



Mesures magnétiques d'un correcteur de type DJ

R. Chritin / AT-MTM

Mots clés: Mesures magnétiques, correcteur, DJ, CTF3

Distribution: AT-MTM personnel scientifique & R. Chritin, J-M. Dutour, P. Leclère, W. Kalbreier, L. Rinolfi, T. Zickler.

Résumé:

Mesures de ce correcteur afin d'en déterminer les caractéristiques magnétiques précises, et détecter d'éventuels défauts de fabrication.

1.	INTRODUCTION.....	2
2.	PRINCIPE ET PRÉCISION DES MESURES.....	3
3.	MESURES MAGNÉTIQUES.....	5
3.1	Mesure de $\int Bdl$ avec 2 bobines connectées, à 5 et 10 A	5
3.2	Mesure de $\int Bdl$ avec les 4 bobines connectées, à 5 et 10 A	6
3.3	Mesure de B_0 avec les 4 bobines connectées, à 5 et 10 A	7
3.5	Courbes de magnétisation et longueurs équivalentes.....	8
3.6	Coefficients harmoniques déduits du champ intégré à 10 A.....	9
3.7	Fonction de transfert	9
4.	CONCLUSION	10

1. INTRODUCTION

Cet aimant provenant de chez Scanditronix fait partie d'une série de correcteurs destinés au CTF3 (CLIC Test Facility). Ce sont des aimants à culasse en fer massif. Ils ont été mesurés pour en connaître les caractéristiques réelles et pour détecter d'éventuels défauts.

