

Mesures magnétiques d'un dipôle correcteur MDG destiné à la ligne de transfert TT41 du CNGS

Author : R. Chritin / AT-MTM

Keywords: Mesures magnétiques, dipôles, MDG, CNGS

Distribution :

AT-MTM scientific staff & J. Dutour, P. Leclère / AT-MTM, S. Koczorowski / AT-MEL , B. Langenbeck / AT-MEL, T. Zickler / AT-MEL, M. Meddahi / AB-ATB, W. Kalbreier / AT-MEL, L. Walckiers / AT-MTM.

Résumé

Mesures d'un dipôle correcteur de type MDG pour la ligne de transfert de neutrinos du CERN vers le Gran Sasso.

1. INTRODUCTION	2
2. PRINCIPE ET PRÉCISION DES MESURES	3
3. MESURES MAGNÉTIQUES	5
4. MESURE D'ECHAUFFEMENT À 3.5 A.....	8
5. CONCLUSION	8

1. INTRODUCTION

Ce dipôle MDG mesuré (N° 01) fait partie d'une série de 17 correcteurs destinés à la ligne de transfert TT41 du CNGS (CERN Neutrino to Gran Sasso).

Les mesures effectuées sur cet aimant avaient pour objectif de connaître le champ nominal et le champ intégré réels, ainsi que l'homogénéité sur l'axe X. On a également procédé à une mesure d'échauffement à un courant de 3.5 A (I nominal = 3 A).

2. PRINCIPE ET PRÉCISION DES MESURES

2.1 Système de coordonnées et alignement

Le système de coordonnées ainsi que les polarités électriques et magnétiques de l'aimant sont indiqués sur la photo ci-dessous.

L'alignement de l'aimant ainsi que le centrage de la bobine sur l'axe X sont réalisés à l'aide d'un laser, en utilisant les supports de mires placés sur l'aimant.

La précision de l'alignement en X par rapport au plan vertical des supports de mires est de : ± 0.15 mm

