

## Note Technique

Mesure Magnétique des Quadripôles CLIC  
types I et II

R. Chritin, D. Cornuet, G. Patron, E. Scarset

### Table des Matières

1. Introduction
2. Contrôles électriques
3. Principe et Précision de Mesure
  - 3.1 Système de Coordonnées, Alignement et Polarités
  - 3.2 Alimentation en courant
  - 3.3 Principe de la mesure
    - 3.3.1 Gradient moyen intégré
    - 3.3.2 Axe magnétique
4. Mesures Magnétiques
  - 4.1 Magnétisation
  - 4.2 Gradient moyen intégré
  - 4.3 Homogénéité du gradient intégré
5. Conclusion

### **Distribution:**

Section SL/MS/PM

W. Coosemans/SL, M. Giesch/SL, W. Kalbreier/SL, H. Meyer/EST, R. Pittin/PS,  
I. Wilson/PS

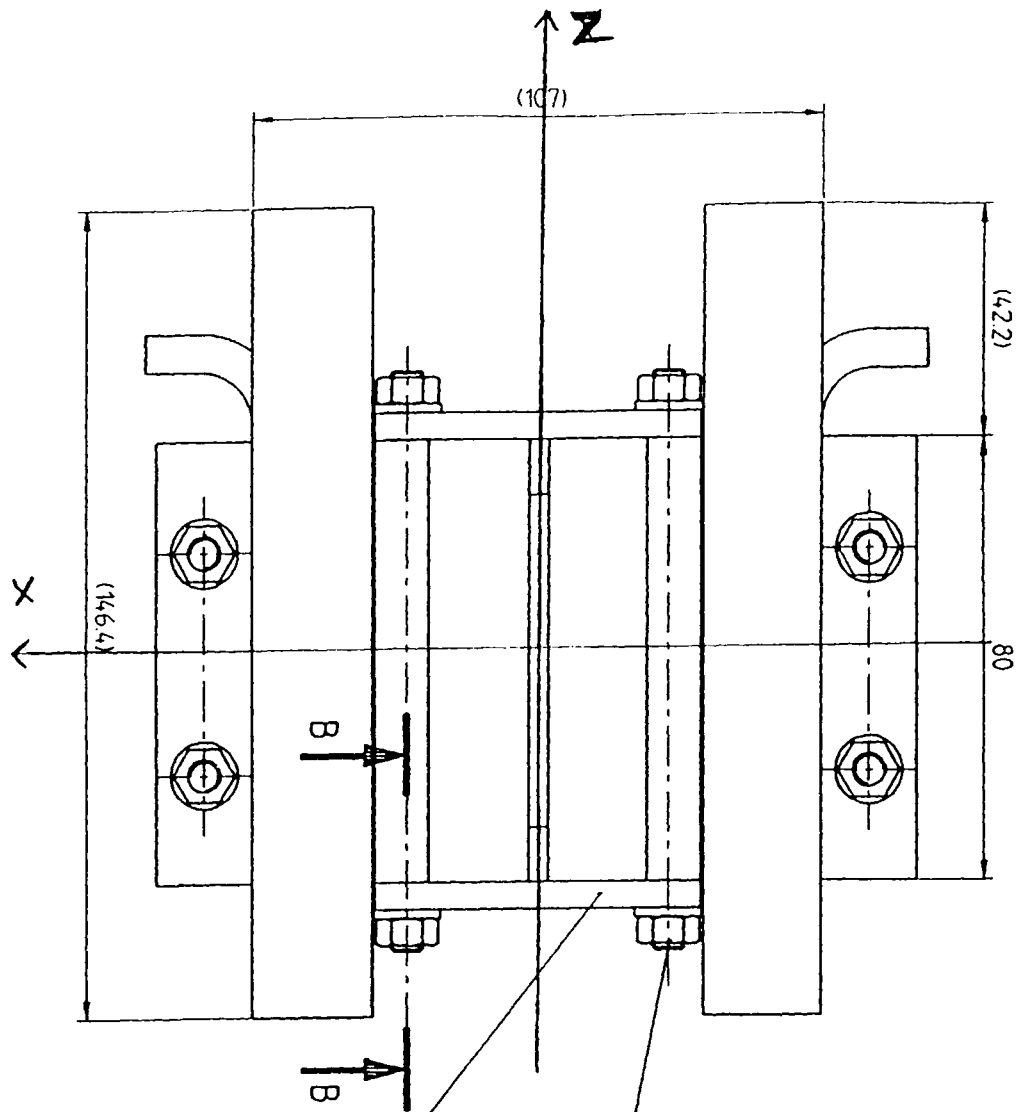


figure 1

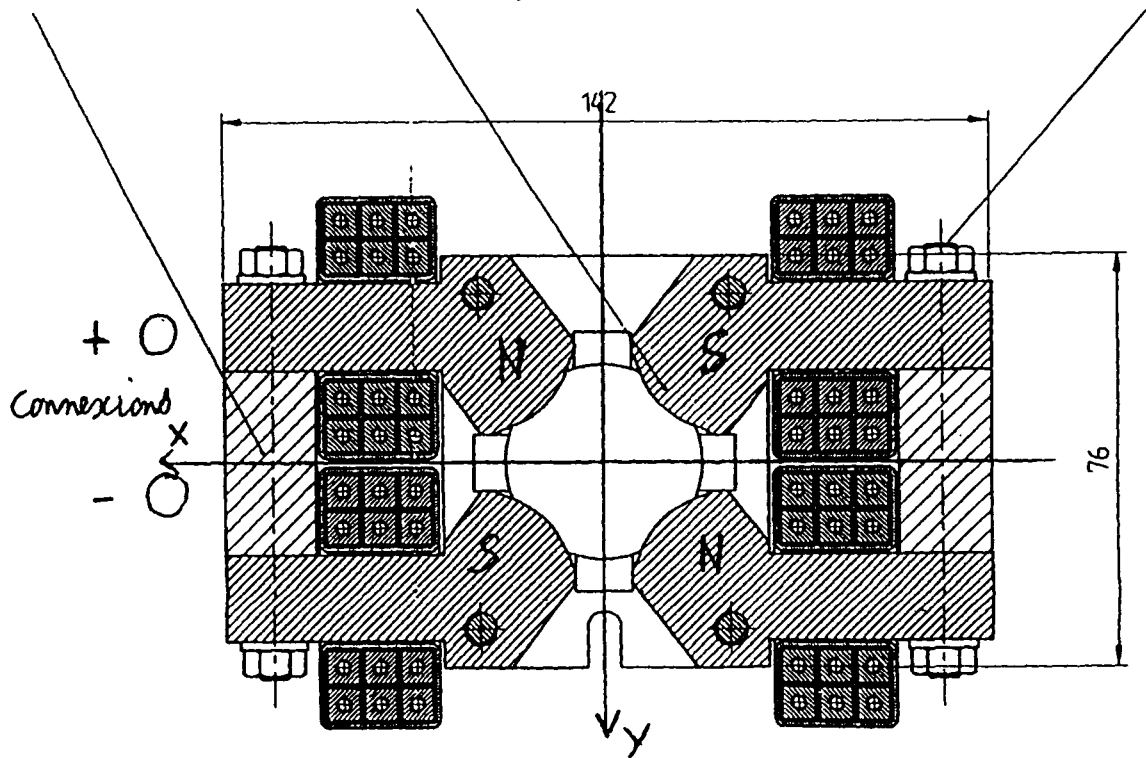


figure 2

## 1. Introduction

Dans le cadre de préétude pour le futur accélérateur linéaire CLIC (Compact Linear Collider) une série de 30 quadripôles a été fabriquée aux Pays Bas.

12 aimants défocalisants d'ouverture 10 mm (type I) et 18 aimants focalisants d'ouverture 30 mm (type II).

Le but de ces mesures magnétiques est de vérifier la qualité du champ et la position de l'axe magnétique avec notre nouveau banc à fil tendu.