2. PRINCIPE ET PRÉCISION DES MESURES

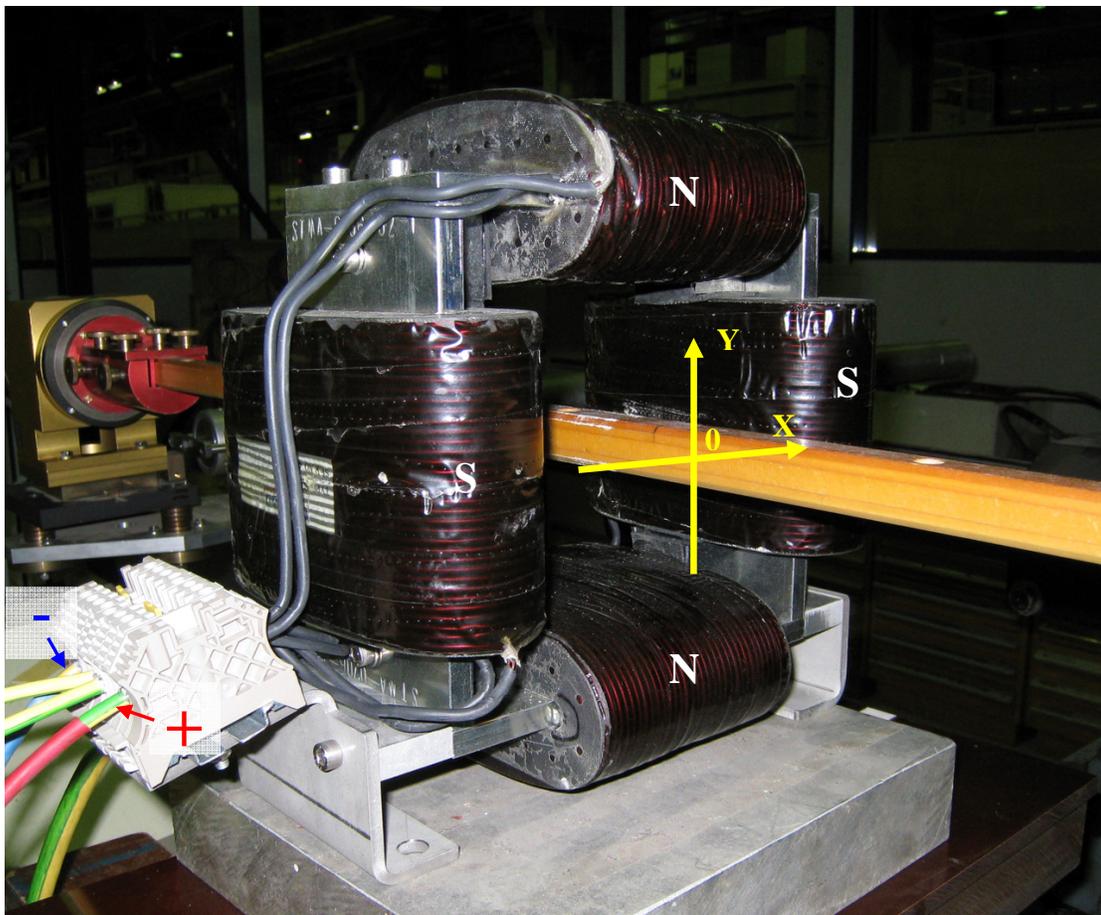
2.1 Présentation

2.1.1 Système de coordonnées et alignement

L'alignement de la bobine de mesure par rapport à l'aimant a donc été réalisé en centrant la bobine par rapport aux bords de culasse.

La précision de positionnement estimée était de $\pm 0,1$ mm.

Le système de coordonnées et les polarités de branchement utilisés pour ces aimants apparaissent sur la photo ci-dessous, prise sur notre banc de mesure.



2.2 Principe et précision des mesures

2.2.1 Mesure du gradient au centre

L'induction au centre est mesurée avec la bobine courte BLC2/C incluse au centre de la bobine longue (2 x 1m) BLC2/L. La mesure s'effectue en faisant tourner deux fois la bobine par pas de 180°.

$$B_{(0,0)} = \frac{I_{th}}{4V} \sum_{n=1}^{n=2} \left| \int U_n dt / I_{mes} \right|$$

Avec : I_{th} Courant théorique auquel on veut normaliser la mesure.

$$V = cste_{bob} \cdot \left(1 - \frac{R_{bob}}{R_{int}}\right)$$

cste_{bob} = coefficient de calibration de la bobine BLC2/C. (V = 4,8055E-02 m² et |ε_v| ≤ 1,5 · 10⁻³).

I_{mes} Courant effectif de mesure.

∫U_ndt Intégration de la tension induite à chaque rotation de 180° de la bobine
|ε_a| ≤ 3 · 10⁻³.

2.2.2 Mesure du gradient intégré

L'induction intégrée est mesurée avec la bobine longue BLC2/L. La mesure s'effectue en faisant tourner deux fois la bobine par pas de 180°.

$$\int B_{(0,0)} dz = \frac{I_{th}}{4V_S} \sum_{n=1}^{n=2} \left| \int U_n dt / I_{mes} \right|$$

Avec : I_{th} Courant théorique auquel on veut normaliser la mesure.

$$V_S = Cste_{bob} \cdot \left(1 - \frac{R_{bob}}{R_{int}}\right) \cdot \left(\frac{1 - \frac{Gap}{L_{eq}}}{1 - \frac{Gap}{L_{etal}}}\right)$$

Cste_{bob} = coefficient de calibration de BLC2/L = 1,5796 · 10⁻² et |ε_{v_s}| ≤ 1,5 · 10⁻³).

R_{bob} = résistance de la bobine de mesure = 3,460 · 10³ Ω

Gap = millimètres manquants de la bobine = 1,2 mm

L_{etal} = longueur équivalente de l'aimant d'étalonnage = 1,10 m

R_{int} = impédance d'entrée de l'intégrateur = 20 MΩ

L_{eq} = longueur équivalente de l'aimant à mesurer ≈ 0,55 m

I_{mes} Courant effectif de mesure.

∫U_ndt Intégration de la tension induite à chaque rotation de 180° de la bobine.
|ε_a| ≤ 5 · 10⁻⁴.

2.2.3 Longueur équivalente

La longueur équivalente est déterminée en divisant la valeur du champ intégré par la valeur du champ au centre de la bobine, soit :

$$Leq[m] = \frac{\int Bdl}{Bo}$$

- Erreur absolue pour $I \geq 5$ A : $|\varepsilon_a| \leq 4 \cdot 10^{-3}$

2.3 Alimentation et courant

Le quadripôle était alimenté par une alimentation portable 20A. La mesure du courant s'effectuait au moyen d'un DCCT externe Foldi dont le signal était lu par un voltmètre HP 3456.