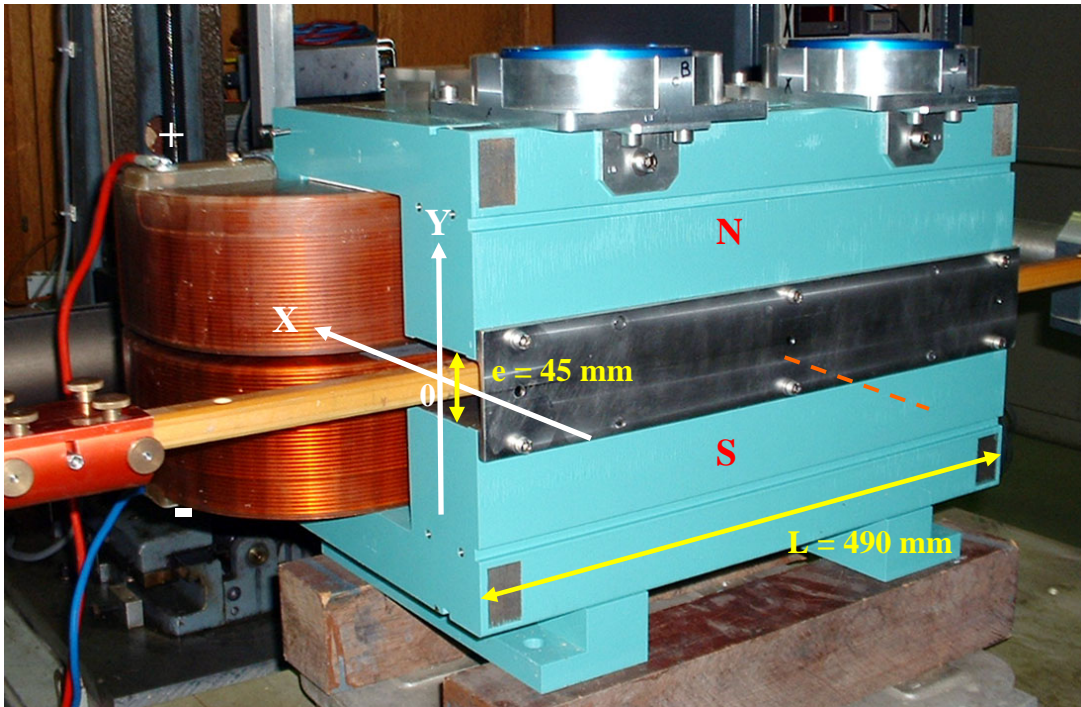


Photo 1

2.2 Principe et précision des mesures

Le banc de mesure utilisé est basé sur le principe de la rotation de bobines de champ. Lorsque ces bobines sont placées dans un champ magnétique, et qu'elles sont mises en rotation, il apparaît une tension induite aux bornes. La mesure et l'intégration de cette tension permet de déterminer l'induction intégrée ou l'induction au centre suivant la bobine connectée. C'est un intégrateur digital type AT-680-2036 de fabrication CERN qui est utilisé (VFC de 1 Mhz).

2.2.1 Mesure de l'induction au centre

L'induction au centre est mesurée avec la bobine courte BLC1/C incluse au centre de la bobine longue (2 x 1m) BLC1/L. La mesure s'effectue en faisant tourner deux fois la bobine par pas de 180°.

$$B(0,0) = \frac{I_{th}}{4A} \times \sum_{n=1}^{n=2} \left| \int U_{ndt} / I_{mes} \right|$$

- Avec :
- I_{th} Courant théorique auquel on veut normaliser la mesure.
 - A Coefficient de calibration de la bobine BLC1/C. (A = 4.8005E-02 m² et |ε_A| ≤ 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 de l'induction intégrée

L'induction intégrée est mesurée avec la bobine longue BLC1/L. La mesure s'effectue en faisant tourner deux fois la bobine par pas de 180°.

$$\int B(x,y)dz = \frac{I_{th}}{4A_S} \times \sum_{n=1}^{n=2} \left| \int U_{ndt} / I_{mes} \right|$$

- Avec :
- I_{th} Courant théorique auquel on veut normaliser la mesure.
 - A_S Coefficient de calibration de la bobine BC1/L (A_S = 1.5760 m avec correction du mm manquant et |ε_{AS}| ≤ 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| ≤ 1.5 . 10⁻³.

2.3 Précision

2.3.1 Alimentation et courant

Le dipôle était alimenté par une alimentation portative 20 A, 60 V à courant continu à réglage manuel. La mesure de ce courant s'effectuait au moyen d'un DCCT de type FOLDI 20 A, dont le signal était lu par un voltmètre HP 3456A.

La précision de mesure obtenue est de :

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

2.3.2 Induction

Induction au centre

- Erreur absolue pour $I \geq 3$ A : $|\varepsilon_a| \leq 5 \cdot 10^{-3}$
- Erreur relative aléatoire pour $I \geq 3$ A : $|\varepsilon_r| \leq 2 \cdot 10^{-3}$

Induction intégrée

- Erreur absolue pour $I \geq 3$ A : $|\varepsilon_a| \leq 3 \cdot 10^{-3}$
- Erreur relative aléatoire pour $I \geq 3$ A : $|\varepsilon_r| \leq 2 \cdot 10^{-3}$

2.3.3 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 :

$$Leq[m] = \frac{\int Bdl}{B_0}$$

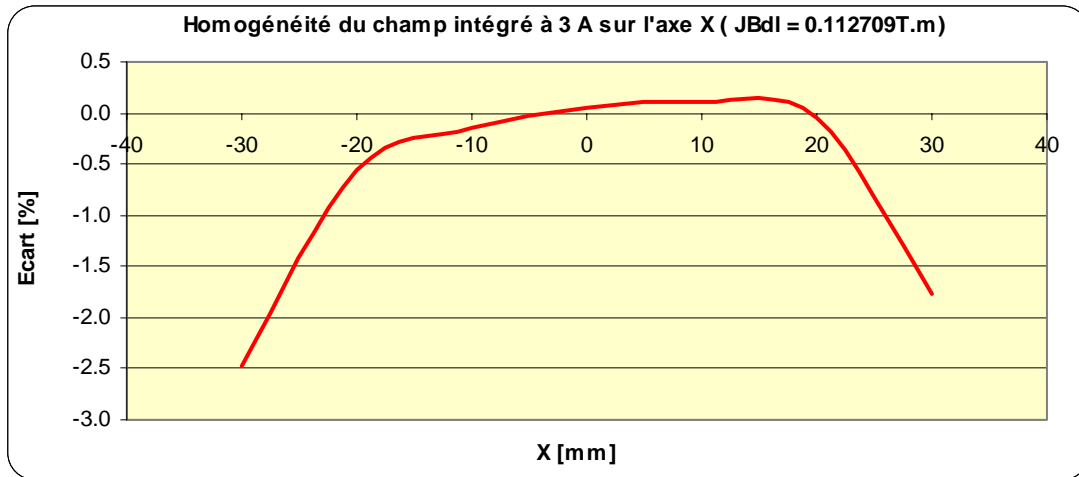
- Erreur absolue pour $I \geq 3$ A : $|\varepsilon_a| \leq 6 \cdot 10^{-3}$