## 2. Contrôles électriques

La résistance des aimants CLIC (petite ouverture) à 175A, mesurée avec la méthode ampèremètre - voltmètre est la même pour les deux types d'aimants, car les bobines sont identiques:

CLIC I (petite ouverture)  $R = 4,942 \text{ m}\Omega$

CLIC II (grande ouverture)  $R = 4,939 \text{ m}\Omega$

L'inductance: CLIC I  $L = 195 \mu\text{H}$  à 100 Hz;  $L = 180,6 \mu\text{H}$  à 1000 Hz  
mesurée au Pont Racal-Dana: CLIC II  $L = 145 \mu\text{H}$  à 100 Hz;  $L = 127 \mu\text{H}$  à 1000 Hz

## 3. Principe et précision de mesure

### 3.1 Système de coordonnées, alignement et polarités

Les coordonnées des différents axes, les polarités électriques et magnétiques sont représentées par les figures 1 et 2.

L'alignement a été fait grâce à 2 rondelles percées placées sur le gabarit (support des aimants selon plan 06/CLI/BMCQ.02-1) avec lesquelles on a centré à  $\pm 5 \mu\text{m}$  le fil de tungstène doré. La précision finale de l'alignement est de l'ordre de  $\pm 0,04 \text{ mm}$ .

### 3.2 Alimentation en courant

Etant donné la très faible constante de temps de ces quadripôles ( $< 40 \text{ ms}$ ), les aimants sont alimentés en courant continu de 0 à 230A avec l'alimentation L 100 reliée en série avec un quadripôle type QDN (constante de temps = 1 s) et un quadripôle Q130 (constante de temps = 0,3 s).

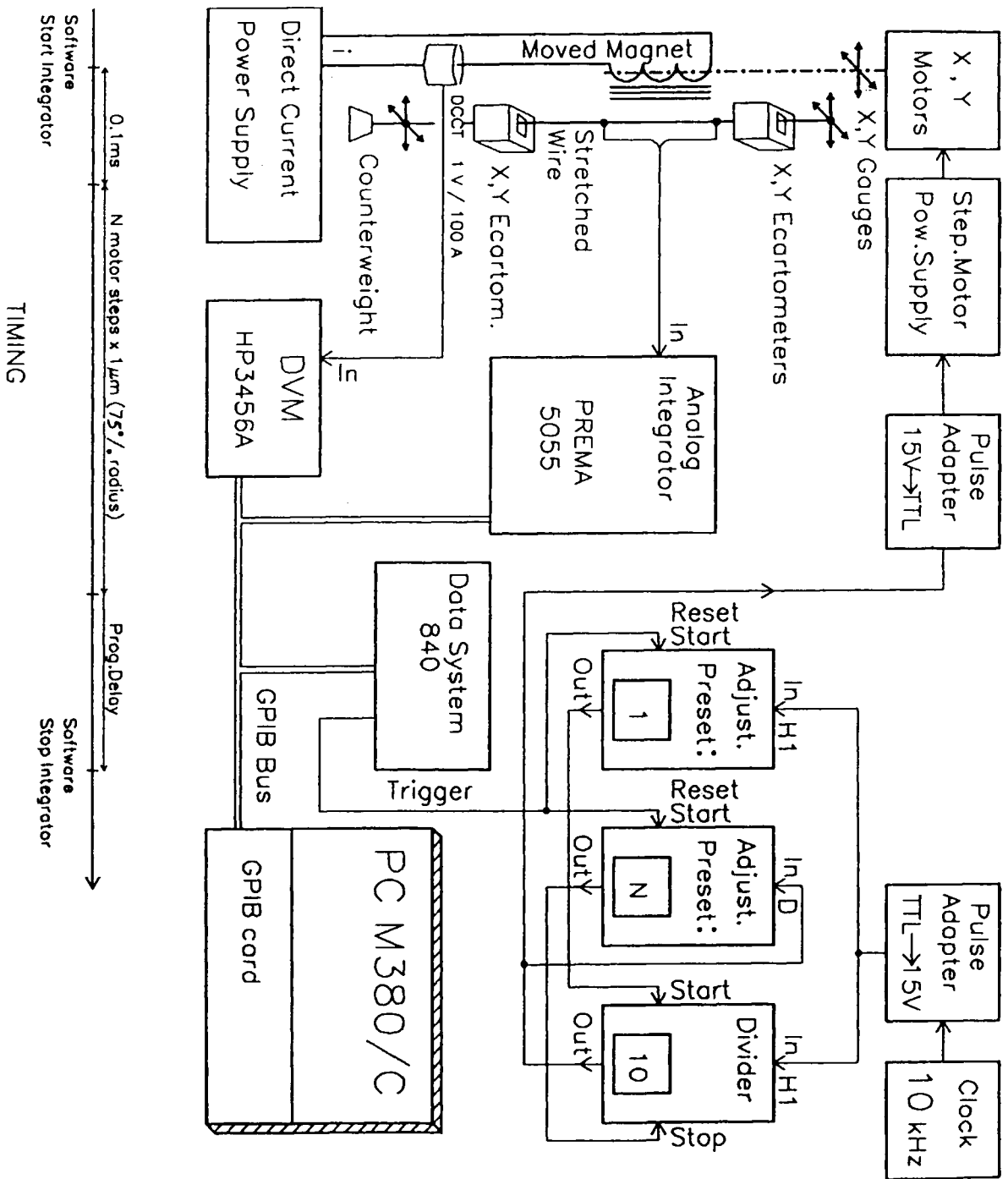
La mesure de courant est faite avec le DCCT 1000A dont la tension de sortie est lue par un voltmètre Hewlett-Packard HP3456A.