La précision de mesure obtenue est de:

- Incertitude sur la valeur absolue pour $I \geq 5$ A: $|\varepsilon_a| \leq 3 \cdot 10^{-4}$

- Erreur relative aléatoire pour $I \geq 5$ A: $|\varepsilon_r| \leq 2 \cdot 10^{-4}$

2.4 Précision des mesures

- Gradient au centre :

- Incertitude sur la valeur absolue pour $I \geq 5$ A : $|\varepsilon_a| \leq 5 \cdot 10^{-3}$

- Erreur relative aléatoire pour $I \geq 5$ A : $|\varepsilon_r| \leq 5 \cdot 10^{-4}$

- Gradient intégré :

- Incertitude sur la valeur absolue pour $I \geq 5$ A : $|\varepsilon_a| \leq 3 \cdot 10^{-3}$

- Erreur relative aléatoire pour $I \geq 5$ A : $|\varepsilon_r| \leq 5 \cdot 10^{-4}$

- Longueur équivalente :

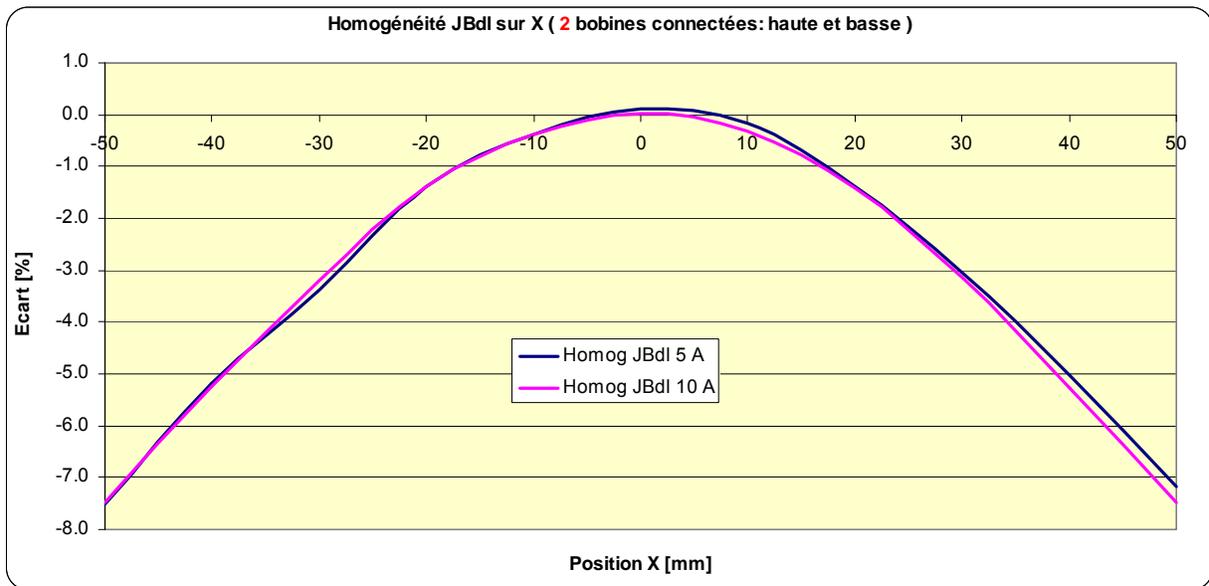
- Incertitude sur la valeur absolue : $|\varepsilon_a| \leq 6 \cdot 10^{-3}$