3. MESURES MAGNÉTIQUES

L'aimant a été mesuré pour les courants suivants : 0 – 3 – et 5 A.

3.1 Courbes du champ intégré et champ au centre pour I = 3 A.

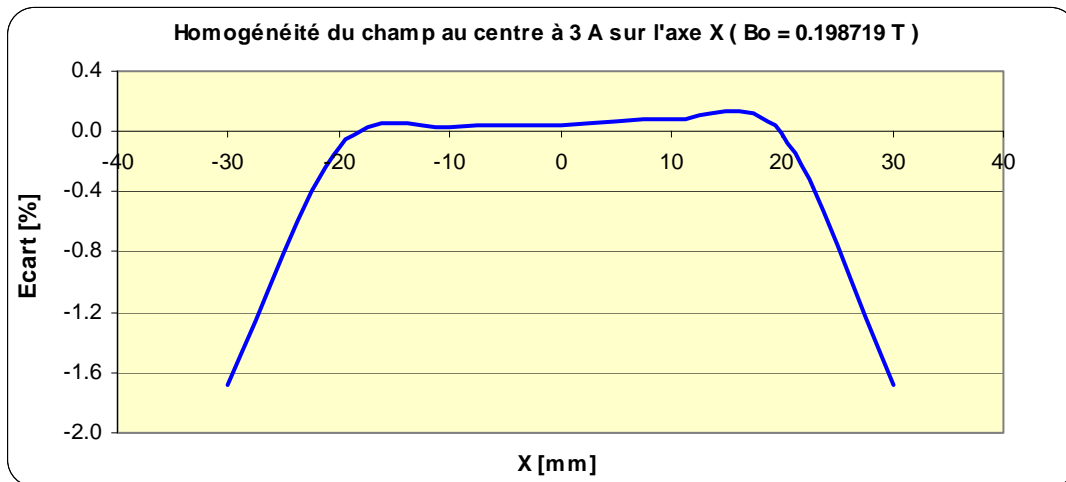
3.1.1 Courbe d'homogénéité du champ intégré sur X



Remarque : présence d'un gradient d'environ 0.3 % entre -20 et +20 mm (influence des têtes de bobine prépondérante sur l'intégrale).

