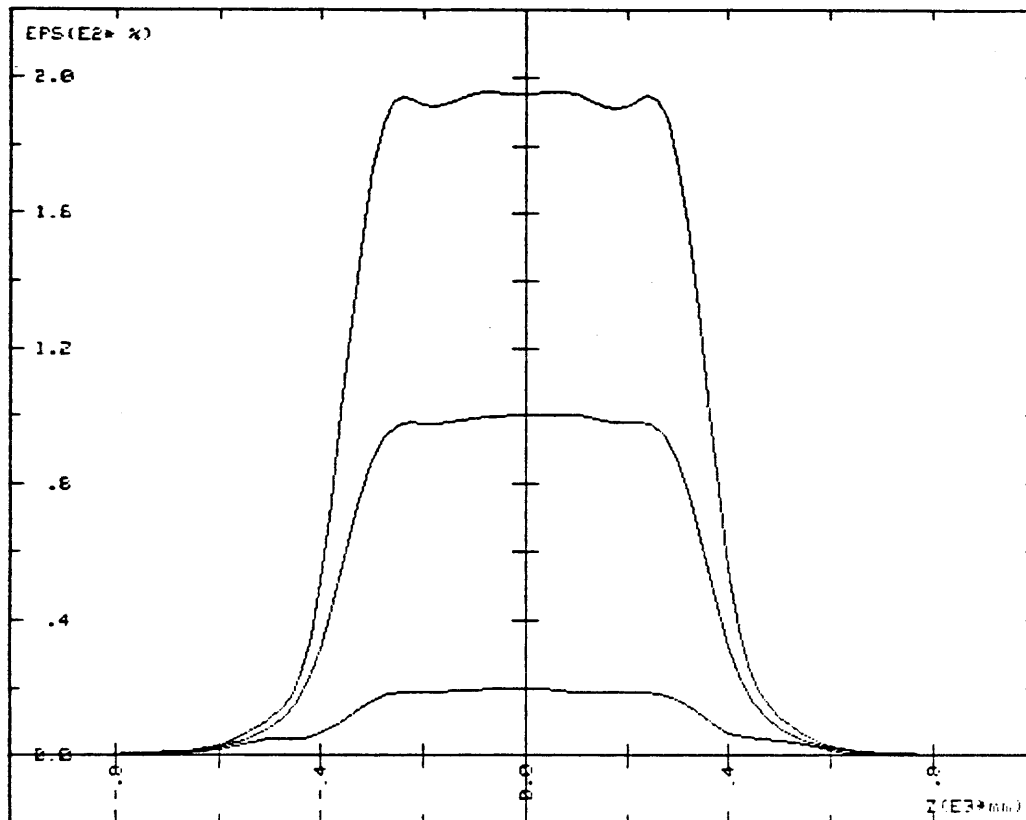
Soit côté anneau  $x_{mag} = -52,13$  et  $\Delta x = -0,94$  mm  $\pm 0,13$  mm

côté injection  $x_{mag} = 51,99$  et  $\Delta x = 0,79$  mm  $\pm 0,13$  mm

Les deux aimants ont été écartés parallèlement de 1,73 mm. Après remontage des deux aimants, nous avons retrouvé les mêmes valeurs de champ à mieux que 0,1% près. Comme c'est le semi-quadripôle anneau QDC53-A qui porte les mires d'alignement lors de l'installation, l'aimant sera décalé, de -0,94 mm.

## c) Carte de champ

A titre indicatif, la figure 11 représente la variation de  $B(x,0,z)$  en fonction de  $Z$  pour  $x = -100, -51,2$  et  $-10$  mm.



RCOL DIC53-A : mesure de  $B=F(Z)$

16/02/1987

Bref = 0.291 T à  $X_0 = -51.2$  mm ;  $Y = 0$  mm ;  $Z = 0$  mm ;  $I_n = 1851.3$  A

COURBE 1 :  $X = -100$  mm ;  $B(-100,0,0) = 0.568$  T

COURBE 1 :  $X = -51.2$  mm ;  $B(-51.2,0,0) = 0.291$  T

COURBE 3 :  $X = -10$  mm ;  $B(-10,0,0) = 0.058$  T

$$EPS = (B(X,0,Z)/Bref-1)*100$$

Figure 11

Remerciements

Nous remercions E. Jones et B. Autin pour les fructueuses discussions que nous avons eues. H.H. Umstätter nous a aidé pour les calculs magnétiques et M. Harold (RAL) a passé des programmes de calcul à 2 et 3 dimensions. B. Pincott et Guy Yvon ont réalisé la mécanique particulière à ces aimants ainsi que les contrôles géométriques et électriques. E. Chinchio et J.F. Delicourt ont réalisé les mesures magnétiques.