Erreur relative sur la valeur absolue  $|E_1| \geq 2 \cdot 10^{-4}$ , pour  $\geq 100 \text{ A}$ .

### 3.3 Principe de la mesure

On effectue la mesure grâce à un système à fil tendu de  $60 \mu\text{m}$  de diamètre (figure 3). On déplace l'aimant grâce à des moteurs pas à pas de résolution du micron. Le fil voit donc une variation du champ. Ceci revient à mesurer la valeur du flux de  $\vec{B}$  à travers la surface balayée par le fil dans le référentiel de l'aimant.

Cette valeur du flux est obtenue grâce à un intégrateur PREMA5055 (de résolution 0,2 à 0,3  $\mu\text{Vs}$  du fait des variations de son offset). Connaissant les faibles variations du flux pour nos quadripôles



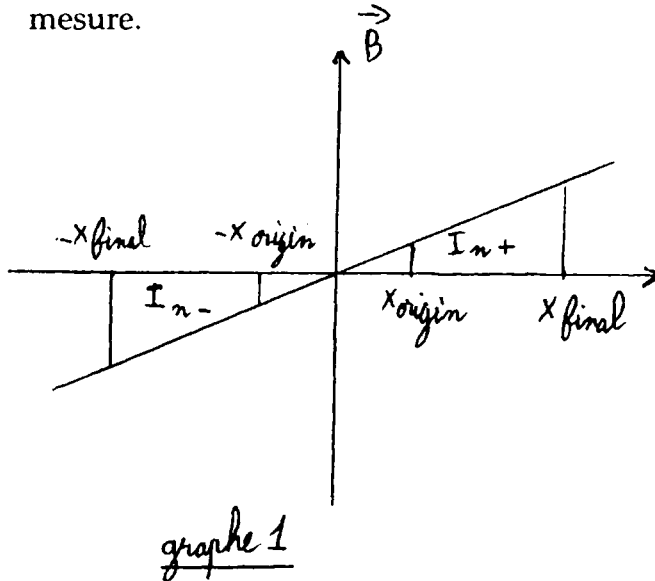
Measurement of Small Aperture DC-Quadrupole

Figure 3

$$\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{l}{2} G L_{eq} \Delta l (\ell_1 + \ell_2)$$

avec  $\Delta l$  la longueur de déplacement de notre aimant, nous devons choisir  $\Delta l$  le plus grand possible, tout en sachant qu'il fallait rester dans la zone où le gradient a peu de chance de chuter.

On présente, sur le graphe 1, les 2 plages symétriques où on faisait la mesure.