Homogénéité à X = -22.5 mm = -0.85 % — Homogénéité à X = +22.5 mm = -0.28 %

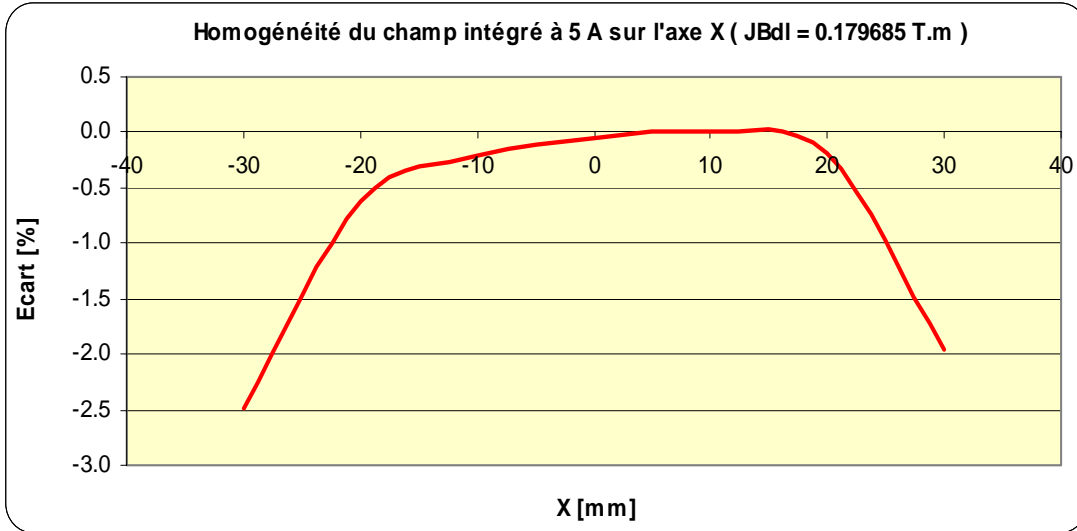
3.1.2 Courbes du champ au centre sur X



Homogénéité à X = -22.5 mm = -0.19 % — Homogénéité à X = +22.5 mm = -0.13 %

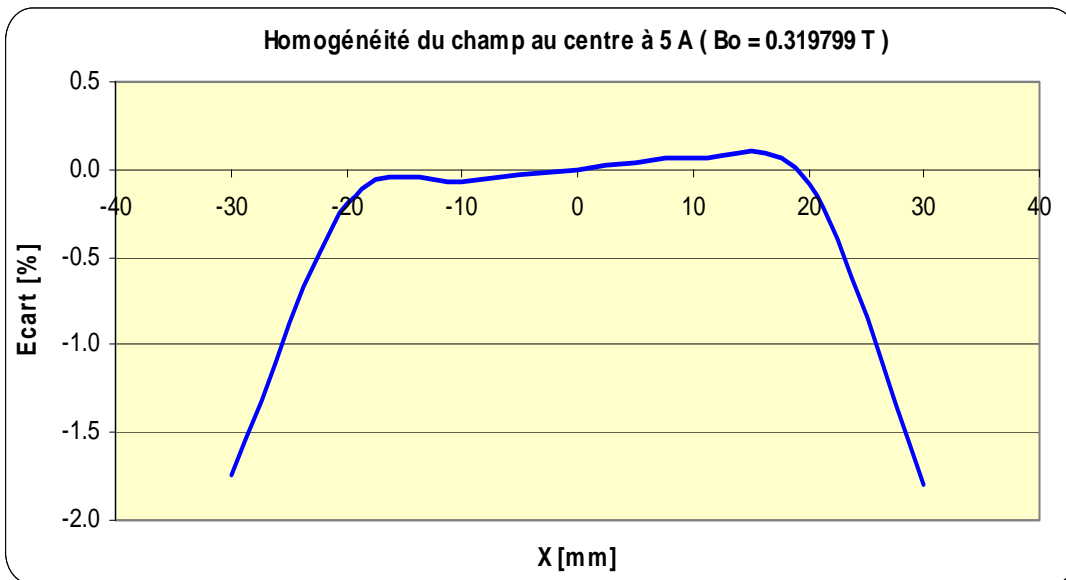
3.2 Courbes du champ intégré et champ au centre pour I = 5 A.