Références

1. J. Vlogaert, ACOL dipoles, CERN SPS/87-5.
2. G. Suberlucq, Mesure magnétique du semi-quadripôle d'ACOL : QFC54, PS/PSR/Note 87-3.
3. M. Battiaz, M. Harold, G. Suberlucq, H.H. Umstätter, A strong focusing bending magnet for the CERN antiproton collector, CERN/PS 87-22.
4. L. Rinolfi, Les semi-quadripôles QDC53 pour ACOL, PS/ACOL Note 39.
5. D. Cornuet, G. Suberlucq, Compte rendu de la réunion préliminaire concernant les mesures magnétiques ACOL du 5.4.1984, PS/PSR/Min. 84-10.
6. M. Martini, ACOL injected and ejected beam sizes deduced from a perturbation method based on "ORBIT" data, PS/ACOL/Note 28.
7. M. Harold, L. Rinolfi, H.H. Umstätter, Combined quadrupole-sextupole magnets for the CERN Antiproton Collector, CERN/PS/85-56 (AA).
8. E. Chinchio, G. Suberlucq, Mesures magnétiques des quadripôles ACOL : premiers résultats, PS/PSR/Note 85-20.
9. E. Chinchio, communication privée 13.2.87, centrage et calibration dans la bobine BL3 dans le quadripôle QFW40.

## ANNEXE

Définition des symboles utilisés

$$g(x) = \frac{\partial B_y}{\partial x} \quad ; \quad g_0 = g \text{ à } x = x_0 \quad (T/m)$$

$$G(x) = \frac{\partial \int_{-\infty}^{+\infty} B_y dz}{\partial x} \quad ; \quad G_0 = G \text{ à } x = x_0 \quad (T)$$

$$S(x) = \frac{\partial^2 \int_{-\infty}^{+\infty} B_y dz}{\partial x^2} \quad ; \quad S_0 = S \text{ à } x = x_0 \quad (T/m)$$

$$K = \frac{1}{B_0} \frac{\partial B_y}{\partial x} \quad (m^{-2}) \quad ; \quad K' = \frac{1}{B_0} \frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} \quad (m^{-3})$$

$$\frac{K'}{K} = \frac{S_0}{G_0} \quad (m^{-1})$$

$X_0 = -51,2$  mm pour le QDC53-A et  $X_0 = 51,2$  mm pour QDC53-I

Représentation du champ intégré sur la longueur dans la zone de bon champ :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} B_y dz = G_0 \cdot X + \frac{1}{2} S_0 X^2$$

Erreur de gradient dans l'entrefer

$$\epsilon(x) = \frac{G(x) - G_0 - S_0 \cdot X}{G_0} = \frac{\Delta G(x)}{G_0} - \frac{K'}{K} X$$

$$\text{ici } \frac{K'}{K} = 0 \quad ; \quad EPS(x) = \frac{\Delta G(x)}{G_0} \times 100$$

Représentation des effets de saturation

$$\alpha_{ref} = \frac{g_0 - g_{0 \text{ rémanent}}}{I_{ref} = 1000 \text{ A}} \quad ; \quad \beta_{ref} = \frac{G_0 - G_{0 \text{ rémanent}}}{I_{ref} = 1000 \text{ A}}$$

$$\alpha(I) = \frac{g_0(I) - g_{0 \text{ rémanent}}}{I} \quad ; \quad \beta(I) = \frac{G_0(I) - G_{0 \text{ rémanent}}}{I}$$

$$EPS_g = \left( \frac{\alpha(I)}{\alpha_{ref}} - 1 \right) \times 100 \quad ; \quad EPS_G = \left( \frac{\beta(I)}{\beta_{ref}} - 1 \right) \times 100$$

Distribution

B. Autin  
Y. Baconnier  
P. Bossard  
M. Bouthéon  
D. Cornuet  
E. Chinchio  
M. Harold (RAL)  
E. Jones  
B. Pincott  
T.R. Sherwood  
M. Tardy  
H.H. Umstätter  
G. Yvon

Distribution (of abstract)

Groupes OP, PSR et AA  
PS Scientific Staff

/ed