3. MESURES MAGNÉTIQUES

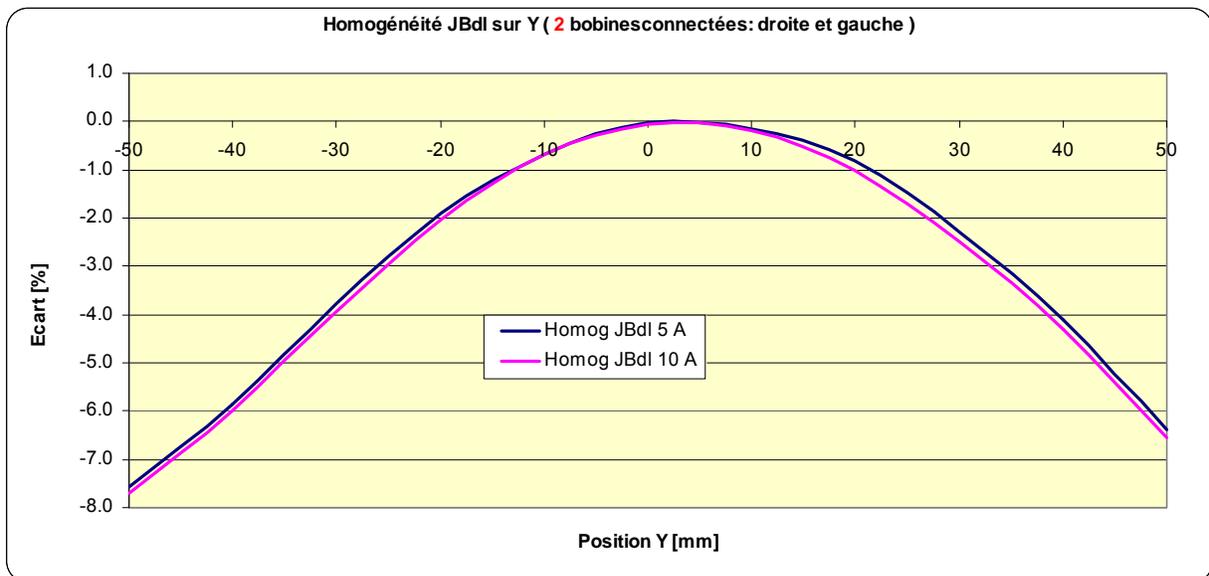
L'aimant a été mesuré pour des courants de 5 et 10 A (courant nominal de l'aimant) pour le champ intégré et le champ au centre.