← on suppose le gradient constant

$$\text{CLIC I} = X_{\text{origin}} = 200 \mu\text{m} \\ X_{\text{final}} = 4000 \mu\text{m}$$

$$\text{CLIC II} = X_{\text{origin}} = 3 \text{ mm} \\ X_{\text{final}} = 12 \text{ mm}$$

On balaie chacune des plages dans les deux sens afin d'en déduire la vraie valeur du flux (c'est-à-dire en supprimant l'offset).

Des deux valeurs du flux, obtenues de part et d'autre de l'axe géométrique, on déduit la valeur du gradient moyen et la position de l'axe magnétique (en supposant le gradient constant).

### 3.3.1 Gradient moyen intégré

$$\int_{\ell_{\text{origin}}}^{\ell_{\text{final}}} B L_{eq} d\ell = \int_{\ell_{\text{origin}}}^{\ell_{\text{final}}} G L_{eq} \ell d\ell$$

Du côté des coordonnées positives:

$$\Phi_{n+} = \Phi_{2+} - \Phi_{1+} = \frac{1}{2} G_+ L_{eq} [\ell_{\text{final}}^2 - \ell_{\text{origin}}^2]; \text{ et du côté des coordonnées négatives:}$$

$$\Phi_{n-} = \Phi_{2-} - \Phi_{1-} = \frac{-1}{2} G_- L_{eq} [\ell_{\text{final}}^2 - \ell_{\text{origin}}^2]$$

$$(2) GL_{eq} = \frac{\Phi_{n+} - \Phi_{n-}}{\ell_{\text{final}}^2 - \ell_{\text{origin}}^2}$$

(On fait une mesure suivant x et une mesure suivant y).

Nota: Selon la loi empirique :  $L_{eq} \cong L_{te} + 0,8 R$  (où R est le rayon de cercle de gorge),  
on peut estimer  $L_{eq} \cong 8,4 \text{ cm}$  pour CLIC I  
et  $L_{eq} \cong 9,2 \text{ cm}$  pour CLIC II

Par définition de la longueur équivalente  $L_{eq}$ :  $\int_{-\infty}^{+\infty} G dz = G L_{eq}$

la formule (2) donne donc bien le gradient intégré du quadripôle.

La précision absolue est de  $\pm 0,5\%$ , tandis que la précision relative est de  $\pm 0,2\%$ .

### 3.3.2 Axe magnétique

Les coordonnées de l'axe magnétique de l'aimant par rapport au référentiel du banc de mesure sont données par:

$$(3) \quad \varepsilon_l = \left( \frac{\Phi_{n+} + \Phi_{n-}}{\Phi_{n+} - \Phi_{n-}} \right) \frac{|\ell_{origin}| + |\ell_{final}|}{2}$$

(On fait une mesure suivant x et une mesure suivant y).

Dans les formules (2) et (3),  $\Phi_{n+}$  et  $\Phi_{n-}$  sont de signe opposé.

## 4. Mesures magnétiques

### 4.1 Magnétisation

Pour la série CLIC I: courant de 25 à 200 A (graphe 2)

Pour la série CLIC II: courant de 25 à 230 A (graphe 3)

### 4.2 Gradient moyen intégré

Tableaux 1 et 2 présentant les résultats pour les séries CLIC I et CLIC II

Aimants	X en um	Y en um	G*Leq sur X en T	G*Leq sur Y en T
I-01	27	-3	8.094	-8.117
I-02	23	13	8.148	-8.228
I-03	-2	-19	8.111	-8.165
I-04	34	6	8.145	-8.149
I-05	58	-21	8.119	-8.188
I-06	15	-7	8.118	-8.151
I-07	18	-1	8.057	-8.094
I-08	19	-24	8.105	-8.158
I-09	65	-31	8.112	-8.158
I-10	-18	-3	8.060	-8.107
I-11	30	-26	8.076	-8.172
I-12	44	-17	8.113	-8.164