3.2.1 Courbe d'homogénéité du champ intégré sur X



Homogénéité à X = -22.5 mm = -0.88 % — Homogénéité à X = +22.5 mm = -0.43 %

3.2.2 Courbes du champ au centre sur X

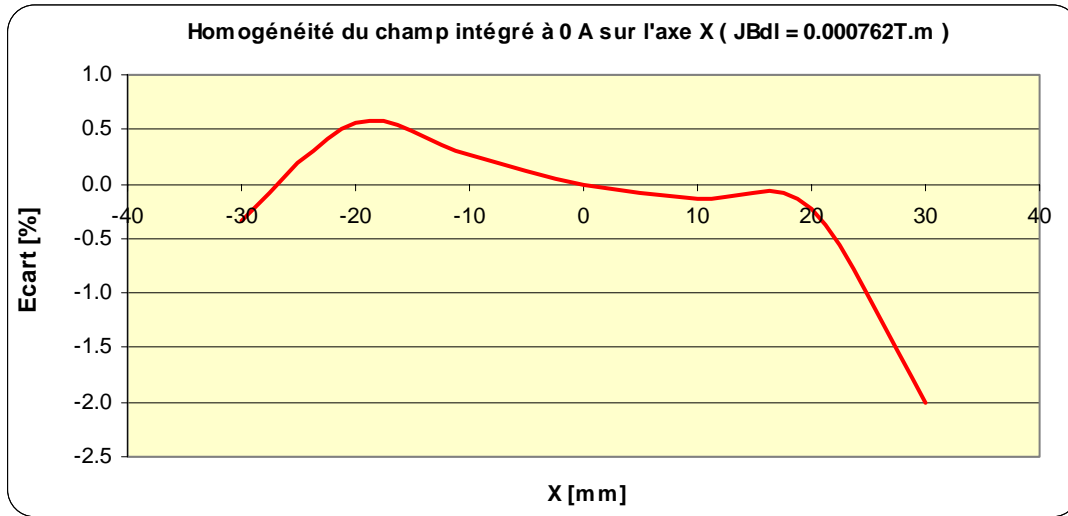


Homogénéité à X = -22.5 mm = -0.21 % — Homogénéité à X = +22.5 mm = -0.31 %

3.3 Courbe du champ intégré rémanent et mesure du champ rémanent au centre pour I = 0 A.

Le champ rémanent au centre mesuré est de : $B_r = 0.00136 \text{ T}$

Courbe d'homogénéité du champ rémanent intégré :



Remarque : à courant nul, on note la présence d'un gradient de sens opposé au gradient présent à I = 3 et 5 A. Cet effet s'explique par la différence de "longueur de fer dans la culasse" selon l'axe X.

Ainsi, longueur_fer vers X négatifs > longueur_fer vers X positifs.

Sachant que le champ rémanent s'établit selon la formule suivante :

$$B_{\text{rémanent}} = \mu_0 \cdot \text{long_fer} \cdot H_c / e$$

On obtient un champ rémanent qui augmente en allant vers l'extérieur de la culasse.

3.4 Mesure du champ de fuite sur l'axe X.

Cette mesure a été réalisée manuellement à l'aide d'un Teslamètre portable (précision $\pm 1.5 \%$). La sonde a été déplacée selon l'axe X et en Y = 0, à l'extérieur de l'aimant. (pointillés orange sur la photo 1)

Position sonde de Hall	Champ mesuré [mT]
Au contact de la culasse	135
A 10 cm	25
A 20 cm	8
A 30 cm	4
A 40 cm	2.5

3.5 Tableau récapitulatif

Courant [A]	Intégrale induction [T.m]	Induction au centre [T]	Longueur équivalente [m]
0	0.00076	0.00136	/
3	0.11271	0.19872	0,567
5	0.17969	0.31980	0,562

Le phénomène de saturation de l'aimant est déjà nettement perceptible au courant de 5 A, avec l'induction intégrée chutant à ce courant de plus de 4 % par rapport à l'extrapolation linéaire de la mesure à 3 A, et une longueur équivalente chutant d'un peu moins de 1%.

4. MESURE D'ECHAUFFEMENT A 3.5 A

Pour cette mesure, on a appliqué à l'aimant un courant de 3.5 A pendant 18 heures. La mesure de la tension aux bornes de l'aimant à $t = 0$ puis à $t = 18$ heures, permet de déduire sa variation de résistance et d'en déduire sa température moyenne selon la formule suivante :

$$R_t = R_o (1 + \alpha_{Cu} \Delta t) \text{ avec } \alpha_{Cu} = \text{coeff. de température du cuivre} = 0.004$$

$$\text{donc : } \Delta t = \frac{R_t - R_o}{\alpha_{Cu} R_o}$$

La température moyenne de l'aimant est ainsi de : $t_{moy} = \Delta t + t_{ambiante}$

Soit pour ce dipôle ($R_o = 9.49 \Omega$ et $R_t = 10.38 \Omega$) une température à chaud de : $t_{moy} = 42.4 \text{ deg rés}$

Nota : cet aimant ne possède pas de micro thermes le protégeant en cas de surchauffe, il faut donc s'assurer qu'en aucun cas son alimentation ne puisse dépasser ni 5 A, ni 50 V.

5. CONCLUSION

Ce dipôle présente un comportement magnétique typique de ce que l'on peut attendre d'un aimant en "C".

Les têtes de bobines étant largement proéminentes par rapport à la culasse, on mesure un effet de gradient principalement sur le champ intégré.