3.1 Mesure du champ intégré avec deux bobines connectées, à 5 et 10 A

3.1.1 Homogénéité sur l'axe X avec bobines haute et basse connectées

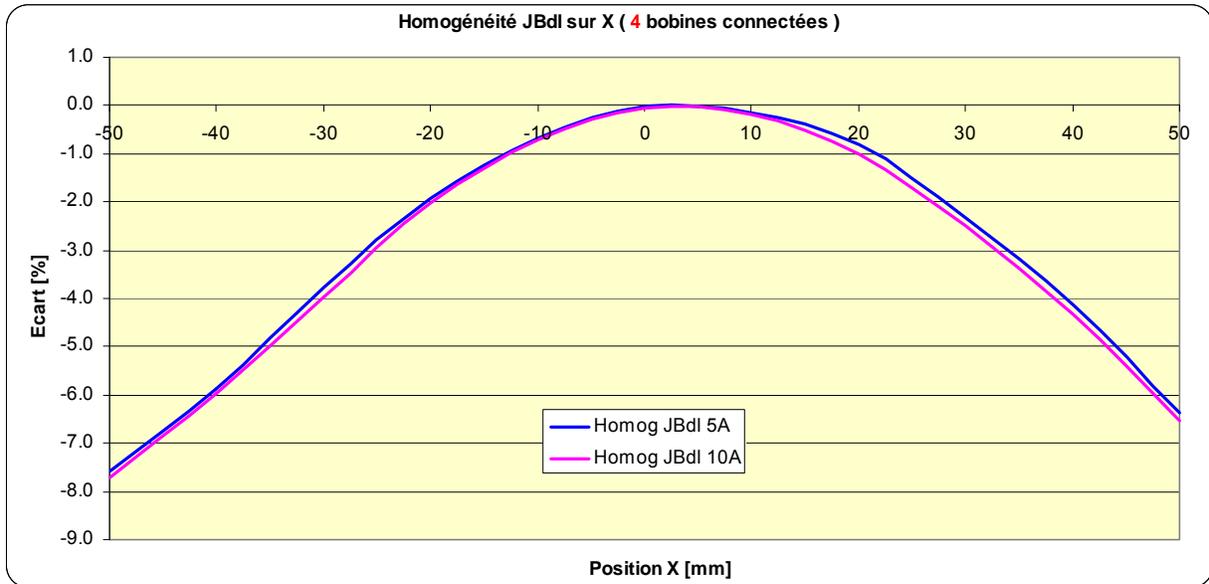


3.1.2 Homogénéité sur l'axe Y avec bobines gauche et droite connectées



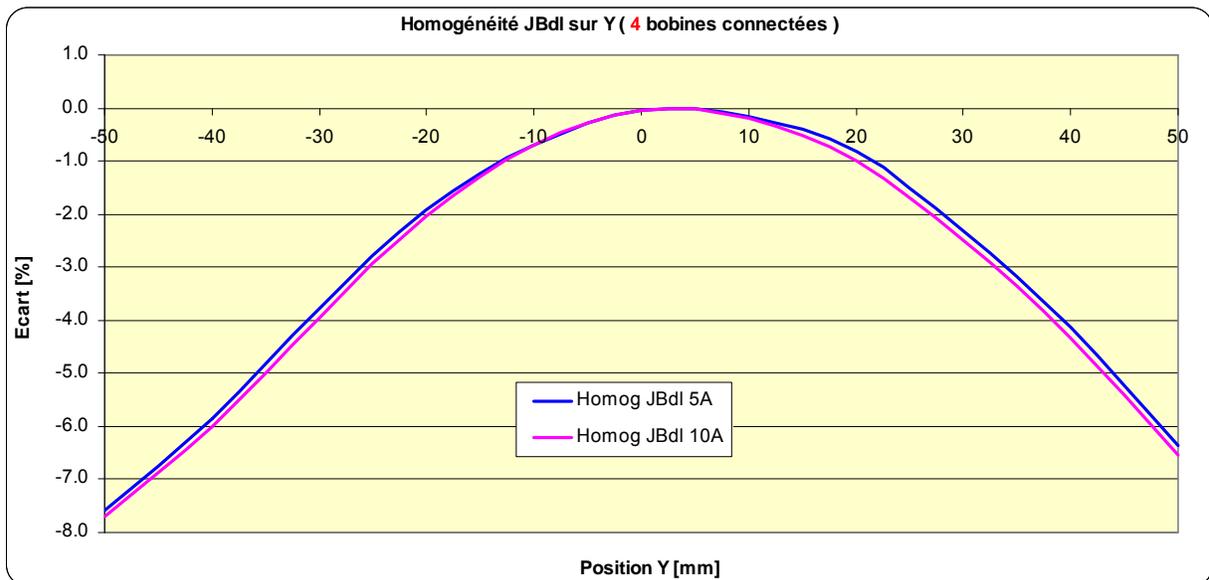
3.2 Mesure du champ intégré avec toutes les bobines connectées, à 5 et 10 A

3.2.1 Homogénéité sur l'axe X avec quatre bobines connectées



L'homogénéité sur $X = \pm 20$ mm est comprise entre ± 1 %.