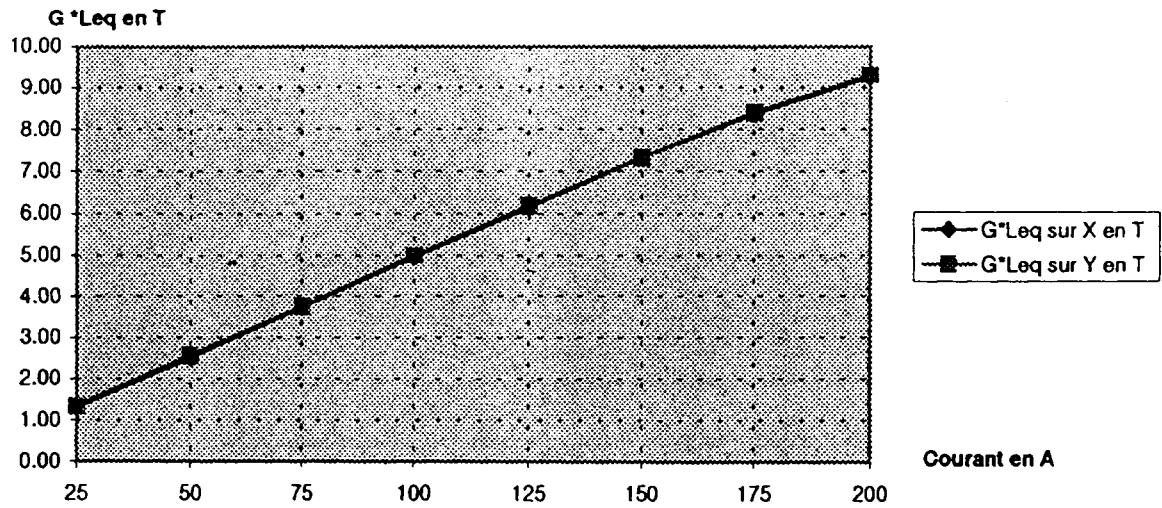
Tableau 1

Aimants	X en um	Y en um	G*Leq sur X en T	G*Leq sur Y en T
II-01	5	-72	1.435	-1.443
II-02	21	-104	1.440	-1.442
II-03				-1.443
II-04	14	-95	1.438	-1.443
II-05	36	-77	1.438	-1.443
II-06	27	-117	1.440	1.442
II-07	41	-81	1.431	-1.434
II-08	-4	-108	1.437	-1.444
II-09	32	-104	1.433	-1.434
II-10	-1	-73	1.439	-1.438
II-11	17	-87	1.439	-1.444
II-12	7	-87	1.439	-1.441
II-13	0	-83	1.437	-1.443
II-14	10	-131	1.435	-1.442
II-15	-2	-112	1.435	-1.437
II-16	-2	-102	1.438	-1.445
II-17	9	-147	1.433	-1.437
II-18	-1	-109	1.437	-1.443

Tableau 2

I(A)	G*Leq sur X en T	G*Leq sur Y en T					
25	1.31	1.34					
50	2.52	2.58					
75	3.75	3.76					
100	4.97	4.99					
125	6.15	6.18					
150	7.32	7.32					
175	8.37	8.40					
200	9.27	9.30					