3.2.2 Homogénéité sur l'axe Y avec quatre bobines connectées

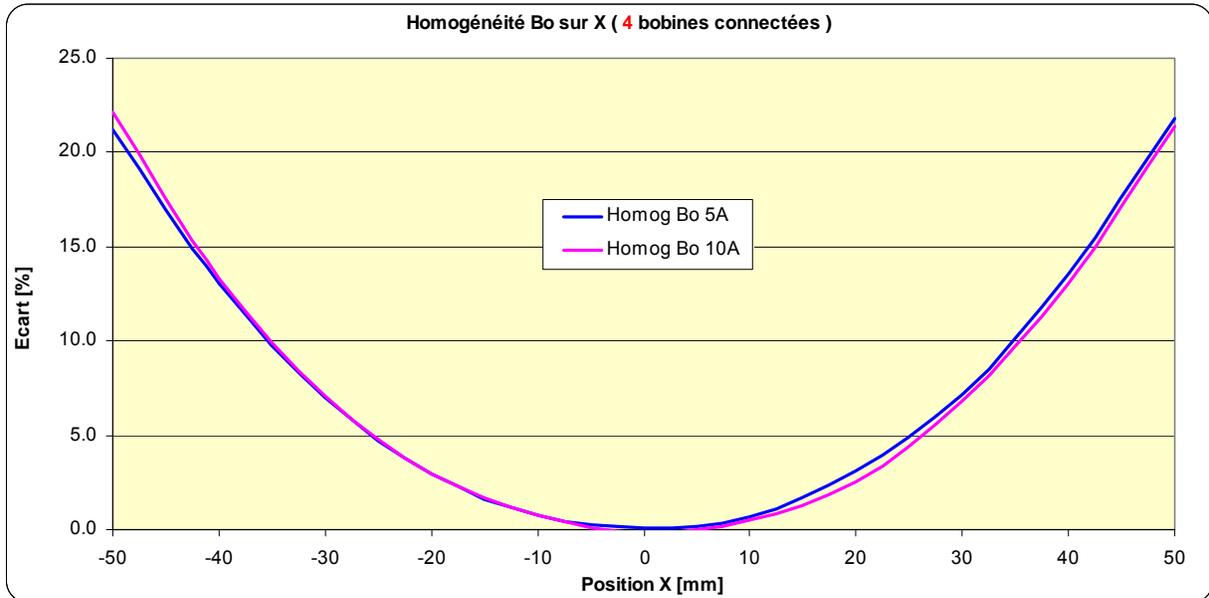


L'homogénéité sur $Y = \pm 20$ mm est comprise entre ± 1 %.

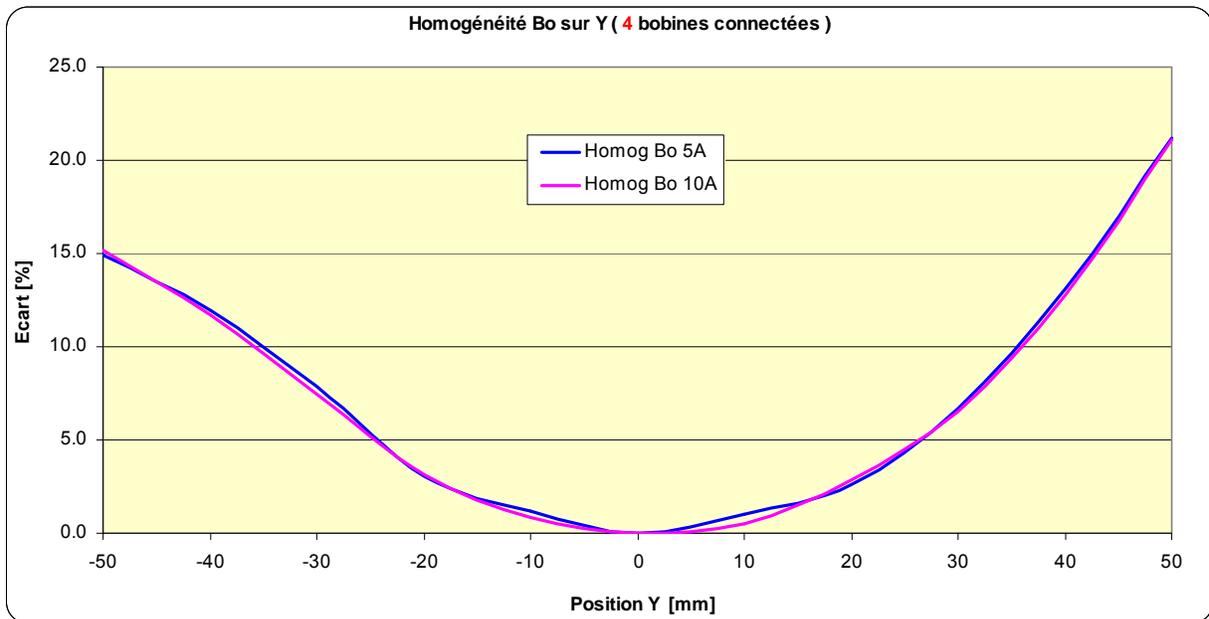
La comparaison entre les courbes de mesure avec 2 et 4 bobines connectées permet de confirmer que le principe de superposition des états d'équilibre se vérifie bien dans le cas présent.

3.3 Mesure du champ au centre avec toutes les bobines connectées, à 5 et 10 A

3.3.1 Homogénéité sur l'axe X



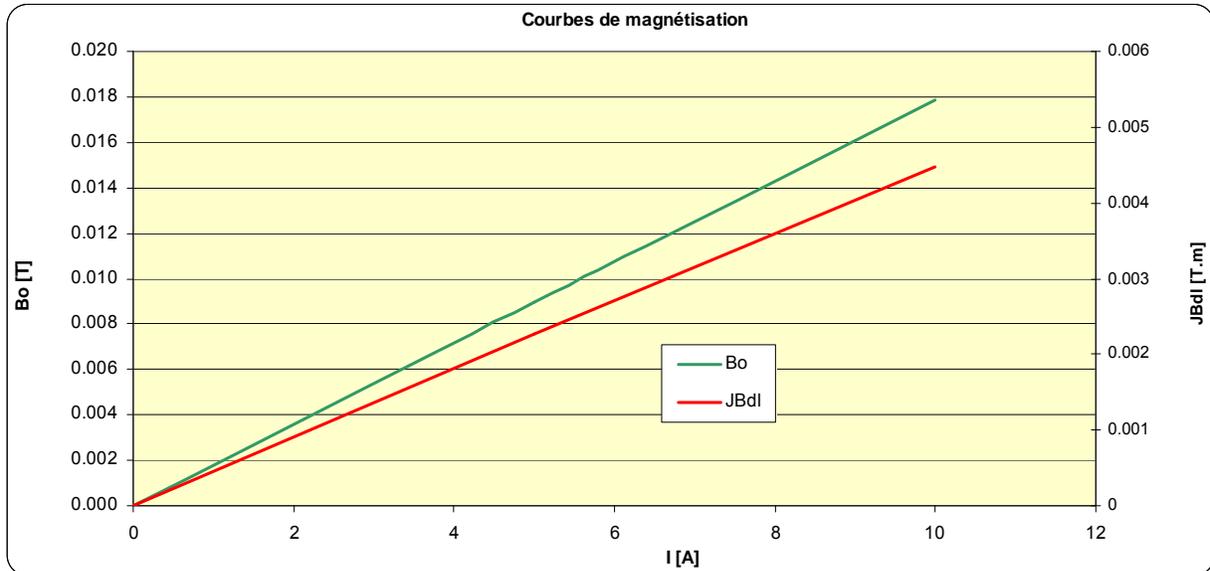
3.3.2 Homogénéité sur l'axe Y



On remarque sur cette mesure sur Y la présence d'un gradient de champ non désiré.

3.5 Courbes de magnétisation et longueurs équivalentes

Les courbes ci-dessous correspondent à la mesure de l'aimant avec ces 4 bobines connectées et alimentées avec le même courant.



Les effets de saturation sont négligeables jusqu'à 10A.

Tableau de valeurs

2 bobines connectées: droite et gauche			
I [A]	JBdl [T.m]	Bo [T]	Leq [m]
0	0.000008	/	/
5	0.002259	0.00899	0.251
7.5	0.003363	0.01338	0.251
10	0.004483	0.01787	0.251

2 bobines connectées: haute et basse			
I [A]	JBdl [T.m]	Bo [T]	Leq [m]
0	0.000006	/	/
5	0.002250	0.00906	0.248
7.5	0.003356	0.01352	0.248
10	0.004473	0.01802	0.248

4 bobines connectées			
I [A]	JBdl [T.m]	Bo [T]	Leq [m]
0	0.000008	/	/
5	0.002254	0.00913	0.247
7.5	0.003363	0.01363	0.247
10	0.004440	0.01797	0.247

3.6 Coefficients harmoniques déduits du champ intégré à 10 A

Les coefficients harmoniques ci-dessous sont déduits des mesures de champ intégré faites sur l'axe Y avec uniquement les bobines de gauche et de droite connectées (cf. § 3.1.2).