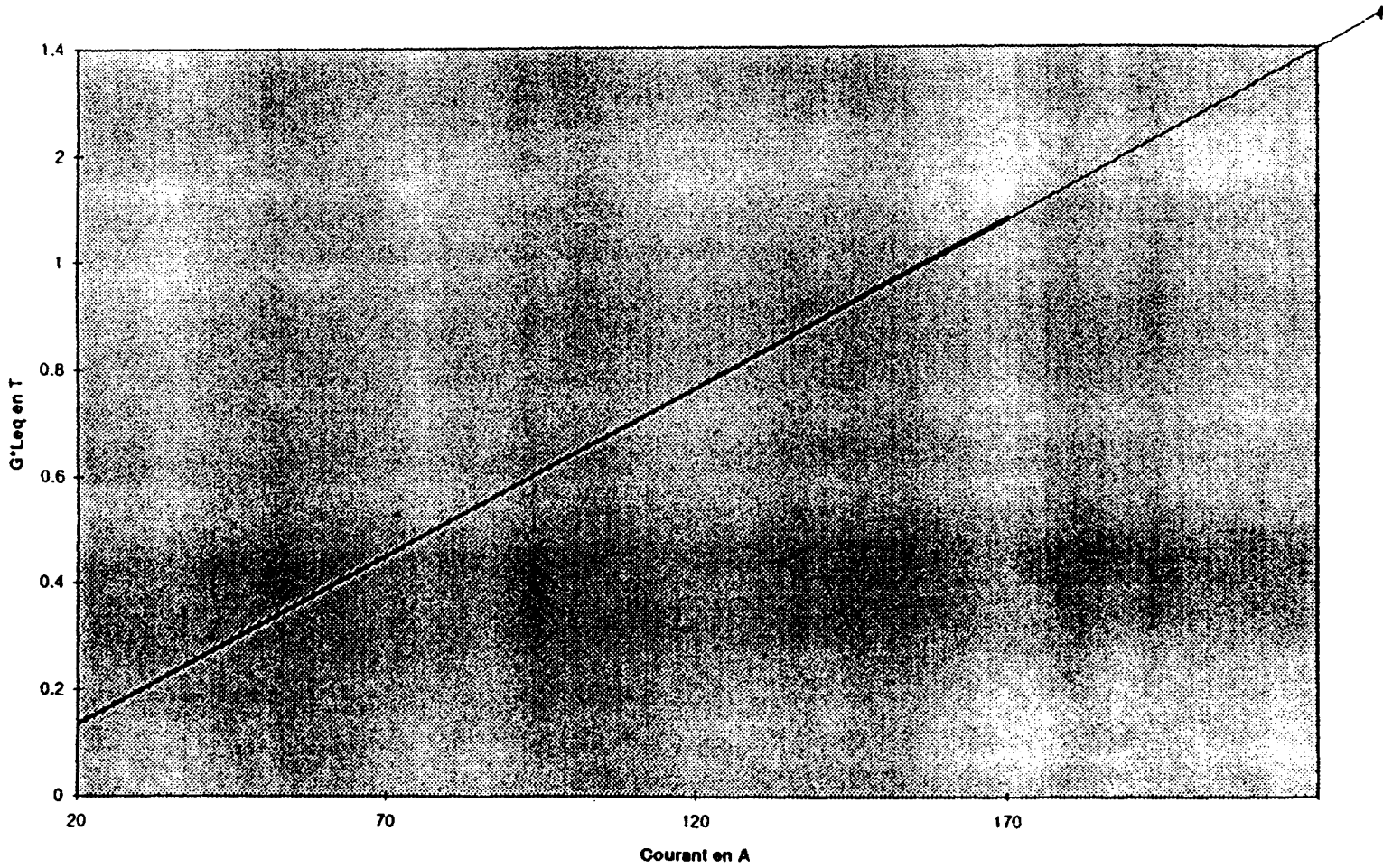
Courbe de magnetisation d'un quadrupole CLIC type I



Grphe 2

I(A)	G*Leq sur X en T	G*Leq sur Y en T					
20	0.135	0.137					
70	0.449	0.451					
120	0.766	0.768					
170	1.078	1.084					
230	1.438	1.442					