Les 6 harmoniques les plus basses, en incluant la composante quadripolaire, ont été estimées en approximant au mieux le développement série $B_y(x) = \sum_{n=1}^6 b_n \left(\frac{x}{r_{ref}}\right)^n$ aux points de mesure, par la méthode des moindres carrés.

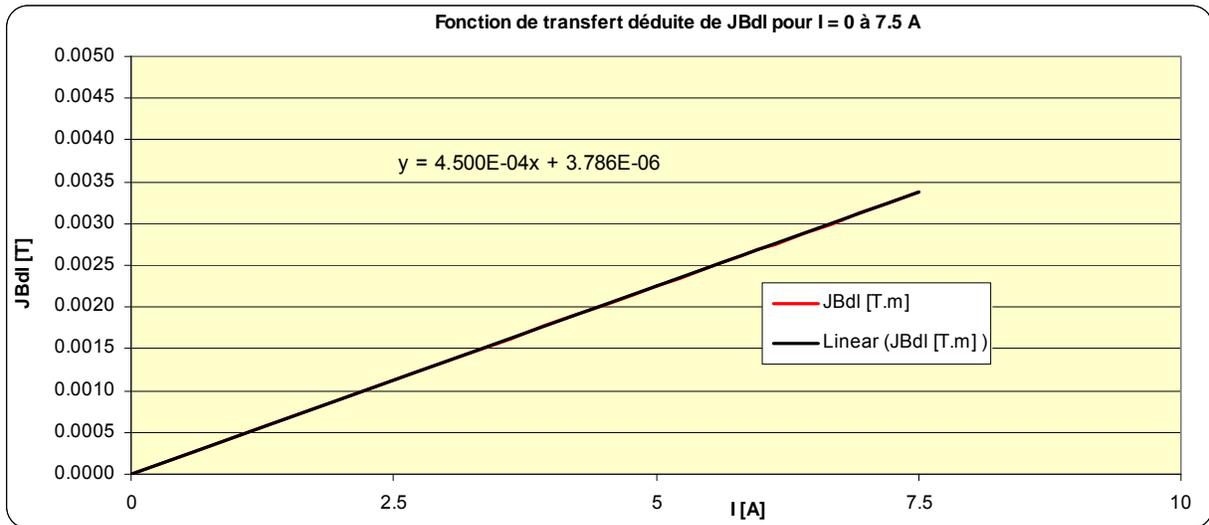
On obtient ainsi les valeurs affichées dans le tableau ci-dessous :

Aimant	n	b_n	
DJ	1	0.00444	Tm
	2	24.61	units @ 10 mm
	3	-38.59	units @ 10 mm
	4	0.25	units @ 10 mm
	5	0.41	units @ 10 mm
	6	-0.03	units @ 10 mm

Coefficients harmoniques du champ intégré à 10 A (en unités de 10^{-4} au rayon de référence = 10 mm)

3.7 Fonction de transfert

La fonction de transfert est déduite l'approximation linéaire de $\int Bdl = f(I)$ jusqu'au point de mesure à $I = 7.5$ A pour rester en dehors de la saturation (Pour $\int Bdl$ mesuré avec les 4 bobines connectées).



F.T. = 0.450 [mT/A]

4. CONCLUSION

Ce correcteur présente un gradient de champ non désiré sur la mesure en Y. Une mesure précise de la résistance des bobinages n'a pas permis de mettre en évidence une différence du nombre de spire entre bobines. (Une seconde mesure par sonde de hall a confirmé la présence de ce gradient, indépendamment du système de mesure par bobine tournante).

On peut également noter qu'à la livraison de l'aimant sur notre banc de mesure, il y avait une erreur dans le branchement des bobines, Il a fallu intervertir deux fils comme indiqué ci-dessous pour obtenir le champ attendu.

Inversion de ces deux fils