Courbe de Magnetisation d'un aimant CLIC de type II

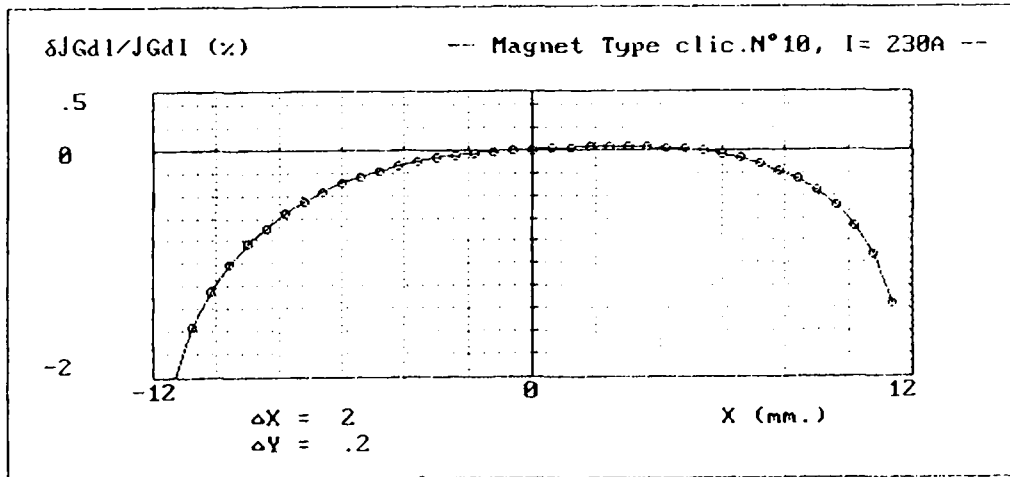


Graph 3

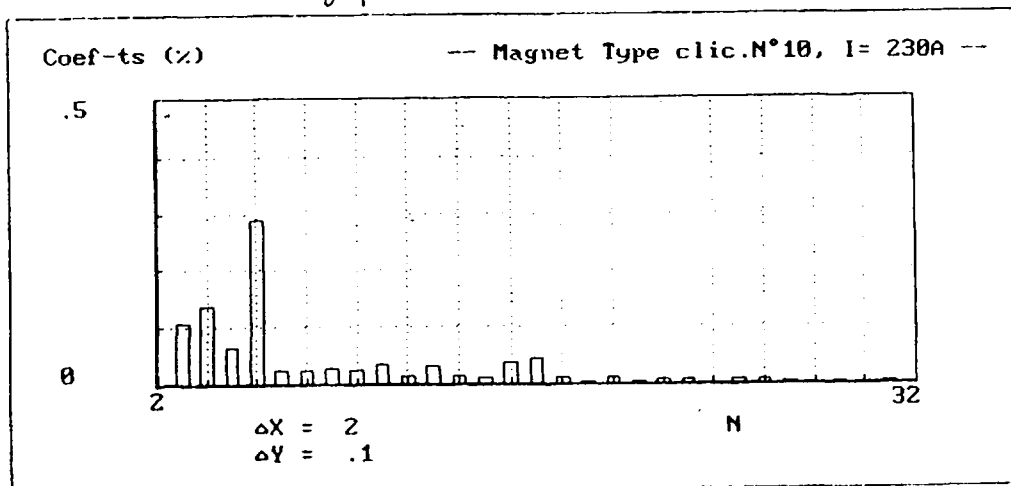


### 4.3 Homogénéité du gradient intégré

Le graphe 4 donne l'homogénéité du gradient intégré à 230 A du quadripôle CLIC II No 10. Le graphe 5 donne l'histogramme des composantes harmoniques de la série de Fourier par rapport à la composante fondamentale. Les courbes d'homogénéité sont très semblables pour tous les aimants d'une même série et d'un même type. La valeur de 0,29% du coefficient de l'harmonique 6, normalisé à 80% de l'ouverture, est liée au principe même de construction des aimants type II, elle se retrouvera donc dans l'analyse de tous ces aimants. Les autres coefficients varient d'un aimant à un autre et sont liés aux tolérances de fabrication, en tout état de cause ils sont très faibles.



graphe 4



graphe 5

A cause des dimensions trop réduites de l'entrefer, l'analyse harmonique n'a pu être entreprise sur les quadripôles type I. Comme il est apparu sur les courbes de magnétisation, les aimants type I sont plus saturés à 200 A que ne le sont les types II à 230 A. En conséquence, la courbe d'homogénéité des types I à 200 A sur 80% de l'ouverture sera moins bonne que celle du graphe 4.

## 5. Conclusion

Les résultats obtenus nous permettent de voir que les aimants sont très similaires et ont des caractéristiques magnétiques très proches de celles qui étaient attendues.

Remerciements à P. Rey pour toutes ses interventions concernant la mécanique de ce nouveau banc à fil tendu.